









Nutrición animal cuantitativa

Germán David Mendoza Martínez
Pedro Abel Hernández García
Fernando Xicotencatl Plata Pérez

José Antonio Martínez García
José Luis Arcos García
Héctor Aarón Lee Rangel

Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Editorial CBS

Dr. Germán David Mendoza Martínez

Médico Veterinario Zootecnista graduado de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco (1981). Realizó sus estudios de maestría en el Centro de Ganadería (Colegio de Postgraduados, 1984) y sus estudios de Doctorado en la Universidad de Nebraska, Lincoln (1991).

Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores mexicano nivel III. En 2002 recibió el Premio Estatal del Estado de México de Ciencia y Tecnología. En 2017 recibió el IV Premio Fundación de la Confederación Española de Fabricantes de Alimentos Compuestos otorgado por la Real Academia de Ciencias Veterinarias de España 2017.

Tiene más de 250 artículos científicos publicados y cuatro libros de nutrición animal.

Nutrición animal cuantitativa

Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Rector general
Doctor José Antonio de los Reyes Heredia
Secretario general
Doctora Norma Rondero López

UNIDAD XOCHIMILCO

Rector
Doctor Francisco Javier Soria López
Secretario
Doctora María Angélica Buendía Espinosa

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

Directora
Maestra María Elena Contreras Garfias
Secretario académico
Doctor Luis Amado Ayala Pérez
Jefa del Programa Editorial
Lic. Diana Tzilvia Segura Zamorano

Comité Editorial
Doctor Edgar Carlos Jarillo Soto
Maestro Felipe Mendoza Pérez
Doctor Jordan Kyril Golubov Figueroa
Doctor Jorge Esteban Miranda Calderón
Doctor José Antonio Herrera Barragán
Doctor José Arturo Granados Cosme
Doctora Martha Rodríguez Gutiérrez

Nutrición animal cuantitativa

Germán David Mendoza Martínez
Pedro Abel Hernández García
Fernando Xicotencatl Plata Pérez
José Antonio Martínez García
José Luis Arcos García
Héctor Aarón Lee Rangel

Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Nutrición animal cuantitativa
Primera edición: 2022
ISBN: 978-607-28-2751-6

D.R. © 2022 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Prolongación Canal de Miramontes 3855, Exhacienda San Juan de Dios
Tlalpan, 14387, Ciudad de México.

UNIDAD XOCHIMILCO
Programa Editorial División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Teléfono: 54 83 70 00 ext. 3783
Correo: editorialcbs@correo.xoc.uam.mx
https://publicaciones.xoc.uam.mx
https://www.casadelibrosabiertos.uam.mx

Esta obra fue dictaminada por pares académicos especialistas en el tema y avalada para su publicación por el Comité Editorial de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud de la Unidad Xochimilco, de acuerdo con los lineamientos y políticas vigentes.

La UAM es una institución pública que hace crítica e investigación científica, literaria, tecnológica o artística como parte de sus funciones sustantivas y sin fines de lucro. Con base en el artículo 148 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las ilustraciones reproducidas en este libro son utilizadas con fines científicos, sin alteración de la obra y citando la fuente.

Esta publicación no puede ser reproducida, ni en todo ni en parte, ni registrada o transmitida, por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma y por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo y por escrito de los editores.

Editado en México.

Índice

Dedicatoria 17

Prólogo 19

Introducción 23

Humedad y materia seca 25

Ejercicio 1. Cálculo de materia seca 27

Ejercicio 2. Consumo de materia seca 31

Ejercicio 3. Expresión de base seca a húmeda 35

Ejercicio 4. Cálculos de preparación de alimento en base húmeda 37

Ejercicio 5. Cálculo de ración en base húmeda y relación forraje concentrado 41

Ejercicio 6. Determinación del aporte de proteína cruda 45

Ejercicio 7. Cálculo de proteína degradable y no degradable en rumen 47

Ejercicio 8. Estimación de proteína y energía digestible en raciones para conejos 53

Ejercicio 9. Aporte de principales nutrientes en dietas para cerdos 57

Análisis proximal 61

Ejercicio 10. Estimación de energía con base en el análisis proximal 67

Estimaciones de TND y energía a partir del análisis proximal 69

Ejercicio 11. Estimaciones de TND y energía a partir del análisis proximal 73

El consumo residual de alimento 77

Ejercicio 12. Consumo residual de alimento 81

Sistema proteína digestible en intestino (PDI) 83

Ejercicio 13. Cálculo de parámetros del sistema PDI 87

Predicción de crecimiento de bovinos con el sistema PDI 95

Ejercicio 14. Predicción de crecimiento de bovinos con el sistema PDI 99

El sistema proteína metabolizable 101

Ejercicio 15. Uso del sistema de proteína metabolizable para estimar crecimiento 105

Estimación de la energía digestible en alimentos para rumiantes 111

Ejercicio 16. Estimación de energía digestible de plantas consumidas por el venado cola blanca 115

Ejercicio 17. Estimación de energía digestible de especies arbóreas 119

Estimación de energía metabolizable en rumiantes 121

Ejercicio 18. Estimación de energía Metabolizable en alimentos para engorda de ovinos 123

Estimación de la energía neta 127

Ejercicio 19. Cálculo de energía neta para lactancia de alfalfa 129

Ejercicio 20. Estimación de energía neta para mantenimiento y ganancia en rumiantes 133

Estimación de la ENm y ENg de la ración con base en el comportamiento en corral de engorda 135

Ejercicio 21. Cálculo de la ENm y ENg con base en el comportamiento productivo de corral de engorda 139

Balance de energía de venados en cautiverio 141

Ejercicio 22. Estimación del balance de energía de venados en cautiverio 145

Modelos de simulación para ganado de carne 149

Ejercicio 23. Uso de un modelo de simulación para ganado de carne 153

Metabolismo basal 157

Ejercicio 24. Estimación del metabolismo basal en perros 161

Estimación de requerimientos de ENm con base en los cambios de peso 165

Ejercicio 25. Estimación de requerimientos de ENm con base en los cambios de peso 169

Estimaciones de retención y consumo de energía en conejos 173

Ejercicio 26. Estimación de retención de energía en conejos 177

Uso de análisis infrarrojo para estimar composición de alimentos 183

Ejercicio 27. Estimación de contenido de energía en alimentos para perros y balance de energía 185

Ejercicio 28. Estimación de la energía metabolizable de alimentos para perros 191

Estimación del comportamiento productivo basado en el Sistema EN California 193

Ejercicio 29. Predicción de ganancia y consumo con base en el Sistema EN California 197

Estimación del comportamiento productivo de ovinos basado en el Sistema EN California 205

Ejercicio 30. Predicción de ganancia de peso en ovinos basado en el Sistema EN California 209

Formulación de raciones con programación lineal 213

Ejercicio 31. Formulación de raciones para cerdos con programación lineal 219

Formulación de raciones con el *Solver* de *Excel* 221

Ejercicio 32. Uso de Solver para resolver una matriz simple 229

Ejercicio 33. Formulación de raciones para engorda intensiva de ovinos 237

Formulación de raciones para engorda intensiva de ovinos con programación lineal 243

Ejercicio 34. Formulación de raciones para engorda intensiva de ovinos 255

Ejercicio 35. Formulación de raciones para corrales de engorda de bovinos 263

Formulación de raciones para ganado lechero con programación lineal 267

Ejercicio 36. Formulación de ración para ganado lechero 269

Formulación de raciones para animales domésticos con programa *Evaluator and Balancer* ver 2.3 273

Ejercicio 37. Formulación de ración para cerdos *Swine diet evaluator and balancer* ver 2.3 *277*

Formulación de suplementos proteínicos para rumiantes en pastoreo 279

Ejercicio 38. Formulación de suplementos proteínicos para rumiantes en pastoreo 283

Formulación de mezclas para ensilar 287

Ejercicio 39. Ensilaje de pasto pangola con melaza y urea 293

Ejercicio 40. Ensilaje con nopal forrajero 295

Ejercicio 41. Ensilaje de nopal forrajero (mezcla del Laboratorio de Microbiología Pecuaria) 297

Evaluación de premezclas minerales para rumiantes 301

Ejercicio 42. Evaluación de premezcla mineral para bovinos 305

Diseño de premezclas minerales para rumiantes 307

Ejercicio 43. Formulación de premezcla mineral para bovinos 317

Ejercicio 44. Formulación de premezcla mineral con programación lineal 323

Ejercicio 45. Estimación de aporte de elementos de una premezcla mineral 327

Elaboración de bloques minerales y multinutricionales 331

Diseño de bloques minerales 335

Ejercicio 46. Formulación de bloque mineral para ovinos 339

Formulación de raciones para conejos 345

Ejercicio 47. Formulación de raciones para conejos con programación lineal 347

Uso del Programa NRC *Dairy Cattle Program Computations* 353

Ejercicio 48. Uso del Programa NRC *Dairy Cattle Program Computations* 357

Digestibilidad 361

Ejercicio 49. Estimación de digestibilidad de la materia seca con colección totales de excretas 365

Ejercicio 50. Estimación de digestibilidad con marcador interno 367

Estimación de digestibilidad en pastoreo con suplementos 371

Ejercicio 51. Estimación de digestibilidad en pastoreo con suplementos 375

Cinética de digestión ruminal 377

Ejercicio 52. Cálculo de parámetros de cinética de digestión ruminal 385

Tasa de digestión del almidón 389

Ejercicio 53. Cálculo de la tasa de digestión del almidón 393

Cinética de degradación por medio de la técnica de gas *in vitro* 395

Ejercicio 54. Cálculo de parámetros de cinética de degradación de resultados de gas *in vitro* 401

Tasa de pasaje en el rumen 407

Ejercicio 55. Cálculo de la tasa de pasaje de la fracción sólida en el rumen 413

Estimación de producción de metano en rumiantes 415

Ejercicio 56. Estimación de producción de metano en rumiantes 423

Estimación de metano por estequiometria de la fermentación ruminal 429

Ejercicio 57. Estimación de pérdidas de metano en ovinos 435

Ejercicio 58. Comparación de metano producido en ganado productor de leche 439

Estimaciones nutricionales en animales silvestres 443

Ejercicio 59. Estimación de dieta de carnívoros 449

Estimación del número de presas consumidas de carnívoros con base en las excretas 453

Ejercicio 60. Estimación del número de presas consumidas con base en las excretas 457

Estimación de número de individuos consumidos con base en el requerimiento de energía 461

Ejercicio 61. Estimación de número de individuos consumidos con base en el requerimiento de energía 465

Ejercicio 62. Estimación de presas consumidas por jaguar 467

Estimaciones del metabolismo energético en iguanas 473

Estimación de consumo y balance de energía en iguanas 477

Ejercicio 63. Estimación de requerimiento de energía y consumo de alimento en iguanas 481

Energética de las codornices silvestres 485

Ejercicio 64. Evaluación de energía de dieta de codornices silvestres 491

Ejercicio 65. Estimación de capacidad de carga en la codorniz común 495

Estimación de capacidad de carga nutricional en herbívoros 497

Cálculo de capacidad de carga en bovinos 499

Capacidad de carga en venado cola blanca 501

Ejercicio 66. Cálculo de capacidad de carga en praderas para bovinos 505

Ejercicio 67. Estimación de capacidad de carga para venado cola blanca 507

Estimación de consumo de alimento y requerimiento energético en oso panda 509

Ejercicio 68. Estimación de consumo de alimento y requerimiento de energía del oso panda 513

Uso de fitasas en raciones para cerdos 517

Ejercicio 69. Uso de fitasas en raciones para cerdos 521

Enzimas exógenas para rumiantes 525

Ejercicio 70. Evaluación de rentabilidad del uso de enzimas exógenas 527

Alimentación de equinos 529

Ejercicio 71. Balance de nutrientes en dietas de equinos 545

Balance nutricional en cabras 549

Ejercicio 72. Balance nutricional en cabras 557

Balance anión-catión en rumiantes 565

Ejercicio 73. Balance anión-catión en rumiantes 567

Análisis económicos de costos de alimentación 573

Ejercicio 74. Análisis económico de engorda de ovinos con distintos niveles de grano 577

Literatura 581

Dedicatoria

A nuestros maestros:

Robert (Bud) Britton†

Ernesto Riquelme Villagrán

Que nos ayudaron retando nuestra capacidad intelectual y estimularon a que siguiéramos esta apasionante aventura de la nutrición animal en la búsqueda de conocimiento útil para la sociedad, gracias.

A nuestros amigos:

Richard Bárcena Gama

Carlitos García Bojalil

Marc Bauer

Juan Andrés Lee Hernández

Jorge Alberto Castañeda Gómez Del Campo

Emilio Manuel Aranda Ibañez†

Gerardo Nicolás García Rosales

Por su amistad, **¡gracias!**

Hacer preguntas es prueba de que se piensa.

Rabindranath Tagore

La formulación de un problema es más importante que su solución.

Albert Einstein

Nunca vayas por el camino trazado porque conduce hacia donde otros han ido ya.

Alexandre Graham Bell

Queda prohibido no sonreír a los problemas, no luchar por lo que quieres, abandonarlo todo por miedo, no convertir en realidad tus sueños.

Pablo Neruda

Prólogo

Existen numerosos libros de nutrición animal de reconocidos autores que permiten al lector avanzar y adquirir los conocimientos en la fisiología digestiva de especies domésticas. Algunos libros consideran nutrición y alimentación general, otros son específicos de especies domésticas y los hay de fauna silvestre que por su calidad y contenidos son reconocidos a nivel mundial como libros clásicos. Sin duda, son consultados durante la formación a nivel profesional y de posgrado. Recuerdo los de Van Soest, Robbins, Church y Pond (con quien tuve clases), McDonald, Shimada, Maynard, Pagan, Blas, Scott, De Alba, Orskov y muchos más de gran calidad.

Decidimos hacer un libro diferente porque en nuestro camino en la nutrición animal, por cerca de 40 años, encontramos que muchos de los cálculos que se requieren en la práctica profesional se encuentran en forma parcial en algunos libros, y en otros casos, no tiene aplicación. Por ejemplo, la formulación con programación lineal con ejercicios teóricos es fácil en libros, pero en la realidad las cosas cambian y el poner muchas restricciones no lleva a soluciones factibles. Por otro lado, hay libros que sugieren usar el histórico y limitado cuadrado de Pearson, es una herramienta que no es usada por nutriólogos profesionales y por quienes hemos formulado en cientos de experimentos en varias especies o para productores. No conocemos nutriólogos profesionales que usen ese procedimiento y, sin embargo, hay egresados de algunas instituciones de educación superior que solo conocen esta herramienta.

También incluimos cálculos que aprendimos en los posgrados con maestros como Ernesto Riquelme y Bud Britton, que no están en ningún libro, pero tomábamos en los apuntes en clase y que compartimos ahora para que el estudiante de posgrado pueda conocer el alcance de estos maestros que con gran conocimiento, y sin egoísmo, nos mostraban la bioquímica acompañada de estimaciones matemáticas y nos ayudaron a pensar cuantitativamente los fenómenos biológicos. En esas clases, tuvimos discusiones de algunos modelos y su interpretación biológica, por eso omitimos los modelos de Orskov, pues biológicamente consideramos que en cinética ruminal los de Dave Mertens representan los fenómenos en forma más adecuada.

Este libro pretende mostrar cálculos en forma sencilla y secuencial desde lo más básico (materia seca, pasar raciones de base seca a base húmeda, etc.) hasta la estimación de balance de nutrientes y el uso de algunos programas de simulación del NRC disponibles, o realizados por investigadores de universidades reconocidas. Compartimos algunos cálculos que aprendimos de las publicaciones y del grupo del Dr. Richard Zinn, quien ha formado en México a investigadores en nutricional cuantitativa.

En la mayoría de los ejercicios hemos usado información generada con alumnos de licenciatura, maestría o doctorado donde los autores de este libro han sido parte del Comité Tutoral. También hay resultados de trabajos que hemos realizado con empresas y amigos de la Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal donde hemos podido vincular la teoría con la práctica y aprender muchas cosas juntos. El conocimiento en cualquier área es dinámico y las ecuaciones que se presentan aquí son perfectibles y pueden ser ajustadas o cambiadas por el lector con base en el conocimiento que va generando. Pero la base, la filosofía de cuantificar el consumo, nutrientes y efectos es importante en la evaluación y diagnóstico nutricional.

Deseamos que a partir de este libro, el lector pueda desarrollar nuevos cálculos, por ejemplo, a partir del PDI o de la proteína metabolizable se pueden estimar los flujos de lisina y metionina, importantes para la alimentación de ganado lechero, y los modelos de NRC los estima, pero ahora se reconoce la histidina como tercer limitante y se considera que las estimaciones actuales se han sobreestimado. A futuro, el cálculo de flujo de las vitaminas del complejo B será de gran importancia en rumiantes, por ejemplo colina, fosfatidilcolina, se podrá hacer con base en la síntesis de proteína microbiana. Los modelos tendrán que llegar a estimar la metilación en el organismo y la contribución corporal de metionina, folato, colina, etc. Este libro inicia en las bases, pero el

lector puede llegar más lejos en la estimación cuantitativa de los metabolitos y nutrientes para que hagamos programas de nutrición eficientes.

Las computadoras, los programas de simulación, "no saben nutrición ni fisiológica digestiva", el lector deberá acompañar los ejercicios de la lectura de los clásicos de la especie de interés y entender e interpretar biológicamente los resultados. Incluimos el uso de los programas del Dr. Marc Bauer para balances nutricionales y formulación de raciones (compañero de Nebraska y alumno del Dr. Bud Britton), en los cuales nos comparte una forma práctica y útil para analizar raciones y formular, que desarrolló en North Dakota State University. El Dr. Bauer ha realizado estudios de gran importancia en fisiología de rumiantes.

Estamos en una época donde la nutrigenómica y la metagenómica nos han demostrado cómo los nutrientes pueden afectar los genes y el metabolismo en un organismo, y también cómo la respuesta de los individuos, a pesar del mismo consumo de calorías, puede tener diferencias en la retención y digestibilidad de energía solo por la microbiota. Así que habrá casos donde las estimaciones se desvíen lo observado de lo calculado y tendremos que ir desarrollando modelos que nos permitan incorporar estos conocimientos a futuro.

Confiamos en que este libro ayude a los estudiantes de diferentes niveles de educación superior, así como a profesionales que se dedican a la nutrición y también a los colegas docentes que requieren de motivar a sus estudiantes en esta apasionante área de la ciencia animal.

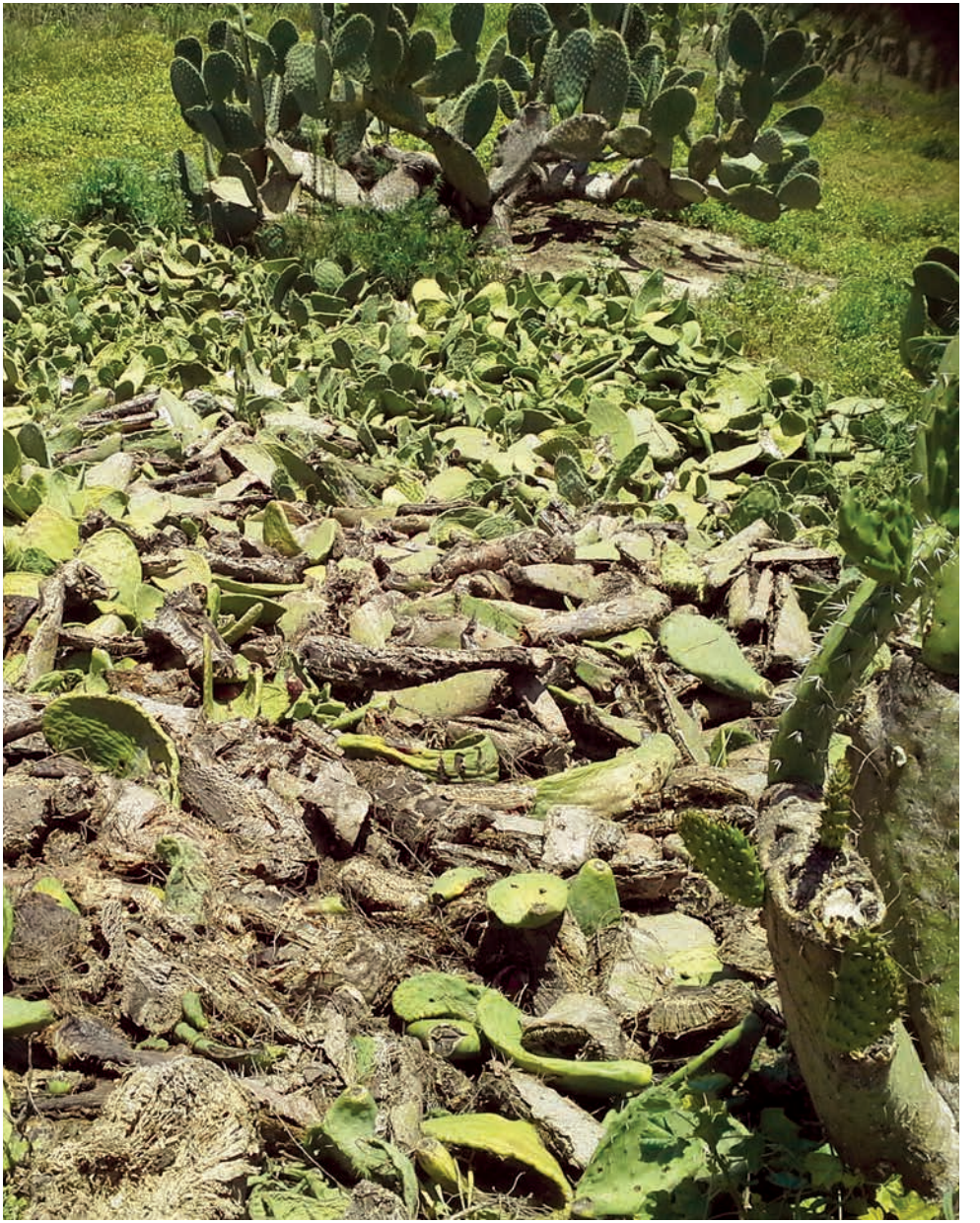
Germán David Mendoza Martínez

Introducción

Uno de los principales problemas con los que se enfrenta el estudiante de nutrición animal es tener una visión cuantitativa de la nutrición y de los procesos de alimentación, así como la dificultad de poder relacionar los conocimientos teóricos con los procesos productivos. Por eso desarrollamos este libro con ejercicios cuantitativos para diferentes especies domésticas y silvestres, con el objetivo de que el alumno pueda realizar cálculos en forma detallada y progresiva, desde el cálculo de la materia seca de un ingrediente hasta la formulación de raciones y la predicción de comportamiento productivo, incluyendo el uso de modelos de simulación y algunos cálculos de cinética de digestión que se revisan generalmente a nivel de posgrado.

Es importante señalar que todos los ejercicios están basados en resultados de investigaciones, experimentos donde participaron algunos de los autores del libro.

Se recomienda también realizar algunos ejercicios usando información de artículos científicos donde el estudiante podrá comprobar la importancia y el alcance de las estimaciones productivas.



Humedad y materia seca

Un aspecto fundamental de la nutrición es comprender que los alimentos se componen de agua y de materia seca. El contenido de agua es variable en los alimentos. Los nutrientes de estos se pueden expresar en base húmeda (donde se incluye el agua) o en base seca (cuando se excluye el contenido de agua). Es importante expresar el contenido de nutrientes en base seca, debido a que en esa fracción se encuentran los nutrientes que va a consumir el animal (McDonald *et al.*, 1987).

La determinación de materia seca (MS) es un proceso simple y existen varios procedimientos, algunos a nivel laboratorio (Easley *et al.*, 1965; AOAC, 2005). El más común es la evaporación del agua en estufa de aire forzado, determinado por diferencia de peso, después de deshidratar la muestra, aunque existen otras opciones como la estimación con equipos, como la espectroscopia de imagen en el infrarrojo cercano (Welle *et al.*, 2003) o métodos que pueden implementarse a nivel de granja (Oetzel *et al.*, 1993).

El conocimiento del contenido de humedad tiene implicaciones importantes en algunos aspectos prácticos, como la compra de forrajes o granos, así como el manejo y almacenamiento de alimentos. Para el caso de granos es importante evitar almacenar granos con más de 14 % de humedad, para evitar el crecimiento de hongos (Hettiarachichi *et al.*, 2001).

Para ejemplificar el cálculo, se tiene una muestra de forraje, con un peso inicial de 825 gramos, después de secarlo a una estufa por más de 24 horas a 60 °C, el peso final de la muestra es de 623 gramos. Con esa información se puede calcular la humedad y posteriormente la materia seca:

$$\text{Humedad}\,(\%) = [(\text{peso inicial} - \text{peso final})/(\text{peso inicial})] \times 100$$

$$\text{Humedad} = [(825 - 623)/(825)] \times 100 = [(202)/(825)] \times 100 = 24.48\%$$

Esto significa que la muestra tiene una humedad del 24.48 %, por diferencia:

$$\%\ \text{de materia seca} = 100 - \%\ \text{de humedad} = 100 - 24.48 = 75.52\%$$

La materia seca de la muestra es de 75.52 %. Los datos corresponden a la información de un ensilaje de maíz con 24.48 % de humedad.

Ejercicio 1

Cálculo de materia seca

Realizar los cálculos de materia seca y humedad de los alimentos del cuadro 1.1.

Cuadro 1.1 Información para determinación de materia seca y humedad

Alimento	Peso inicial g	Peso final g
Maíz grano	5.20	4.57
Pasta de soya	25.00	22.25
Harinolina	120.00	109.20
Harina de pluma	45.00	41.00
Pollinaza	250.00	215.00
Urea	100.00	100.00
Melaza	85.50	64.12
Heno de alfalfa	125.00	113.00
Rastrojo de maíz	750.00	675.00
Ensilado de maíz	825.00	623.00

El primer paso para determinar el contenido de materia seca, consiste en pesar la muestra antes de deshidratar en una estufa y posteriormente pesar la muestra una vez que se eliminó el agua.

Resultado ejercicio 1

Cuadro 1.2 Materia seca y humedad en los alimentos

Alimento	Peso inicial g	Peso final g	Diferencia	Humedad %
Maíz grano	5.20	4.57	0.63	12.12
Pasta de soya	25.00	22.25	2.75	11.00
Harinolina	120.00	109.20	10.80	9.00
Harina de pluma	45.00	41.00	4.00	8.89
Pollinaza	250.00	215.00	35.00	14.00
Urea	100.00	100.00	-	-
Melaza	85.50	64.12	21.38	25.01
Heno de alfalfa	125.00	113.00	12.00	9.60
Rastrojo de maíz	750.00	675.00	75.00	10.00
Ensilado de maíz	825.00	623.00	202.00	24.48

Cuadro 1.3 Contenido de materia seca y humedad de los alimentos

Alimento	Materia seca %	Humedad %
Maíz grano	87.88	12.12
Pasta de soya	89.00	11.00
Harinolina	91.00	9.00
Harina de pluma	91.11	8.89
Pollinaza	86.00	14.00
Urea	100.00	0.00
Melaza	74.99	25.00
Heno de alfalfa	90.40	9.60
Rastrojo de maíz	90.40	10.00
Ensilado de maíz	75.52	24.48




LABCONCO

Ejercicio 2

Consumo de materia seca

En uno de los albergues del zoológico de Chapultepec se tienen siete hembras de temazate (*Mazama americana*) con un peso vivo promedio de 17.6 kg, a los cuales se les ofrece una dieta compuesta por alfalfa fresca, concentrado comercial para bovino, manzana, zanahoria y un bloque multinutricional (cuadro 2.1).

Se colectaron muestras de alimento ofrecido y rechazado a las cuales se les determinó la materia seca (MS), y también se midieron las cantidades de cada alimento ofrecidas y rechazadas. Los resultados e información se presentan en el cuadro 2.1. Con esa información, calcular el consumo de materia seca y expresarlo como porcentaje de peso vivo.

Cuadro 2.1 Alimentos ofrecidos y rechazados en un albergue de temazates (*Mazama americana*) en el zoológico y su contenido de materia seca

Alimento y MS	Alimentos				
	Alfalfa	Concentrado	Zanahoria	Manzana	Bloque
Ofrecido kg/d	1.4	1.1	3.0	1.8	2.77
Rechazado kg/d	0.22	0.0	0.0	0.0	1.9
MS del ofrecido %	85.0	91.7	31.0	20.1	91.7
MS del rechazo %	55.5	no hubo rechazo			81.4

MS: materia seca.

Resultado ejercicio 2

El consumo estimado por animal es de 0.623 kg/d, que representa el 3.54 % de su peso vivo, el cual está dentro del rango reportado para consumo de venados (NRC, 2007; Plata *et al.*, 2009). Para llegar al resultado se recomienda hacer los cálculos del cuadro 2.2. Se debe sumar el consumo de todos los alimentos de la última línea para calcular el consumo diario de materia seca y al final expresarlo como porcentaje del peso vivo (17.6 kg). Los cálculos se presentan en el cuadro 2.3.

Cuadro 2.2 Cálculos necesarios para estimar el consumo de materia seca en el ejercicio del venado temazate (*Mazama americana*)

	Alimentos				
	Alfalfa	Concentrado	Zanahoria	Manzana	Bloque
Alimento ofrecido kg/d	1.4	1.1	3.0	1.8	2.77
MS del ofrecido %	85.0	91.7	31.0	20.1	91.7
Cálculo de MS ofrecida					
Rechazado kg/d	0.22	0.0	0.0	0.0	1.90
MS del rechazo %	55.5				81.4
Cálculo de MS rechazada					
Cálculo de MS consumida					
Número de animales	7	7	7	7	7
Dividir entre el número de venados					

MS: materia seca.

Es importante tener presente que los alimentos se pueden ofrecer a los animales en diferentes formas en las unidades de producción o en zoológicos. En este ejercicio se pesaron los alimentos por separado, pero en muchas unidades se ofrece la ración mezclados (raciones completas o integral).

La estimación del consumo de materia seca es uno de los indicadores más importantes para poder estimar la cantidad de nutrientes que reciben los animales y es el primer paso para poder realizar un diagnóstico nutricional. También es fundamental para la programación de las cantidades de alimentos.

En laboratorios se puede determinar el contenido de materia seca por secado en estufa (65 y 100 °C), y algunos laboratorios tienen liofilizadores para secar

por congelación y otros cuentan con equipo de destilación de tolueno (recomendado para ensilajes).

Cuadro 2.3 Resultados de la estimación del consumo de materia seca en el ejercicio del venado temazate (*Mazama americana*)

	Alimentos				
	Alfalfa	Concentrado	Zanahoria	Manzana	Bloque
Alimento ofrecido kg/d	1.4	1.1	3.0	1.8	2.77
MS del ofrecido %	85.0	91.7	31.0	20.1	91.7
MS ofrecida kg	1.19	1.008	0.93	0.361	2.54
Rechazado kg/d	0.22	0.0	0.0	0.0	1.90
MS del rechazo %	55.5				81.4
MS rechazada kg	0.122	0.0	0.0	0.0	1.546
Calcular la MS consumida					
MS consumida kg	1.067	1.008	0.93	0.361	0.993
Número de animales	7	7	7	7	7
kg MS animal/día	0.152	0.144	0.132	0.051	0.141

MS: materia seca.

Cuadro 2.4 Alimento consumido por venado temazate (*Mazama americana*) por día

Alimento	kg de MS animal/día
Alfalfa	0.152
Concentrado	0.144
Zanahoria	0.132
Manzana	0.051
Bloque	0.141
Total kg/d	0.620

MS: materia seca.

Los consumos totales de cada alimento se suman (cuadro 2.4) y el total se expresa como porcentaje de peso vivo, dividendo el total entre el peso promedio [(0.620/17.6)x100]=3.52%. Este valor se puede comparar con la literatura o el NRC de pequeños rumiantes y cérvidos para un peso similar (NRC, 2007), y también analizar e interpretar, si los valores son biológicamente correctos.



Ejercicio 3

Expresión de base seca a húmeda

Se requiere estimar la humedad de la ración consumida por los venados temazates (cuadro 2.4). Primero se determina el porcentaje de materia seca de la ración en 1 kg. Esto es importante para que, posteriormente, pueda estimar la concentración de nutrientes. En segundo lugar, calcule cuánto se debe ofrecer en base húmeda para evitar rechazo, y determine el porcentaje de materia seca de la ración. Considere el cuadro 3.1 como base para realizar sus cálculos.

Cuadro 3.1 Cálculos necesarios para determinar la materia seca y expresar la dieta en 100 % base seca

	kg MS	100 %	% MS	kg base húmeda
Alfalfa	0.152	24.52	85.00	0.178
Concentrado	0.144			
Zanahoria	0.132			
Manzana	0.051			
Bloque	0.141			
Total	0.620	100.00	-	

MS: materia seca.

Resultado ejercicio 3

Cuadro 3.2 Cálculos necesarios para determinar la materia seca y expresar la dieta en 100% base seca

	kg MS	100%	% MS	kg base húmeda
	A	B	C	A/(C/100)
Alfalfa	0.152	24.52	85.00	0.178
Concentrado	0.144	23.23	91.7	0.157
Zanahoria	0.132	21.29	31.0	0.425
Manzana	0.051	8.23	20.1	0.253
Bloque	0.141	22.74	91.7	0.153
Total	0.620	100.00	-	1.169

MS: materia seca.

La materia seca de la ración total es de 53.02% y se obtiene de dividir: (0.62/1.169)×100.

Ejercicio 4

Cálculos de preparación de alimento en base húmeda

En el cuadro 4.1 se presenta una ración usada para finalización de ovinos en forma intensiva en base seca. Calcular las cantidades que deben mezclar para preparar una tonelada de alimento en base húmeda. En la tercera columna de la primera línea del cuadro 4.1, se presenta el resultado del maíz que se obtiene de dividir la cantidad de ese alimento por su materia seca (25/0.9=27.77), la suma de todos los alimentos es mayor a 100 kg, pues contiene agua. Por regla de tres, se ajusta la cantidad a una tonelada y se expresa en la cuarta columna del cuadro.

Cuando se utilizan ingredientes con poco contenido de agua, el porcentaje en base húmeda es muy similar al formulado en base seca, pero a medida que los ingredientes tienen más humedad la proporción en la ración húmeda es mayor. Es importante poner atención en alimentos con alto contenido de agua como los ensilajes o el nopal forrajero.

El cálculo de las necesidades de materia seca del ganado es fundamental para poder formular dietas y satisfacer las necesidades de todos los nutrientes con mayor precisión, con el objeto de lograr una producción eficiente de kg de carne o leche.

En condiciones de campo se puede usar el horno de microondas para estimar la materia seca de algunos alimentos. Para eso debe de estandarizarse el

proceso, pesando una cantidad conocida de muestra (con un vaso con agua por ciclo para prevenir la ebullición) repitiendo de ciclos de duración variable hasta alcanzar peso constante.

Cuadro 4.1 Ración para engorda intensiva de ovinos y cálculos necesarios para preparar una tonelada en base húmeda

Alimento	% de ración base seca	% MS	% base húmeda	Cantidad por tonelada
Maíz molido	25.00	90.00	27.77	246.71
Maíz quebrado	24.00	90.00		
Sorgo grano	23.30	90.00		
Pasta de soya	7.00	90.00		
Melaza	8.00	75.00		
Rastrojo de maíz	10.00	90.00		
Urea	1.00	100.00		
Sales minerales	1.00	100.00		
Buffer comercial	0.70	100.00		
Total	100.00	-	112.58	1000.00

MS: materia seca.



Resultado ejercicio 4

Cuadro 4.2 Ración para engorda intensiva de ovinos y cálculos necesarios para preparar una tonelada en base húmeda

Alimento	% de ración base seca	% MS	% base húmeda	Cantidad por tonelada
Maíz molido	25.00	90.00	27.77	246.71
Maíz quebrado	24.00	90.00	26.66	236.84
Sorgo grano	23.30	90.00	25.88	229.94
Pasta de soya	7.00	90.00	7.77	69.08
Melaza	8.00	75.00	10.66	94.73
Rastrojo de maíz	10.00	90.00	11.11	98.68
Urea	1.00	100.00	1.00	8.88
Sales minerales	1.00	100.00	1.00	8.88
Buffer comercial	0.70	100.00	0.70	6.21
Total	100.00	-	112.58	1000.00

MS: materia seca.



Ejercicio 5

Cálculo de ración en base húmeda y relación forraje concentrado

Al preparar raciones en las unidades de producción, se necesita proporcionar a los técnicos o trabajadores las cantidades en base húmeda tal y como se deben de ofrecer los alimentos y como los deben de pesar. Sin embargo, la formulación de la ración y definición de la la relación forraje: concentrado se estima en base seca. Por lo anterior es importante que el estudiante pueda hacer estos cálculos de cualquier dieta para rumiantes.

La siguiente ración fue utilizada por Lara *et al.* (2006) con la que obtuvieron producciones de 35 kg al día de leche en vacas de 600 kg de peso vivo, que consumían 22.09 kg de materia seca al día. Calcule la ración en base húmeda y el porcentaje de materia seca de la ración presentada en el cuadro 5.1. Calcule la relación forraje concentrado y la dosis diaria de metionina protegida de la degradación ruminal.

Se recomienda al lector que revise el artículo completo de Lara *et al.* (2006) para que vaya familiarizándose con conocimiento de importancia para la formulación de raciones en ganado lechero, donde los conceptos de proteína de sobrepaso, flujo de aminoácidos duodenales, particularmente lisina y metionina, son fundamentales para que las vacas en lactancia puedan manifestar su máximo potencial.

Cuadro 5.1 Ración para vacas lecheras

	% BS	% MS	Ración a 1 kg	MS kg/kg	BH de 1 kg	Alimento para 22.09 kg
Alfalfa fresca	27.93	25.00	0.2793	0.25	1.112	24.67
Ensilado de maíz	20.00	35.00				
Maíz, grano	24.00	87.00				
Pasta de soya	16.00	90.00				
Melaza	4.83	75.00				
Harina de carne	4.39	93.00				
Grasa protegida	1.18	99.00				
Cloruro de sodio	0.40	100.00				
Fosfato dicálcico	0.20	100.00				
Premezcla mineral	0.70	100.00				
Premezcla vitamínica	0.30	100.00				
Metionina protegida	0.07	100.00				
Total	100.00	-	1.00	-	2.282	50.42

BS: base seca; MS: materia seca; BH: base húmeda.
Fuente: Lara *et al.* (2006).

Resultado ejercicio 5

Los dos forrajes que se tienen en la ración son alfalfa y ensilaje de maíz que en base seca suman 47.93 %, de tal forma que la relación forraje: concentrado es 47:93: 52.07. Las cantidades en base húmeda se presentan en la última columna del cuadro 5.2, de tal manera que se dosificaron alrededor de 14 g de metionina protegida para obtener la producción de leche referida. Para calcular la materia seca de la ración, se puede dividir el valor de materia húmeda derivado de 1 kg de MS de la penúltima columna: $(1/2.282)\times100=43.80\,\%$.

Es importante identificar la relación forraje: concentrado recomendada para el tipo de rumiante y etapa fisiológica. En ganado lechero se recomienda una relación forraje: concentrado entre 40:60 y 60:40 dependiendo del potencial genético de las vacas y calidad del forraje. A mayor producción se requieren proporciones más cercanas a 40:60 y con forrajes de mayor calidad se puede incrementar el forraje más cerca de 60:40. Cuando se usa ensilaje de maíz, debería considerarse el porcentaje de grano y ajustar su aporte de forraje desde 50 o 70 % para hacer un ajuste fino de la relación forraje concentrado que al final impacta en producción, grasa en leche y salud ruminal.

Cuadro 5.2 Cálculos de base húmeda para suministrar la ración para vacas lecheras

	% BS	% MS	Ración a 1 kg	MS kg/kg	BH de 1 kg	Cantidad de alimento total BH
	A	B	C=A/100	D=B/100	E=C/D	F=Ex22.09
Alfalfa fresca	27.93	25.00	0.279	0.250	1.112	24.67
Ensilado de maíz	20.00	35.00	0.200	0.350	0.571	12.62
Maíz grano	24.00	87.00	0.240	0.870	0.275	6.09
Pasta de soya	16.00	90.00	0.160	0.900	0.177	3.92
Melaza	4.83	75.00	0.048	0.750	0.066	1.42
Harina de carne	4.39	93.00	0.043	0.93	0.047	1.042
Grasa protegida	1.18	99.00	0.018	0.99	0.011	0.263
Cloruro de sodio	0.40	100.00	0.004	1.00	0.004	0.088
Fosfato dicálcico	0.20	100.00	0.002	1.00	0.002	0.044
Premezcla mineral	0.70	100.00	0.007	1.00	0.007	0.154
Premezcla vitamínica	0.30	100.00	0.003	1.00	0.003	0.073
Metionina protegida	0.07	100.00	0.0007	1.00	0.0007	0.015
Total	100.00	-	1.00	-	2.282	50.42

BS: base seca; MS: materia seca; BH: base húmeda.
Fuente: Lara *et al.* (2006).




17
16
15

Ejercicio 6

Determinación del aporte de proteína cruda

Determine cuál es el porcentaje de proteína cruda de la ración en base seca de la ración ofrecida a los *temazates* (*Mazama americana*) (cuadro 6.1), considerando los valores de proteína incluidos en el mismo cuadro.

Cuadro 6.1 Cálculos necesarios para determinar la concentración de proteína cruda de la ración ofrecida a los *temazates* (*Mazama americana*)

	% inclusión BS	% Proteína	BS en 1 kg	Aporte de proteína
Alfalfa	24.52	24.33	0.245	5.96
Concentrado	23.23	16.33		
Zanahoria	21.29	7.65		
Manzana	8.23	5.80		
Bloque	22.73	32.00		
Total	100.00	-	1.00	∑ de la columna

BS: base seca.

Resultado ejercicio 6

Los resultados (cuadro 6.2) indican que la ración tuvo una concentración de 19.14% de proteína en base seca, lo cual muestra el beneficio de usar el bloque como suplemento proteínico.

Cuadro 6.2 Resultados de los cálculos necesarios para determinar la concentración de proteína cruda de la ración de los temazates (*Mazama americana*)

	% inclusión BS	% Proteína	BS en 1 kg	Aporte de proteína
	A	B	C=(A/100)	B x C
Alfalfa	24.52	24.33	0.245	5.96
Concentrado	23.23	16.33	0.232	3.79
Zanahoria	21.29	7.65	0.212	1.62
Manzana	8.23	5.80	0.082	0.47
Bloque	22.73	32.00	0.227	7.27
Total	100.00	-	1.00	19.14

BS: base seca.

Ejercicio 7

Cálculo de proteína degradable y no degradable en rumen

La degradabilidad ruminal de la proteína es un aspecto muy importante en la nutrición de rumiantes, de tal forma que es necesario estimar la cantidad de proteína degradable en rumen y la que escapa a la fermentación ruminal, particularmente en ganado lechero y en rumiantes en crecimiento. El NRC de ganado lechero denomina DIP a la proteína degradada en rumen e UIP al consumo de proteína no degradada y establece requerimientos de las dos fracciones, por ejemplo para una vaca de 600 kg, con 30 kg/d de leche, los requerimientos son: 16% de proteína cruda, 5.2% UIP y 9.6% DIP (todos como porcentaje de la materia seca).

Usando la información de la ración de Lara *et al.* (2006) (cuadro 5.1), calcule el aporte de PC, UIP y DIP, de acuerdo con la composición de los alimentos del cuadro 7.1. Considere que algunos artículos científicos reportan la degradabilidad (DEG) como porcentaje de la proteína total y que los requerimientos (DIP, UIP) están como porcentaje de la materia seca.

Cuadro 7.1 Información de degradabilidad de la proteína (como % de la PC) de los ingredientes de la ración usada en vacas lecheras

Alimentos	% ración BS	% PC	DEG
Alfalfa fresca	27.93	18.20	76.92
Ensilado de maíz	20.00	8.80	60.00
Maíz grano	24.00	9.00	66.56
Pasta de soya	16.00	45.00	70.00
Melaza	4.83	5.80	100.00
Harina de carne	4.39	54.80	41.42
Grasa protegida	1.18	0.00	0.00
Cloruro de sodio	0.40	0.00	0.00
Fosfato dicálcico	0.20	0.00	0.00
Premezcla mineral	0.70	0.00	0.00
Premezcla vitamínica	0.30	0.00	0.00
Metionina protegida	0.07	50.00	26.00
Total	100.00		

BS: base seca; DEG: degradabilidad ruminal.
Fuente: Lara *et al.* (2006).

Resultado ejercicio 7

Primero se calculan las fracciones degradables en rumen (DIP, por sus siglas en inglés) e indegradables en rumen (UIP) como porcentaje de la materia seca, multiplicando la degradabilidad por el porcentaje de la proteína (DIP) y la no degradable (100 – DEG) por la proteína para obtener la UIP (cuadros 7.2 y 7.3). Otra forma de obtener UIP es restando la PC de DIP. Las ecuaciones son:

$$DIP(\%) = [(DEG\,\%)/100] \times PC\%$$

$$UIP(\%) = PC\,\% - DIP\,\%$$

Donde:

DIP: proteína degradable en rumen % de la materia seca (MS)
DEG: degradabilidad de la proteína % de la PC
PC: proteína cruda % de la MS
UIP: proteína no degradable en rumen % MS

Cuadro 7.2 Cálculos para estimar las fracciones de proteína degradable y no degradable en rumen como porciento de la materia seca en una ración de vacas lecheras

Alimentos	% ración BS	% PC	% DEG	DIP	UIP
Alfalfa fresca	27.93	18.20	76.92		
Ensilado de maíz	20.00	8.80	60.00		
Maíz grano	24.00	9.00	66.56		
Pasta de soya	16.00	45.00	70.00		
Melaza	4.83	5.80	100.00		
Harina de carne	4.39	54.80	41.42		
Grasa protegida	1.18	0.00	0.00		
Cloruro de sodio	0.40	0.00	0.00		
Fosfato dicálcico	0.20	0.00	0.00		
Premezcla mineral	0.70	0.00	0.00		
Premezcla vitamínica	0.30	0.00	0.00		
Metionina protegida	0.07	50.00	26.00		
Total	100.00				

BS: base seca; PC: proteína cruda; DEG: degradabilidad ruminal; DIP: proteína degradable en rumen; UIP: proteína no degradable en rumen.
Fuente: Lara *et al.* (2006).



Cuadro 7.3 Resultados del cálculo de las fracciones de proteína degradable y no degradable en rumen de una ración para vacas lecheras

Alimentos	% ración BS	% PC	% DEG	DIP	UIP
Alfalfa fresca	27.93	18.20	76.92	13.99	4.21
Ensilado de maíz	20.00	8.80	60.00	5.28	3.52
Maíz grano	24.00	9.00	66.56	5.99	3.00
Pasta de soya	16.00	45.00	70.00	31.50	13.50
Melaza	4.83	5.80	100.00	5.80	0.00
Harina de carne	4.39	54.80	41.42	22.69	32.10
Grasa protegida	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00
Cloruro de sodio	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Fosfato dicálcico	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
Premezcla mineral	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00
Premezcla vitamínica	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00
Metionina protegida	0.07	50.00	26.00	13.00	37.00
Total	100.00				

BS: base seca; PC: proteína cruda; DEG: degradabilidad ruminal; DIP: proteína degradable en rumen; UIP: proteína no degradable en rumen.
Lara *et al.* (2006)

Posteriormente, se multiplica por la fracción (de la ración en 1 kg) y se suma para obtener el resultado de la concentración de PC, DIP y UIP (cuadros 7.4 y 7.5).

$$\text{Aporte de PC \%} = \sum[(\%\ \text{ración BS}/100) \times \%\ \text{PC}]$$

$$\text{Aporte de DIP \%} = \sum[(\%\ \text{ración BS}/100) \times \%\ \text{DIP}]$$

$$\text{Aporte de UIP \%} = \sum[(\%\ \text{ración BS}/100) \times \%\ \text{DIP}]$$

Debe ponerse atención en estos cálculos para que la estimación de las fracciones de la proteína sean las correctas. Se sugiere comparar los resultados que se obtienen con los valores reportados en tablas del NRC de rumiantes y tener presente que en ocasiones los valores se pueden expresar como porcentaje de la materia seca o como porcentaje de la proteína.

Cuadro 7.4 Cálculos para estimar el aporte de proteína degradable y no degradable en rumen de una ración para vacas lecheras

Alimentos	Ración kg/kg	% PC	Aporte PC	DIP	Aporte DIP	UIP	Aporte UIP
	A	B	A x B	C	A x C	D	A x D
Alfalfa fresca	0.2793	18.20	5.08	13.99	**3.91**	4.21	1.17
Ensilado de maíz	0.2000	8.80		5.28		3.52	
Maíz grano	0.2400	9.00		5.99		3.00	
Pasta de soya	0.1600	45.00		31.50		13.50	
Melaza	0.0483	5.80		5.80		0.00	
Harina de carne	0.0439	54.80		22.69		32.10	
Grasa protegida	0.0118	0.00		0.00		0.00	
Cloruro de sodio	0.0040	0.00		0.00		0.00	
Fosfato dicálcico	0.0020	0.00		0.00		0.00	
Premezcla mineral	0.0070	0.00		0.00		0.00	
Premezcla vitamínica	0.0030	0.00		0.00		0.00	
Metionina protegida	0.0007	50.00		13.00		37.00	
Total	1.00		Σ		Σ		Σ

PC: proteína cruda; DIP: proteína degradable en rumen; UIP: proteína no degradable en rumen.

Es sencillo realizar estos cálculos en una hoja de *Excel*. Se recomienda poner atención en los valores de contenido de proteína y su degradabilidad ruminal que caracterizan a los alimentos, para identificar los que pueden aportar mayor proteína de sobrepaso (fracción UIP) que tendrán impacto en el aporte de aminoácidos a nivel duodenal y en la respuesta de ganancia de peso en animales en crecimiento.

Los sistemas de evaluación de proteína en rumiantes han venido mejorándose y se recomienda que el estudiante revise cuidadosamente la sección de proteína del NRC más reciente. Los requerimientos iniciaron con proteína cruda, posteriormente se incorporaron los de DIP y UIP, proteína metabolizable y las últimas recomendaciones (NRC 2021) presentan necesidades recomendadas de lisina, metionina y de otros aminoácidos a nivel duodenal.

Cuadro 7.5 Resultados de proteína cruda, proteína degradable y no degradable en rumen de una ración para vacas lecheras

Alimentos	Ración kg/kg	% PC	Aporte PC	DIP	Aporte DIP	UIP	Aporte UIP
	A	B	A x B	C	A x C	D	A x D
Alfalfa fresca	0.2793	18.20	5.08	13.99	**3.91**	4.21	1.17
Ensilado de maíz	0.2000	8.80	1.76	5.28	**1.05**	3.52	0.70
Maíz grano	0.2400	9.00	2.16	5.99	**1.43**	3.00	0.72
Pasta de soya	0.1600	45.00	7.20	31.50	**5.04**	13.50	2.16
Melaza	0.0483	5.80	0.28	5.80	**0.28**	0.00	0.00
Harina de carne	0.0439	54.80	2.40	22.69	**0.99**	32.10	1.40
Grasa protegida	0.0118	0.00	0.00	0.00	**0.00**	0.00	0.00
Cloruro de sodio	0.004	0.00	0.00	0.00	**0.00**	0.00	0.00
Fosfato dicálcico	0.002	0.00	0.00	0.00	**0.00**	0.00	0.00
Premezcla mineral	0.007	0.00	0.00	0.00	**0.00**	0.00	0.00
Premezcla vitamínica	0.003	0.00	0.00	0.00	**0.00**	0.00	0.00
Metionina protegida	0.0007	50.00	0.03	13.00	**0.0091**	37.00	0.025
Total	1.00		18.92		**12.73**		6.19

PC: proteína cruda; DIP: proteína degradable en rumen; UIP: proteína no degradable en rumen.

Cuadro 7.6 Comparación de la proteína aportada en la ración con los requerimientos NRC de ganado lechero

	Requerimientos NRC (2001)	Aporte de la ración
Proteína cruda %	16.0	18.92
Proteína no degradable en rumen (UIP) %	5.2	6.19
Proteína degradable en rumen (DIP) %	9.6	12.73
Proteína degradable en rumen (DEG) %	67.50	67.28

Al comparar los resultados con los requerimientos del NRC (2001), se observa que la ración tiene un exceso de proteína cruda, así como un mayor aporte de proteína, proteína de sobre paso y de proteína degradable en rumen (cuadro 7.6). Si se expresan los requerimientos de NRC como porcentaje (%) de la proteína, se requiere una ración con 67.50 % de proteína degradable en rumen (DEG), la ración de Lara tiene una degradabilidad de 67.28 %. A pesar de que se desvía un poco de los requerimientos, con esa ración Lara *et al.* (2006) obtuvieron producciones de 35 kg/día.

Ejercicio 8

Estimación de proteína y energía digestible en raciones para conejos

La ración del cuadro 8.1 fue proporcionada a conejos en crecimiento y se determinó su contenido de proteína en laboratorio (18.52%) y la cantidad de energía digestible (ED) en ensayo de digestibilidad por marcadores (2404 kcal/kg). Estime la concentración de proteína esperada con base en la cantidad de cada alimento y la ED teórica que debería tener la ración, e indique si la ración puede ser usada para conejos en crecimiento, dado que el NRC (1977) para conejos en crecimiento, recomienda una concentración dietaria de 16% de proteína y 2500 kcal de ED por kg de alimento.

Existe el interés de reemplazar las estimaciones de ED por energía metabolizable (EM) o energía neta (EN) en conejos, sin embargo, la mayor parte de la información de alimentos para conejos está disponible en valores de ED. Los interesados en profundizar en alimentación y nutrición de conejos deberán tener presente las limitaciones que tienen los valores de ED de algunos alimentos, particularmente con altas concentraciones de proteína, de fibra digerible y de grasas.

Cuadro 8.1 Ración para conejos de engorda y contenido de proteína y energía de los alimentos

Alimentos	% ración	% PC	ED kcal/kg
Salvado de trigo	40.00	17.50	2400
Salvado de maíz	22.50	18.00	2300
Alfalfa deshidratada	20.00	25.00	2470
Sorgo grano	6.85	8.00	3745
Melaza	5.00	5.80	2000
Pasta de soya	3.15	45.00	3590
Carbonato de calcio	1.50	0.00	0.00
Sal común	0.75	0.00	0.00
Premezcla vitamínica	0.25	0.00	0.00
Total	100.00		

PC: proteína cruda; ED: energía digestible.

Para estimar el contenido de nutrientes use las siguientes ecuaciones y llene los espacios del cuadro 8.2.

Ración en 1 kg = (% ración)/100

Aporte de PC por alimento = (Cantidad en 1 kg de alimento) × % PC del alimento

Aporte de ED por alimento = (Cantidad en 1 kg de alimento) × ED kcal/kg alimento

El estudiante podrá identificar que el principio de estimar el contenido de energía es igual al de otros nutrientes y la estimación basada en un kilogramo presenta ventajas de cálculo, de análisis de ingredientes y su aporte, así como de la interpretación sencilla con relación a las concentraciones recomendadas para la especie por etapa fisiológica. Sin embargo, debe recordar que las necesidades energéticas son de kcal/día y que se requiere del consumo para hacer un balance energético completo.

Para poder realizar un diagnóstico nutricional lo primero que se requiere es conocer la concentración de los nutrientes por kg de alimento. Esta información permite rápidamente identificar si el alimento o ración cumple con los requerimientos de proteína y energía con referencia a los requerimientos de la especie de interés.

Cuadro 8.2 Cálculos necesarios para estimar el contenido de proteína y energía de la ración para conejos

Alimentos	% ración	Ración en 1 kg	% PC	Aporte PC	ED kcal/kg	Aporte de ED kcal/kg
Salvado de trigo	40.00	0.40	17.50	7.00	2400	960
Salvado de maíz	22.50		18.00		2300	
Alfalfa deshidratada	20.00		25.00		2470	
Sorgo grano	6.85		8.00		3745	
Melaza	5.00		5.80		2000	
Pasta de soya	3.15		45.00		3590	
Carbonato de calcio	1.50		0.00		0.00	
Sal común	0.75		0.00		0.00	
Premezcla vitamínica	0.25		0.00		0.00	
Total	100.00	∑		∑		∑

PC: proteína cruda; ED: energía digestible.

Resultado ejercicio 8

Cuadro 8.3 Resultados de los cálculos para estimar el contenido de proteína y energía de la ración para conejos

Alimentos	% ración	Ración en 1 kg	% PC	Aporte PC	ED kcal/kg	Aporte de ED kcal/kg
Salvado de trigo	40.00	0.400	17.50	7.00	2400	960
Salvado de maíz	22.50	0.225	18.00	4.05	2300	517.5
Alfalfa deshidratada	20.00	0.200	25.00	5.00	2470	494
Sorgo grano	6.85	0.0685	8.00	0.548	3745	256.53
Melaza	5.00	0.050	5.80	0.290	2000	100.00
Pasta de soya	3.15	0.0315	45.00	1.417	3590	3590
Carbonato de calcio	1.50	0.015	0.00	0.00	0.00	0.00
Sal común	0.75	0.075	0.00	0.00	0.00	0.00
Premezcla vitamínica	0.25	0.025	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	1.00		18.305		2441.1

PC: proteína cruda; ED: energía digestible.

Los resultados de laboratorio y del ensayo son similares (cuadro 8.3). Los valores de proteína están ligeramente por arriba del requerimiento, mientras que

los de ED están un poco por debajo del óptimo, por lo que se podría ajustar la dieta reduciendo un ingrediente como la alfalfa e incrementando la cantidad de sorgo, o incluyendo aceite vegetal para aumentar el contenido de energía.

Ejercicio 9

Aporte de principales nutrientes en dietas para cerdos

La ración del cuadro 9.1 fue proporcionada a cerdos Yorkshire × Landrace de 15 kg, los cuales consumieron un promedio de 1.142 kg/d, con una ganancia diaria de peso de 0.214 kg/d. La concentración de nutrientes recomendada en la dieta de proteína y de algunos aminoácidos esenciales del NRC de cerdos (2012) en raciones 90 % materia seca para ese peso son de 20.9 % proteína, 1.01 % lisina, 0.27 % de metionina, 0.56 % treonina y 0.16 % de triptófano. Indique si la ración cubre los requerimientos recomendados e intérprete los resultados biológicamente.

Para estimar el contenido de nutrientes, primero se expresa la ración por kg y después se multiplican los aportes y se suman al igual que el ejercicio 8. Por ejemplo, para estimar el aporte de lisina de la pasta de soya sería la multiplicación de [22.40/100] × 3.02. La sumatoria de los aportes de todos los alimentos que aportan lisina nos dan la concentración de lisina de la ración.

El estudiante puede realizar estos cálculos en hojas de *Excel* con fórmulas sencillas con la función sumaproducto la permite realizar la multiplicación de los valores pertenecientes a las matrices proporcionadas para obtener su producto y posteriormente hace la suma de todos esos productos. En este caso se usa la matriz obligatoria el porcentaje de la ración y la matriz opcional los nutrientes de los ingredientes y se divide entre 100 para obtener la estimación por

kilogramo, por ejemplo =SUMAPRODUCTO($E$10:$E$226,T10:T226)/100 donde la relación E10:E226 corresponde a la ración en porcentaje y la de T10:T226 a alguno de los nutrientes como la proteína. Hay que hacer una función para cada columna de nutrientes por ejemplo otra sería =SUMAPRODUCTO($E$10:$E$226,X10:X226)/100.

Cuadro 9.1 Ingredientes y contenido de proteína y aminoácidos de dietas para cerdos

Alimentos	% ración	Proteína	Lisina	Metionina	Treonina	Triptófano
Sorgo grano	75.00	8.00	0.80	0.10	0.27	0.09
Pasta de soya	22.40	45.00	3.02	0.65	1.70	0.70
Aceite vegetal	0.21	-	-	-	-	-
DL-Metionina	0.11	-	-	99	-	-
L-Triptófano	0.01	-	-	-	-	98
L-Treonina	0.015	-	-	-	99	-
Carbonato de Ca	0.73	-	-	-	-	-
Fosfato dicálcico	0.705	-	-	-	-	-
Vitaminas	0.27	-	-	-	-	-
Minerales	0.20	-	-	-	-	-
Sal	0.35	-	-	-	-	-
Total	100.00					

Resultados ejercicio 9

Los resultados de los cálculos se presentan en el cuadro 9.2. En nutrición de cerdos se puede formular debajo del requerimiento de proteína siempre y cuando se cumpla con el requerimiento de aminoácidos indispensables. La formulación de cerdos se hace con base en 90% materia seca, dado que los alimentos se encuentran en promedio con esa humedad.

Debe tenerse presente que los cerdos son omnívoros, por lo que se puede incluir una variedad de alimentos al formular raciones. Se debe poner atención en cubrir las necesidades de energía y proteína; pero en esta última en forma más específica en el requerimiento de lisina y revisar los posibles aminoácidos limitantes dependiendo de los ingredientes con los que se formula. También es indispensable checar el aporte de minerales y vitaminas para asegurar un desempeño adecuado.

Cuadro 9.2 Resultados de contenido de proteína y aminoácidos (90% MS) de dietas para cerdos

Alimento	Ración por kg	PC	Aporte PC	Lis	Aporte Lisina	Met	Aporte Met	Treo	Aporte Treo	Trip	Aporte Trip
	A	B	A x B	C	A x C	D	A x D	E	A x E	F	A x F
Sorgo grano	0.750	8.00	6.00	0.80	0.10	0.60	0.45	0.27	0.20	0.09	0.067
Pasta de soya	0.224	45.00	10.08	3.02	0.67	0.65	0.145	1.70	0.38	0.70	0.156
Aceite vegetal	0.0021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DL-Metionina	0.0011	-	-	-	-	99	0.108	-	-	-	-
L-Triptófano	0.0001	-	-	-	-	-	-	-	-	98	0.0098
L-Treonina	0.00015	-	-	-	-	-	-	99	0.014	-	-
Carbonato de Ca	0.0073	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fosfato dicálcico	0.00705	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vitaminas	0.0027	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Minerales	0.0020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sal	0.0035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	1.00		16.08		1.27		0.704		0.59		0.23



Análisis proximal

Uno de los primeros métodos desarrollados para determinar la composición química de los alimentos fue propuesto en 1800 en la estación experimental de Weende en Alemania (McDowell *et al.*, 1974) y a pesar de que tiene algunas limitantes, en algunos casos es la única información con que se cuenta para estimar el valor nutricional de un alimento. Las fracciones que separa este análisis a la muestra de alimento son el contenido de humedad, proteína cruda (nitrógeno total), fibra cruda, grasa cruda, ceniza y extracto libre de nitrógeno (Detmann y Valadares, 2010).

Una de las principales limitantes es que los reactivos usados para la determinación de fibra cruda hidrolizan celulosa y hemicelulosa, por lo que siempre subestima la fracción real de los carbohidratos estructurales de los vegetales, por lo que se recomienda complementar los análisis químicos proximales con los de detergentes propuestos por Van Soest (1994). Otro problema derivado de este es que la fracción de extracto libre de nitrógeno representa los carbohidratos solubles y de mayor digestibilidad, pero al estimarse por diferencia lleva los errores de la técnica a esta fracción, y al haberse hidrolizado parte de los carbohidratos estructurales (de la FDN) esta fracción no siempre es confiable (Detmann y Valadares, 2010). A pesar de esto, se hacen estimaciones de energía bruta que pueden ser útiles, sobre todo si consideramos que los elementos básicos de una molécula de almidón y de celulosa son los mismos y la energía potencial es similar.

Durante muchos años, se ha estimado el TND (total de nutrientes digestibles) y otros valores de energía basándose en el proximal (McDowell *et al.*, 1974), lo cual debería evitarse en lo posible. Es mejor basarse en la energía bruta y usar coeficientes de digestibilidad de la especie donde se va a usar el alimento y a partir de ahí con base en un conocimiento de la fisiología digestiva y de las pérdidas energéticas, estimar los valores de EM o EN.

Es muy común que las etiquetas de alimentos balanceados de especies domésticas o de animales de zoológicos, solo cuenten con información del proximal, por lo que se requiere de estimar el Extracto Libre de Nitrógeno (abreviado como ELN en mucha literatura) con la siguiente ecuación:

$$\text{Extracto libre de nitrógeno (\%)} = 100 - (A + B + C + D + E)$$

Donde:

A = Contenido de humedad (%)
B = Contenido de proteína cruda (%)
C = Contenido de lípidos crudos (%)
D = Contenido de fibra cruda (%)
E = Contenido de ceniza (%)

Para ejemplificar, considere que en una etiqueta de alimento comercial para cebras, se tiene la siguiente composición: humedad 9%, proteína 14%, grasa cruda 2%, fibra cruda 15%, cenizas 8.5%. Entonces el extracto libre de nitrógeno (ELN) se calcula:

$$\text{ELN} = 100 - (9 + 14 + 2 + 15 + 8.5) = 51.5\%$$

Para estimar el contenido calórico (energía bruta), primero debemos poner los componentes en base seca. Si se tiene 9% de humedad, entonces la materia seca es de 91%. Para pasar los contenidos a base seca (a los nutrientes dentro de la materia orgánica), dividimos el nutriente en base húmeda por el contenido de MS y lo multiplicamos por 100, por ejemplo, el valor de proteína: proteína en base seca=(14/91)×100=15.38%. Las otras fracciones se muestran en el cuadro 10.1.

En caso de que no se tenga el análisis proximal se pueden usar las fracciones de Van Soest, la celulosa y la hemicelulosa tienen un calor de combustión de 4.1 kcal/g y la lignina 5.8 kcal/g. En este caso se recomienda usar los valores de FDN corregidos por ceniza para no sobreestimar el aporte energético.

Cuadro 10.1 Estimación de nutrientes a base seca del análisis proximal de un alimento para cebras

Fracción	Base húmeda	Base seca
	%	
Humedad	9.0	
Proteína	14.0	15.38
Grasa cruda	2.0	2.19
Fibra cruda	15.0	16.48
Cenizas	8.5	9.34
Extracto libre de nitrógeno	51.5	56.59
Total	100.0	100.00

Para estimar el valor calórico debemos considerar el tipo de alimento y algún factor de equivalencia energética de la fracción. Se pueden usar los sugeridos por Merrill y Watt (1973) de acuerdo con el tipo de alimento. Cuando se tienen alimentos comerciales balanceados, la etiqueta de estos debe señalar los alimentos que se usan y si bien no se indica la fórmula, el orden de uso indica qué ingredientes se usan en mayor proporción. Por ejemplo, en la etiqueta comercial se mencionan los siguientes alimentos: avena molida, molidos de trigo, cáscara de avena, harina de alfalfa deshidratada, pasta de linaza (extraída con solventes), pulpa de remolacha seca, pasta de soya sin cáscara, fosfato dicálcico, fosfato monocálcico, menadiona (vitamina K), carbonato de calcio, óxido de magnesio, vitamina C, ácido fólico, vitamina E, cloruro de colina, cianocobalamina, acetato de vitamina A, colecalciferol (vitamina D), mononitrato de tiamina, biotina, riboflavina, pantotenato de calcio, ácido nicotínico, óxido manganoso, óxido de zinc, carbonato ferroso, sulfato de cobre, sulfato de Zn, yodato de calcio, carbonato de cobalto, selenito de sodio. Esto indica que el alimento tenía mayor contenido de avena molida, seguida de molidos de trigo, y así sucesivamente hasta los minerales que son los que se añaden en cantidades menores.

Se puede concluir que el alimento está formulado con granos (avena) y forrajes. Considerando el cuadro 10.2, podemos seleccionar los coeficientes que vamos a usar para estimar el contenido de energía de cada fracción. Es importante mencionar que muchos alimentos no tienen toda la información de los minerales y vitaminas como en este caso, pero los alimentos de zoológico que compiten en mercados internacionales dan información muy completa. En este

caso, vemos que los valores de granos y leguminosas son similares, por lo que usaremos los coeficientes para granos.

Cuadro 10.2 Valores de energía recomendados de acuerdo con el tipo de alimento para estimar energía bruta

Fracción	Proteína	Grasa	Carbohidratos
	kcal/g		
Animal (huevo, carne, leche)	5.5	9.0	3.9
Frutas	5.5	8.4	3.9
Granos	5.5	8.4	4.0
Leguminosas y nueces	5.5	8.4	4.1
Vegetales	2.7	8.4	3.7

Otra ecuación (McDowell *et al.*, 1974) que se puede usar para estimar la energía bruta con base en los porcentajes del análisis proximal de los concentrados es:

$$EB\ (kcal/g) = 5.72(PC/100) + 9.5(EE/100) + 4.79(FC/100) + 4.7(ELN/100)$$

Para cada fracción se multiplica por su valor calórico y se suman al total, por ejemplo, para la proteína que en base seca es 15.38%:

$$EB\ aportada\ proteína = (15.38/100) \times 5.5 = 0.8459$$

Se hace esta operación para cada fracción como se presenta en el cuadro 10.3. Las cenizas no aportan energía.

Cuadro 10.3 Estimación del valor de energía bruta base seca del alimento para cebras

Fracción	Base húmeda %	Base seca %	Constante	Aporte
Humedad	9			
Proteína	14	15.38	5.5	0.8459
Grasa cruda	2	2.19	8.4	0.1840
Fibra cruda	15	16.48	4.0	0.6592
Cenizas	8.5	9.34	-	-
ELN	51.5	56.59	4.0	2.2636
Total	100	100		3.9527

Entonces el alimento comercial para cebras tiene un valor calórico estimado de 3.9527 kcal/g. Para estimar la ED, es necesario conocer la digestibilidad de alimentos en equinos (por ser la especie más cercana). Por ejemplo, Arruda y Ribeiro (2009) evaluaron la digestibilidad de varias dietas y encontraron una media de 65.92%. Bush *et al.* (2001) evaluaron dietas con grano y grasa y tuvieron una digestibilidad media de 51.62%. En otro estudio con dietas basadas en cebada, alfalfa y avena, el promedio fue de 54.3% (Cymbaluk *et al.*, 1989). Para no subestimar la ED usaremos el valor de Arruda y Ribeiro (2009):

$$ED = 0.6592 \times EB$$

$$ED = 0.6592 \times 3.953 = 2.60 \text{ kcal/g}$$

Para estimar la EM podemos usar la ecuación de Zeyner y Kienzle modificada, que se basa en la composición química (Kienzle y Zeyner, 2010), usando los nutrientes en g/kg de materia seca: EM(MJ/kg MS)=-3.54+0.0129 proteína cruda+0.0420 grasa cruda–0.0019 fibra cruda+0.0185 ELN. Para convertir de MJ/kg en Mcal/kg o kcal/g, solo dividimos por 4.184. Para facilitar el cálculo, lo hacemos en forma de tabla, como se muestra en el cuadro 10.4.

Cuadro 10.4 Estimación de EM basada en la composición química del alimento para equinos

Fracción	%	g/kg	Factor	Aporte
Intercepto			-3.54	-3.54
Proteína	15.38	153.84	0.0129	1.984
Grasa	2.19	21.97	0.042	0.9230
Fibra	16.48	164.83	-0.0019	-0.3131
ELN	56.59	565.93	0.0185	10.4697
Total MJ				9.5242
Total Mcal/kg				2.276

ELN: extracto libre de nitrógeno.
Fuente: Merril y Watt (1973).

Entonces se estima que el alimento tiene una EM de 2.27 kcal/g (Mcal/kg). El valor del proveedor estimado es de 2.35 kcal/g, con lo que podemos ver que se pueden hacer estimaciones apropiadas con esta metodología. Lo importante es

seleccionar las ecuaciones y los valores de digestibilidad apropiados para cada especie o modelo a evaluar.

Para estimar la EN del alimento, es necesario conocer la eficiencia de utilización de la EM/EN (k). Los estudios de Pagan y Hintz (1986) indican que esta eficiencia puede ser de 0.59 para engorda. Usando ese coeficiente, la EN del alimento sería:

$$ENg = 2.276 \times 0.59 = 1.34 \text{ kcal/g}$$

Conocer la eficiencia es más importante para poner los requerimientos de los animales en términos de EM o ED y poder formular raciones, como se explicará en ejercicios posteriores. La eficiencia de utilización para mantenimiento debe ser similar a los rumiantes con un factor de 70.5%. Con eso se estimaría la ENm del alimento:

$$ENg = 2.276 \times 0.70 = 1.60 \text{ kcal/g}$$

Dado que los requerimientos de equinos no están determinados en ENm o ENg, debemos trabajar en ED o EM.

Ejercicio 10

Estimación de energía con base en el análisis proximal

Usando la información del concentrado de cebras, use la ecuación EB=5.72 (PC/100)+9.5 (EE/100)+4.79 (FC/100)+4.17 (ELN/100) y estime los valores de energía bruta (EB), energía digestible y energía metabolizable. Para estimar EM considere la relación EM/ED de 0.9, en lugar de usar la ecuación basada en análisis proximal EM=0.9 (ED). Compare las dos estimaciones de EB y EM e indique cuál sería la más adecuada, considerando que el valor del proveedor es adecuado (EM=2.35 kcal/g).

Resultados ejercicio 10

En el cuadro 10.5 se presentan los cálculos de una forma simple, donde después de transformar a base seca, se multiplica cada fracción por su constante calórica y se suma el aporte.

En caso de que no se tenga el análisis proximal se puede usar las fracciones de Van Soest, la celulosa y la hemicelulosa que tienen un calor de combustión de 4.1 kcal/g y la lignina 5.8 kcal/g. Lo que sería importante es usar los valores de FDN corregidos por ceniza para no sobreestimar el aporte energético.

Cuadro 10.5 Estimación del valor de energía bruta, base seca del alimento para cebras

Fracción	Base húmeda %	Base seca %	Constante	Aporte
Humedad	9.0			
Proteína	14.0	15.38	5.72	0.88
Grasa cruda	2.0	2.19	9.55	0.208
Fibra cruda	15.0	16.48	4.79	0.789
Cenizas	8.5	9.34	-	-
ELN	51.5	56.59	4.17	2.359
Total	100	100.00		4.238

ELN: extracto libre de nitrógeno.

EB=4.23 kcal/g
ED=0.6592 × EB
ED=0.6952 × 4.23=2.79 kcal/g
EM=0.9 × 2.79=2.51 kcal/g

La estimación de EB de 4.23 kcal/g es más parecida a la que se obtendría con un calorímetro. Asimismo, el valor de EM de 2.51 kcal/g es similar al del proveedor. Es importante que se hagan los dos sistemas y se use el valor que biológicamente se considere más adecuado.

Estimaciones de TND y energía a partir del análisis proximal

A pesar de las limitaciones que tiene el análisis proximal, en animales domésticos se han usado ecuaciones de predicción de energía del TND (total de nutrientes digestibles) que es una estimación de digestibilidad y, a partir de este valor, se pueden estimar los valores de ED, EM y EN (NRC, 1982; 1984). Es importante enfatizar que siempre es mejor hacer una medición o estimación de digestibilidad (*in vitro, in situ*, producción de gas, *in vivo*) que la estimación basada en el análisis proximal, y se sabe desde hace varios años que la digestibilidad de la pared celular varía de acuerdo con cada forraje (Pinos *et al.*, 2002; Aranda *et al.*, 2004), o bien, que la digestión del almidón de los granos es muy variable (Mendoza *et al.*, 2000; Durán *et al.*, 2004). Para usar las ecuaciones se requiere de una estimación de la digestibilidad de la fracción del análisis proximal. Las ecuaciones del total de nutrientes digestibles (TND), las presenta el NRC (1982) y se describen a continuación:

$$TND\ \% = (PD + FD + ELND + EED + 2.25)$$

Donde:

TND=Total de nutrientes digestibles %
PD=Proteína cruda digestible=(PC) (Digestibilidad/100)
FD=Fibra cruda digestible=(FC) (Digestibilidad/100)
ELN=Extracto Libre de Nitrógeno Digestible=(ELN) (Digestibilidad/100)
EED=Extracto Etéreo Digestible=(EE) (Digestibilidad/100)

Para poder hacer estas estimaciones, se requiere la información de la digestibilidad de cada fracción. Los coeficientes varían con cada especie (rumiante y no rumiante). Por ejemplo, supongamos que se tiene un grano de sorgo con la siguiente información en base seca con coeficientes para rumiantes: PC 9%, EE 4%, FC 6% y ELN 77%. Los valores de digestibilidad de cada fracción son: proteína 80%, extracto etéreo 90%, fibra cruda 50% y ELN 90%. Entonces las fracciones digestibles se calculan con la siguiente ecuación:

$$\text{Fracción digestible (\%)} = (\text{\% digestibilidad}/100) \times \text{nutriente}$$

$$PCD = (80/100) \times 9 = 7.2$$

$$EED = (90/100) \times 4 = 3.6$$

$$FCD = (50/100) \times 6 = 3.0$$

$$ELND = (90/100) \times 77 = 69.3$$

La estimación del TND es entonces:

$$TND\ \% = (PD + FD + ELND + EED \times 2.25)$$

$$TND\ \% = (7.2 + 3.0 + 69.3 + 3.6 \times 2.25)$$

$$TND = (7.2 + 3.0 + 69.3 + 8.1) = 87.6\%$$

Estimación de energía digestible a partir del TND

El contenido de energía digestible (ED) o metabolizable (EM) se puede estimar a partir del TND o su equivalente (digestibilidad), con las siguientes ecuaciones, dependiendo de la especie:

$$ED(Mcal/kg) = TND(rumiantes) \times 0.04409$$

$$ED(Mcal/kg) = TND(caballos) \times 0.0365 + 0.172$$

$$ED(Mcal/kg) = TND(cerdos) \times 0.04409$$

Por ejemplo, para el caso del sorgo con un TND de 87.6% el valor de ED para rumiantes sería:

$$ED(Mcal/kg) = TND(rumiantes) \times 0.04409$$

$$ED = 87.6 \times 0.04409 = 3.862\ Mcal/kg$$

A partir de la ED se puede estimar la EM con las siguientes ecuaciones, dependiendo de la especie de interés y que, en el caso de cerdos, se incluye el contenido de proteína cruda:

$$EM(Mcal/kg) = -0.45 + 1.01(ED\ rumiantes)$$

$$EM(Mcal/kg) = ED(caballos) \times 0.82$$

$$EM(Mcal/kg) = 0.96 - (0.00202 \times PC\ \%) \times ED(cerdos)$$

Por ejemplo, para el caso del sorgo con TND de 87.6%, el valor de EM para rumiantes sería:

$$EM(Mcal/kg) = -0.45 + 1.01(ED\ rumiantes)$$

$$EM(Mcal/kg) = -0.45 + 1.01(3.862)$$

$$EM = 3.450\ Mcal/kg$$

El valor del grano de sorgo reportado en el NRC (2000) para bovinos es de 2.75 Mcal/kg, lo cual nos indica que el uso de coeficientes y del análisis proximal puede darnos estimaciones poco precisas. Es preferible usar valores de tablas cuando se tenga la información o basarse en estimaciones de digestibilidad *in vivo* y solo usar el proximal como base cuando no se tenga otra opción.



Ejercicio 11

Estimaciones de TND y energía a partir del análisis proximal

Considere la composición proximal de alfalfa fresca del cuadro 11.1 y estime su contenido de energía (ED y EM) en base seca, considerando coeficientes de digestibilidad de proteína 75%, extracto etéreo 90%, fibra cruda 50% y ELN 70% para rumiantes. Compare su resultado con el valor de tablas de composición de alimentos de base seca que se reporta de ED=2.75 y EM=2.36 Mcal por kg de materia seca.

Cuadro 11.1 Contenido de nutrientes de la alfalfa fresca para estimación de energía con base en el análisis proximal para rumiantes

Fracción	Base húmeda %	Base seca %
Humedad	79.0	
Proteína	4.3	
Grasa cruda	0.6	
Fibra cruda	4.9	
Cenizas	2.1	
Extracto libre de nitrógeno (por diferencia)		
Total	100	

Resultados ejercicio 11

Primero hay que calcular el contenido del ELN por diferencia con 100 menos las otras fracciones (9.1 %) y, posteriormente, el de nutrientes en base seca. La materia seca sería 100-79=21 %. Para calcular el contenido de proteína en base seca, se divide el valor en base húmeda en la fracción como 4.3/0.21=20.47 % proteína (cuadro 11.2).

Cuadro 11.2 Contenido de nutrientes de alfalfa fresca para estimación de energía con base en el análisis proximal para rumiantes

Fracción	Base húmeda %	Base seca %
Humedad	79.0	
Proteína	4.3	20.47
Grasa cruda	0.6	2.85
Fibra cruda	4.9	23.33
Cenizas	2.1	10.0
ELN	9.1	43.33
Total	100	100

ELN: extracto libre de nitrógeno.

Posteriormente se estiman las fracciones digestibles (PD, proteína cruda digestible; FD, fibra cruda digestible; ELND, extracto libre de nitrógeno digestible, y EED, extracto etéreo digestible):

$$PC = (PC) \times (\text{digestibilidad}/100) = 20.47 \times (75/100) = 15.35\%$$

$$FD = (FC) \times (\text{digestibilidad}/100) = 23.33 \times (50/100) = 11.66\%$$

$$ELND = (ELN) \times (\text{digestibilidad}/100) = 43.33 \times (70/100) = 30.33\%$$

$$EED = (EE) \times (\text{digestibilidad}/100) = 2.85 \times (90/100) = 2.57\%$$

Se aplica la fórmula del TND a partir de las fracciones y, posteriormente, se estiman la energía digestible y metabolizables, en este caso, con las ecuaciones para rumiantes:

$$TND\,(\%) = (PD + FD + ELND + EED \times 2.25)$$

$$TND\ (\%) = (15.35 + 11.66 + 30.33 + 2.57 \times 2.25)$$

$$TND\ (\%) = (15.35 + 11.66 + 30.33 + 5.785)$$

$$TND = 63.14\%$$

$$ED(Mcal/kg) = TND(rumiantes) \times 0.04409 = 63.14 \times 0.04409$$

$$ED = 2.78\ Mcal/kg$$

$$EM(Mcal/kg) = -0.45 + 1.01(ED\ rumiantes) = -0.45 + 1.01(2.78)$$

$$EM = 2.40\ Mcal/kg$$

Las estimaciones son similares al valor de tablas en base seca de ED=2.75 y EM=2.36 Mcal/kg MS, debido a que los coeficientes de digestibilidad usados son estimaciones correctas, pero si no se cuentan con coeficientes adecuados, es mejor realizar una prueba de digestibilidad de otro tipo para estimar el TND.



El consumo residual de alimento

El concepto de consumo residual de alimento fue propuesto por Koch *et al.* (1963), quienes analizaron las diferencias en utilización del alimento relacionadas a peso y consumo de alimento en ganado. El consumo de alimento se puede particionar en dos componentes, uno relacionado al nivel de producción y otra fracción residual (Arthur y Herd, 2008). El consumo residual se ha usado para seleccionar animales que sean más eficientes basándose en la desviación del consumo esperado, usando el consumo estimado por el requerimiento o por regresión en función del peso metabólico y la ganancia diaria de peso (Archer *et al.*, 1997; Hoque y Suzuki, 2009). Se ha demostrado que los rumiantes con consumo residual negativo tienen menor producción de calor (Basarab *et al.*, 2003), por lo que estos animales estarían obteniendo la ganancia con un menor consumo (más eficientes), mientras que los que tienen un consumo residual positivo requieren más alimento (menos eficientes) al ser alimentados con la misma ración.

Algunos estudios de la diversidad microbiana del rumen muestran que los animales con un consumo residual negativo tienen mayor diversidad bacteriana en el rumen (Guan *et al.*, 2008), por lo que sería importante considerar más esta variable en experimentos y en evaluaciones (Archer *et al.*, 1997) y considerar que la participación microbiana puede tener un rol que no ha sido evaluado. Para el cálculo del consumo residual fenotípico se debe hacer una regresión con el siguiente modelo:

$$C = b0 + b1\,PM + b2\,GDP$$

Donde:

C=consumo de alimento
PM=peso metabólico a la mitad del ensayo
GDP=ganancia diaria de peso promedio

Una vez que se tiene el modelo, se estima el consumo predicho y se resta del consumo observado y se obtiene el consumo residual de alimento. En el cuadro 11.3 se muestran los datos de 8 borregos alimentados con una dieta alta en grano, donde se muestra la información requerida para estimar el consumo residual de alimento y el modelo en el programa estadístico SAS se presenta en el cuadro 11.4.

Cuadro 11.3 Información para estimar consumo residual

Animal	GDP kg	CMS kg	Peso a mitad de ensayo	Peso metabólico
1	0.291	1.567	43.83	17.03
2	0.210	1.556	41.17	16.25
3	0.249	1.570	40.19	15.96
4	0.216	1.334	28.73	12.41
5	0.231	1.514	35.91	14.67
6	0.279	1.564	37.64	15.20
7	0.292	1.387	28.59	12.36
8	0.192	1.521	32.18	13.51

GDP: ganancia diaria de peso; CMS: consumo de materia seca.

La solución del modelo se puede hacer con otros programas que puedan resolver regresión lineal incluyendo el *Excel*, para lo cual la se seleccionan dos columnas de variables independientes (X) que correspondan a su valor de Y, estimando los parámetros del modelo (intercepto y dos pendientes).

El consumo residual se prefiere para seleccionar animales en lugar de la conversión alimenticia pues esta última tiene problemas importantes. La conversión asume que a cero consumo hay cero ganancia de peso, lo cual biológicamente es incorrecto pues animales sin consumo pierden peso. Hay condiciones donde los animales pierden peso y la conversión alimenticia estimada sale negativa lo cual no tiene ningún sentido biológico.

Cuadro 11.4 Modelo de SAS para estimar consumo residual de alimento

DATA RFI;			
INPUT ANIM GDP MMWT CMS;			
CARDS;			
1	0.291	17.03	1.567
2	0.210	16.25	1.556
3	0.249	15.96	1.570
4	0.216	12.41	1.334
5	0.231	14.67	1.514
6	0.279	15.20	1.564
7	0.292	12.36	1.387
8	0.192	13.51	1.521
PROC GLM;			
MODEL CMS=GDP MMWT/SOLUTION P CLM;			
RUN;			

La ecuación de regresión (C=b0+b1 PM+b2 GDP) obtenida es:

C = 0.8852920132 + 0.0461338532 PM - 0.247655273 GDP

Cuadro 11.5 Valores de consumo observados, estimados y residuales con el modelo

Animal	Observado	Predicho	Consumo residual
1	1.567	1.599	- 0.032
2	1.556	1.583	- 0.027
3	1.570	1.560	0.010
4	1.334	1.404	- 0.070
5	1.514	1.504	0.010
6	1.564	1.517	0.047
7	1.387	1.383	0.004
8	1.521	1.460	0.061

Los valores de consumo residual de alimento se muestran en el cuadro 11.5, donde se pueden identificar los borregos más eficientes (valores negativos) en función de peso metabólico y ganancia de peso (números 1, 2 y 4).

Ejercicio 12

Consumo residual de alimento

Usando la información de los borregos del cuadro 12.1, estime el consumo residual de alimento e identifique los animales más eficientes en la utilización del alimento.

Cuadro 12.1 Información de borregos alimentados con dietas con 60 % de grano

Animal	GDP	CMS	Peso a mitad de ensayo	Peso metabólico
1	0.258	1.677	43.97	17.074
2	0.238	1.385	38.88	15.569
3	0.220	1.441	36.60	14.880
4	0.203	1.324	36.80	14.941
5	0.225	1.289	31.33	13.244
6	0.246	1.582	37.78	15.240
7	0.285	1.498	31.32	13.238
8	0.268	1.451	31.41	13.267

GDP: ganancia diaria de peso; CMS: consumo de materia seca.

Resultados ejercicio 12

Con la ecuación de predicción se estiman los valores de consumo y se obtiene el consumo residual de alimento, con lo que se pueden identificar a los animales 2, 4, 5 y 7 como los más eficientes (cuadro 12.2). La ecuación obtenida es:

$$C = -0.361729278 + 3.481102072\ GDP + 0.06621417\ PM$$

Cuadro 12.2 Valores de consumo observados, estimados y residuales con el modelo

Animal	Observado	Predicho	Consumo residual
1	1.677	1.666	0.011
2	1.385	1.497	- 0.112
3	1.441	1.389	0.052
4	1.324	1.334	- 0.010
5	1.289	1.298	- 0.009
6	1.582	1.503	0.079
7	1.498	1.506	- 0.008
8	1.451	1.449	0.002

Sistema proteína digestible en intestino (PDI)

Los cambios que ocurren en los compuestos nitrogenados en el rumen han llevado a desarrollar varios sistemas que consideran la degradación ruminal de la proteína y la síntesis de proteína microbiana, que, en términos generales, resultarán en la estimación de dos fracciones que llegan al intestino delgado, la proteína de escape que está disponible para absorción y la proteína microbiana (la suma de estas dos fracciones juntas se conoce como proteína metabolizable). La cantidad de esta proteína en intestino depende de la energía y de la proteína degradable y de escape, de tal forma que el INRA (*Institut National de la Recherche Agronomique*) propuso un sistema aditivo denominado proteína digestible en intestino (PDI) (equivalente a la proteína metabolizable en sistemas americanos), que estima dos valores para cada alimento o ración: uno en función de la energía (PDIE) y otro por la proteína (PDIN) y que se calcula con las siguientes ecuaciones:

Las ecuaciones para calcular el PDI (el sistema proteína digestible en intestino) son:

$$MOFc\ (g/kg) = MOF - EE$$

$$PDIA\ (g/kg) = (PC)(1.11)(1 - Deg)(dsi)$$

$$PDIMN\ (g/kg) = (PC)(0.64)(Deg - 0.1)$$

$$PDIME\ (g/kg) = 0.093\ (MOF - EE)$$

$$PDIE\ (g/kg) = PDIA + PDIME$$

$$PDIN\ (g/kg) = PDIA + PDIMN$$

Donde:

MOF: Materia orgánica digestible o fermentable en rumen g/kg MS

PC: Proteína cruda g/kg MS

DEG: Proteína degradable en rumen kg/kg PC

dsi: digestibilidad verdadera en el intestino delgado de la proteína dietaria no degradada en rumen.

PDIA: Proteína dietaria no degradable en rumen, verdaderamente digestible en intestino delgado g/kg MS.

PDIA: Proteínas digestibles en intestino de origen dietario (proteína sobrepasante).

PDIM: Proteínas digestibles en intestino de origen microbiano que pueden estar limitadas por energía (PDIME) o por proteína (PIMN).

PDIMN: Cantidad de proteína microbiana que podría ser sintetizada en el rumen en función del N dietario degradado en rumen, cuando energía y otros nutrientes no son limitantes g/kg MS.

PDIME: Cantidad de proteína microbiana que podría ser sintetizada en función de la energía disponible en rumen, cuando el N degradable en rumen y otros nutrientes no son limitantes g/kg MS.

PDIN: La cantidad de proteína digestible en intestino delgado asignada al alimento por la proteína que corresponde a la cantidad de proteína cuando la energía y otros nutrientes no están limitando la síntesis de proteína microbiana.

PDIE: La cantidad de proteína digestible en el intestino delgado asignada al alimento por la energía que representa la cantidad de proteína cuando el nitrógeno degradable en rumen y otros nutrientes no son limitantes para los microorganismos ruminales.

El valor de PDIN es más bajo cuando el alimento incluido o la ración es deficitaria en N degradable. El valor de PDIE es más bajo cuando la energía es el factor limitante para la síntesis microbiana.

El análisis de los valores de PDIN y de PDIE permite identificar rápidamente si un alimento o ración requiere un suplemento de compuestos nitrogenados degradables en rumen o si requiere la adición de ingredientes energéticos que aporten carbohidratos fermentables en rumen (sacarosa, almidón, FDN digestible).

A continuación se presenta un ejemplo numérico para que puedan hacer los ejercicios correspondientes con la información del cuadro 13.1.

Cuadro 13.1 Información del pasto estrella requerida para cálculo del PDI

Proteína cruda (PC)	6%
Degradabilidad (Deg)	70%
Digestibilidad verdadera de PC en intestino delgado (dsi)	0.75
Digestibilidad de materia orgánica (DMO)	50%
Extracto etéreo (EE)	3%

El valor de dsi corresponde a la digestibilidad de la proteína de escape en intestino delgado y tiene valores entre 0.70 y 0.90. La digestibilidad de la materia orgánica es importante porque de este valor se estima la materia orgánica fermentable en rumen corregida por grasa (extracto etéreo). Como se puede apreciar, se pueden usar valores de digestibilidad *in vitro* o *in situ* de la materia orgánica, y solo se requiere complementar con los valores de degradabilidad ruminal de la proteína y el contenido de grasa. Con esa información es posible estimar los valores de PDI, lo cual lo convierte en un sistema práctico. Primero se expresan los valores de nutrientes en las unidades que requiere el sistema PDI. Por ejemplo:

$$PC\ (g/kg) = 60.00$$

$$DEG = 0.70$$

$$EE\ (g/kg) = 30.00$$

$$MOF\ (g/kg) = 500.00$$

Posteriormente se calcula la MOF corregida por grasa y entonces se tiene la información para calcular todas las demás fracciones:

$$MOFc\ (g/kg) = 500 - 30 = 470.00$$

$$PDIA\ (g/kg) = (PC)(1.11)(1 - Deg)(dsi) = 60 \times 1.11 \times (1 - 0.70)(0.75) = 14.98$$

$$PDIMN\ (g/kg) = (PC)(0.64)(Deg - 0.1) = 60 \times 0.64 \times (0.70 - 0.1) = 23.04$$

$$PDIME\ (g/kg) = 0.093(MOF - EE) = 0.093 \times 470 = 43.71$$

$$PDIE\ (g/kg) = PDIA + PDIME = 58.69$$

$$PDIN\ (g/kg) = PDIA + PDIMN = 38.02$$

Los dos valores de PDI son 38.02 y 58.69 g/kg, lo cual indica que por el contenido de energía (digestibilidad de la materia orgánica) el pasto estrella puede sintetizar 58.69 g/kg de MS consumida, pero por su contenido de proteína solo 38.02 g/kg MS.

Ejercicio 13

Cálculo de parámetros del sistema PDI

El INRA estima que para crecimiento de bovinos se requiere una concentración de PDI de 150 a 250 g/kg, por lo que el pasto estrella con valores de PDI son 38.02 y 58.69 g/kg, solo permitiría el mantenimiento. Considere un bovino de 250 kg de peso vivo, considerando que está en pastoreo en estrella, con un consumo total de materia seca del 2.5 % de su peso vivo y que recibe 2 kg de MS de los suplementos del cuadro 13.2 (nota: los 2 kg de suplemento están incluidos en ese 2.5 %). Estime la concentración dietaria de PDI e indique si las tres raciones estarían deficientes de energía o proteína, y si estas permitirían el crecimiento de los bovinos. Tenga presente que el consumo total incluye los 2 kg de suplemento y que es necesario que calcule la concentración por kg de DEG, dsi, MOD y extracto etéreo para poder responder este ejercicio.

Es importante analizar cómo se formularon los suplementos del cuadro 13.2 para poder interpretar los resultados en función del aporte de proteína de sobrepaso. Por ejemplo, en el primer suplemento la urea aporta a mayor proporción de nitrógeno degradable en rumen y el 4 % corresponde a su proporción en el suplemento no en el consumo diario, por lo que no es un nivel tóxico. El segundo combina urea con pasta de soya, la cual aporta una cantidad limitada de proteína de sobrepaso mientras que el tercer suplemento incluye pasta de coco, que aporta una cantidad importante de proteína de escape.

Cuadro 13.2 Composición en base seca de los suplementos usados para bovinos en pastoreo

	Fuentes de proteína		
	Urea	Pasta de soya	Pasta de coco
Maíz grano	79.00	58.00	59.00
Pasta de soya	-	25.00	-
Pasta de coco	-	-	22.00
Urea	4.00	-	2.00
Melaza	15.00	15.00	15.00
Minerales	2.00	2.00	2.00

Cuadro 13.3 Características de la proteína, materia orgánica y grasa de los alimentos

	PC	DEG	dsi	MOD	EE
Maíz, grano	10.70	66.56	0.95	93.00	4.30
Pasta de soya	45.00	70.00	0.90	84.00	0.88
Pasta de coco	24.08	37.00	0.90	82.00	3.63
Urea	280.00	100.00	0	0	0
Melaza	5.80	100.00	0	100.00	0
Pasto estrella	6.00	70.00	0.75	50.00	3.00

PC: proteína cruda; DEG: degradabilidad de la PC; dsi: digestibilidad verdadera de PC en intestino delgado; MOD: materia orgánica digestible; EE: extracto etéreo.

Para estimar la concentración es necesario calcular el consumo de materia seca. Posteriormente estimar la ración por kg y sus aportes de PC, DEG, dsi, MOD y EE. Con esa información se puede estimar el PDI por kg (cuadro 13.3).

Resultados ejercicio 13

Primero se calcula el consumo de materia seca con base en el porcentaje del peso vivo (2.5 %):

$$\text{CMS} = 250\ \text{kg} \times 0.025 = 6.25\ \text{kg/d MS}$$

Si el suplemento son 2 kg de MS, el consumo de pasto se obtiene por diferencia:

$$\text{Consumo de pasto} = 6.25 - 2.0 = 4.25\ \text{kg/d}$$

Para calcular la ración total, se toma el porcentaje de composición de cada suplemento (cuadros 13.2 y 13.3) y se calcula la cantidad en los 2 kg/d (cuadro 13.4). Por regla de tres, se expresa la composición de cada ración en porcentaje o en un kg (cuadro 13.5).

Cuadro 13.4 Información para calcular kg de la ración total en cada suplemento

	Desglose de los 2 kg de cada suplemento		
	Urea	Pasta de soya	Pasta de coco
Maíz grano	1.58 (79 % de 2 kg)	1.16	1.18
Pasta de soya	-	-	0.44
Pasta de coco	-	0.50	-
Urea	0.08 (4 % de 2 kg)	-	0.04
Melaza	0.3 (15 % de 2 kg)	0.30	0.30
Minerales	0.04 (2 % de 2 kg)	0.04	0.04

Cuadro 13.5 Composición de las raciones en función de los tres suplementos

	Fuentes de proteína		
	Urea	Pasta de soya	Pasta de coco
Maíz grano	0.2528	0.1856	0.1888
Pasta de soya	-	0.0800	-
Pasta de coco	-	-	0.0704
Urea	0.0128	-	0.0064
Melaza	0.0480	0.0480	0.0480
Minerales	0.0064	0.0064	0.0064
Pasto estrella	0.68	0.68	0.68

Posteriormente, se pueden estimar los aportes de nutrientes, pero debe transformarse antes la DEG que está en porcentaje de la proteína a porcentaje de la materia seca. En los cuadros 13.6 a 13.8, se muestran los cálculos para cada ración de acuerdo con el suplemento recibido.

En los cuadros siguientes se puede identificar el papel que juegan diferentes ingredientes en el aporte de nitrógeno degradable en rumen (urea, pasta de soya), el de proteína de sobrepaso (pasta de coco) así como los energéticos que aportan el carbono para la síntesis de proteína microbiana (maíz, melaza).

Cuadro 13.6 Aporte de nutrientes de la ración con el suplemento elaborado con urea

		% de nutrientes					Aportes %				
	Ración en 1 kg	PC	DEG	dsi	MOF	EE	PC	DEG	dsi	MOF	EE
	A	B	C	D	E	F	A x B	(A x B) x (C/100)	A x D	A x E	A x F
Maíz grano	0.2528	10.70	66.56	0.95	93.00	4.30	2.70	1.79	0.24	23.51	1.08
Pasta de soya	-	45.00	70.00	0.90	84.00	0.88	-	-	-	-	-
Pasta de coco	-	24.08	37.00	0.90	82.00	3.63	-	-	-	-	-
Urea	0.0128	280.00	100.00	0	0	0	3.58	3.58	-	-	-
Melaza	0.0480	5.80	100.00	0	100.00	0	0.27	0.27	-	-	-
Minerales	0.0064	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pasto estrella	0.68	6.00	70.00	0.75	50.00	3.00	4.08	2.85	0.51	34.00	2.04
Total							10.64	8.49	0.75	62.31	3.12

PC: proteína cruda; DEG: degradabilidad de la proteína; dsi: digestibilidad verdadera de PC en intestino delgado (digestibilidad intestinal); MOF: materia orgánica fermentable; EE: extracto etéreo. La degradabilidad Deg como porcentaje de la proteína total se estima dividiendo (PC/DEG) ×100: Deg = [8.49/10.64] × 100 = 79.79 %

Cuadro 13.7 Aporte de nutrientes de la ración con el suplemento elaborado con pasta de soya

	% de nutrientes						Aportes %				
	Ración en 1 kg	PC	DEG	dsi	MOF	EE	PC	DEG	dsi	MOF	EE
	A	B	C	D	E	F	A x B	(A x B) x (C/100)	A x D	A x E	A x F
Maíz grano	0.1856	10.70	66.56	0.95	93.00	4.30	1.98	1.31	0.17	17.26	0.79
Pasta de soya	0.08	45.00	70.00	0.90	84.00	0.88	3.60	2.52	0.07	6.72	0.07
Pasta de coco	-	24.08	37.00	0.90	82.00	3.63	-	-	-	-	-
Urea	-	280.00	100.00	0	0	0	-	-	-	-	-
Melaza	0.0480	5.80	100.00	0	100.00	0	0.27	0.27	-	4.80	-
Minerales	0.0064	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pasto estrella	0.68	6.00	70.00	0.75	50.00	3.00	4.08	2.85	0.51	34.00	2.04
Total							9.94	6.95	0.75	62.78	2.90

PC: proteína cruda; DEG: degradabilidad de la proteína; dsi: digestibilidad verdadera de PC en intestino delgado (digestibilidad intestinal); MOF: materia orgánica fermentable; EE: extracto etéreo. La degradabilidad Deg como porcentaje de la proteína total se estima dividiendo (PC/DEG) ×100:
Deg = [6.95/9.94] × 100 = 69.92%

Cuadro 13.8 Aporte de nutrientes de la ración con el suplemento elaborado con pasta de coco

	% de nutrientes						Aportes %				
	Ración en 1 kg	PC	DEG	dsi	MOF	EE	PC	DEG	dsi	MOF	EE
	A	B	C	D	E	F	A x B	(A x B) x (C/100)	A x D	A x E	A x F
Maíz grano	0.1888	10.70	66.56	0.95	93.00	4.30	2.02	1.34	0.17	17.55	0.81
Pasta de soya	-	45.00	70.00	0.90	84.00	0.88	-	-	-	-	-
Pasta de coco	0.0704	24.08	37.00	0.90	82.00	3.63	1.69	0.62	0.06	5.77	0.25
Urea	-	280.00	100.00	0	0	0	-	-	-	-	-
Melaza	0.0480	5.80	100.00	0	100.00	0	0.27	0.27	-	4.80	-
Minerales	0.0064	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pasto estrella	0.68	6.00	70.00	0.75	50.00	3.00	4.08	2.85	0.51	34.00	2.04
Total							8.07	5.08	0.75	62.13	3.10

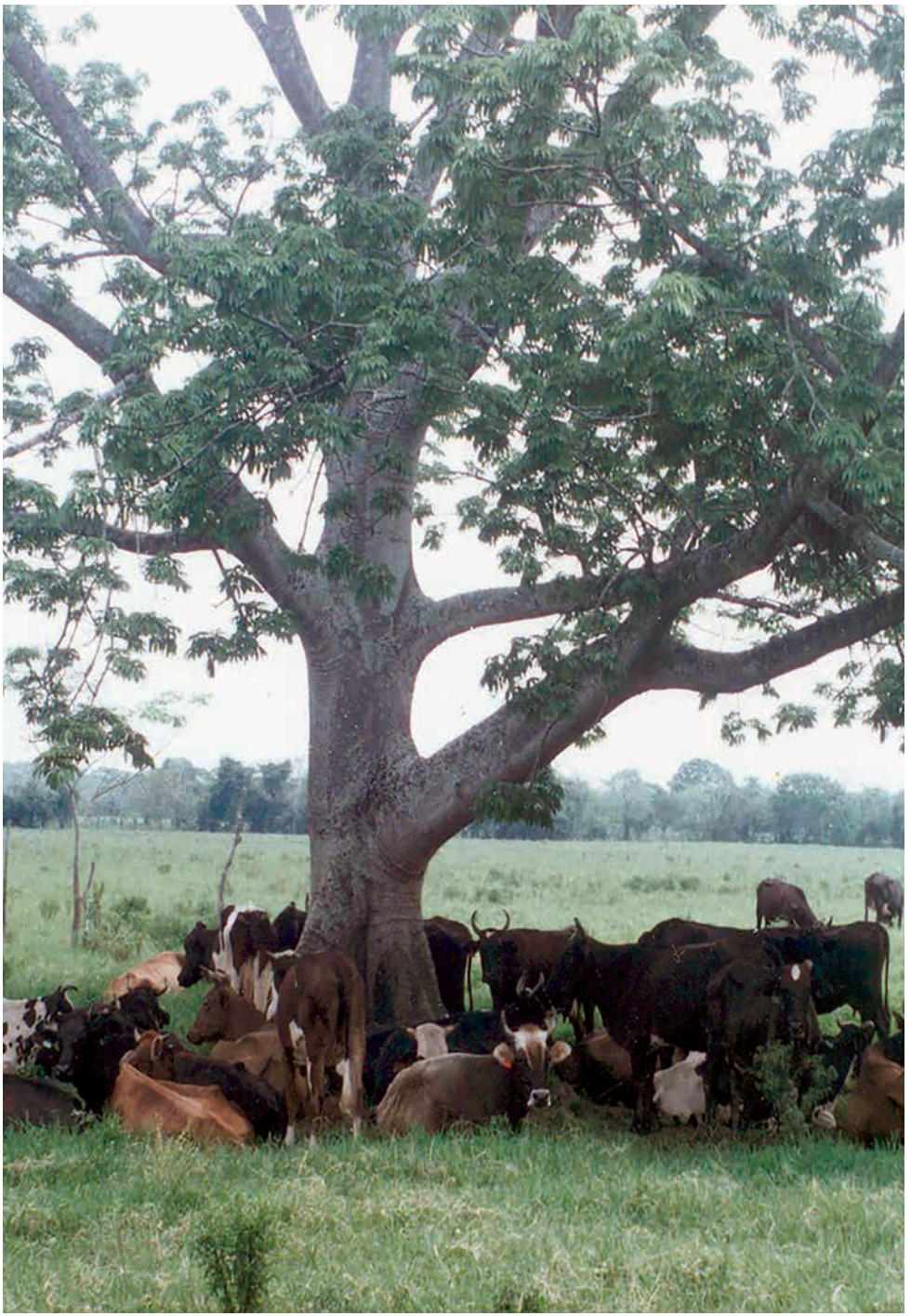
PC: proteína cruda; DEG: degradabilidad de la proteína; dsi: Digestibilidad verdadera de PC en intestino delgado (digestibilidad intestinal); MOF: materia orgánica fermentable; EE: extracto etéreo. La degradabilidad Deg como porcentaje de la proteína total se estima dividiendo (PC/DEG)×100: Deg=[5.08/8.07]×100=62.94%

Cuadro 13.9 Resultados del PDI de acuerdo con la composición de los suplementos y raciones

	Suplementos		
	Urea	Pasta de soya	Pasta de coco
PC % MS	10.64	9.94	8.07
EE % MS	3.12	2.90	3.10
MOD %	62.31	62.78	62.13
DEG % PC	79.79	69.92	51.52
Resultados PDI			
MOF g/kg	623	628	621
PC g/kg	106.47	99.44	80.73
Deg	0.7979	0.6992	0.5152
PDIA	17.91	24.89	32.582
PDIMN	47.55	38.13	21.45
EE g/kg	31.27	29.08	31.07
MOFc g/kg	592	599	590
PDIME	55.05	55.70	54.89
PDIN	65.46	63.02	54.03
PDIE	72.96	83.59	87.48

PC: proteína cruda; EE: extracto etéreo; MOD: materia orgánica degradable; DEG: degradabilidad de PC; PDI: proteína digestible en intestino; MOF: materia orgánica fermentable; Deg: degradabilidad de PC; PDIA: proteína dietaria no degradable en rumen, verdaderamente digestible en intestino delgado; PDIMN: proteína microbiana que podría ser sintetizada en el rumen en función del N dietario degradado en rumen; MOFc: materia orgánica fermentable corregida por EE; PDIME: proteína microbiana que podría ser sintetizada en función de la energía; PDIN: proteína digestible en intestino delgado potencial del alimento por la proteína; PDIE: proteína digestible en el intestino delgado potencial del alimento por la energía.

En el cuadro 13.9 se resumen los cálculos del sistema PDI de las tres raciones de cada suplemento. Si los requerimientos para máximo crecimiento de bovinos estimados por el INRA son de una concentración de PDI de 150 a 250 g/kg, los cálculos muestran que aun suplementando, no será posible que los bovinos muestren una alta tasa de ganancia de peso, dado que la concentración estará alrededor de 63 y 87 gramos por kilogramo de MS de PDI.



Predicción de crecimiento de bovinos con el sistema PDI

Para estimar los cambios de peso (ganancia o pérdida de peso) en función del consumo de proteína, se pueden usar las ecuaciones publicadas por Fernández *et al.* (1989), donde se considera que existe un requerimiento de proteína de mantenimiento y una vez que se cubre, el exceso se destina para la ganancia de peso:

$$CPMt\ (g/d) = PMm + PMg$$

$$PMm\ (g/d) = [0.0125 * (70.4 \times PV^{0.734})]/(0.47)$$

$$Gp\ (kg/d) = 0.0137 \times PMg$$

$$Pp(kg/d) = (CPMt - PMm)/(0.16 - 0.0001 \times PV)$$

Donde:

CPMt: Consumo de proteína metabolizable (equivalente al consumo de PDI) g/d
PMm: Proteína metabolizable para mantenimiento g/d
PMg: Proteína metabolizable para ganancia g/d
PV: Peso vivo kg
Gp: ganancia de peso (cuando el CPMt es > PMm) kg/d
Pp: pérdida de peso (cuando el CPMt es < PMm) kg/d

Para ejemplificar el uso de estas ecuaciones, consideremos un bovino de 250 kg de peso vivo consumiendo exclusivamente pasto estrella con un consumo de materia seca del 2.5% de su peso vivo. Usamos los dos valores de PDI que fueron 38.02 (PDIN) y 58.69 (PDIE) g/kg. Primero se calcula el consumo de materia seca:

$$CMS = 250 \times 0.025 = 6.25 \text{ kg/d}$$

Posteriormente se calcula el CPMt que pueden ser dos uno del PDIN y otro del PDIE:

$$CPMt\ pdin = 6.25 \times 38.02 = 237.62 \text{ g/d}$$

$$CPMt\ pdie = 6.25 \times 58.69 = 366.81 \text{ g/d}$$

Se determina el requerimiento de proteína metabolizable (PDI) de mantenimiento:

$$PMm = [0.0125 \times (70.4 * PV^{0.734})]/(0.47)$$

$$PMm = [0.0125 \times (70.4 * (250)^{0.734})]/(0.47)$$

$$PMm = [0.0125 \times (70.4 * 57.55)]/(0.47) = 107.76 \text{ g/d}$$

Se define qué ecuación aplicar en función del CMm y el requerimiento. Dado que ambas estimaciones son mayores que el requerimiento de mantenimiento, entonces podemos estimar la PMg y haciendo la diferencia del consumo de proteína metabolizable total se estiman los consumos de PMg:

$$CPMT\ pdin = 237.62 \text{ g/d}$$

$$CPMT\ pdie = 366.81 \text{ g/d}$$

$$CPMT\ (g/d) = PMm + PMg$$

$$PMg\ (g/d) = CPMt - PMm$$

$$PMg\ pdin = 237.62 - 107.76 = 129.86 \text{ g/d}$$

$$PMg\ pdie = 366.81 - 107.76 = 259.05 \text{ g/d}$$

Se estiman las dos ganancias de peso potenciales, por la proteína del pasto (*pdin*) y por su contenido de energía (*pdie*).

$$GP = 0.00137 \times PMg$$

$$GP\ pdin = 0.00137 \times 129.86 = 0.178\ kg/d$$

$$GP\ pdie = 0.00137 \times 259.05 = 0.355\ kg/d$$

Se interpretan los resultados. La ganancia esperada será la más baja, debido a la proteína solo se espera que los bovinos ganen 178 g/d. Si se suplementaran con una fuente de proteína, se podrían obtener 355 g/d.



Ejercicio 14

Predicción de crecimiento de bovinos con el sistema PDI

Considerando un bovino de 250 kg de peso y un consumo de peso vivo de 2.5 % de su peso vivo, estime la ganancia de peso de acuerdo con los suplementos elaborados con urea, pasta de soya y pasta de coco, de los cuales estimó los valores de PDI en el ejercicio 13.

Resultados ejercicio 14

Se espera la mejor respuesta con el suplemento con pasta de coco debido a que tiene mayor proteína de escape. En términos económicos, el suplemento con urea es uno de los más rentables. Si hace los cálculos para la ganancia de peso con pasto sin suplemento, esta estaría alrededor de 0.186 kg/d, lo cual muestra los beneficios de suplementar con 2 kg/d. En un experimento con pasto estrella con suplementos similares, Ramos *et al.* (1998a) observaron mayores ganancias de peso en toretes en pasto estrella que recibieron suplemento con proteína de escape (pasta de coco y harina de sangre), seguidos por el que contenía pasta de soya y el más bajo con el complemento elaborado con urea.

En el cuadro 14.1 se aprecian los cambios esperados en ganancia al cambiar el aporte de proteína que llega al duodeno con ingredientes que aportan más nitrógeno degradable (urea, pasta de soya) o proteína de escape (pasta de coco).

Cuadro 14.1 Resumen de cálculo para estimar la ganancia de peso de los bovinos suplementados

	Fuente de proteína		
	Urea	Pasta de soya	Pasta de coco
Información			
PDIN	65.46	63.02	54.03
PDIE	72.96	83.59	87.48
Peso vivo	250	250	250
Peso elevado a 0.734	57.56	57.56	57.56
Consumo MS kg/d	6.25	6.25	6.25
Comportamiento por proteína			
Requerimiento PMm	107.76	107.76	107.76
Consumo			
PDIN g/d	409.12	393.87	337.68
PDIE g/d	456.00	522.43	546.75
Ganancia de peso			
GDP *pdin*	0.412	0.391	0.314
GDP *pdie*	0.477	0.568	0.601

PDIN (pdin): proteína digestible en intestino delgado potencial del alimento por la proteína; PDIE (pdie): proteína digestible en el intestino delgado potencial del alimento por la energía; MS: materia seca; PMm proteína metabolizable de mantenimiento; GDP ganancia diaria de peso.

El sistema de proteína metabolizable

Otro sistema usado para predecir el flujo de proteína en los rumiantes es el sistema de proteína metabolizable. Debido a las características particulares del sistema digestivo del rumiante, se han postulado diferentes sistemas de evaluación de compuestos nitrogenados para estimar la síntesis de proteína microbiana y proteína pasante. Dentro de estos sistemas destaca el Sistema de Proteína Metabolizable o de Burroughs (PMB) desarrollado en Iowa, EUA (Burroughs *et al.*, 1974; Burroughs *et al.*, 1975). En este sistema los autores (Burroughs *et al.*, 1974; Burroughs *et al.*, 1975) estiman primero la cantidad de proteína microbiana (g/kg MS) que se puede obtener en forma potencial al fermentar un substrato en el rumen de acuerdo con su contenido de energía y de proteína degradable en el rumen. Para eso, primero se calcula la síntesis de proteína microbiana potencial (g/kg MS) de un alimento con base en el contenido de energía (SPMe) y al del contenido de proteína degradable en el rumen (SPMp):

$$\text{SPMe (g/kg)} = 1.044 \times \text{TND}$$

$$\text{SPMp (g/kg)} = [(\text{DEG} \times \text{PC} \times 0.1)]$$

Donde:

TND: total de nutrientes digestibles (o su equivalente, digestibilidad de la materia orgánica) %.
DEG: degradabilidad ruminal de la proteína expresado como % de la proteína cruda.
PC: proteína cruda %.

El valor menor (SPMe *vs.* SPMp) se designa como la proteína microbiana sintetizada (PMS) y se utiliza para el segundo término de las ecuaciones propuestas en el sistema para estimar la cantidad de proteína metabolizable (PM) en g/kg de MS:

$$PM\,(g/kg) = [PC \times 0.1 \times (100 - DEG) \times 0.9] + [SPM - 15) \times 0.8]$$

La ecuación de PM está formada por dos términos, el primero estima la proteína no degradable en el rumen (100-DEG) del alimento y el segundo la proteína microbiana ajustada por las pérdidas que se dan en el rumen (15%) y por el valor biológico de la proteína de los microorganismos ruminales (89%). Para poder comparar los valores con el sistema del INRA (1989) proponemos que se generen dos valores de proteína metabolizable con las siguientes ecuaciones:

$$PMp\,(g/kg) = [PC \times 0.1 \times (100 - DEG) \times 0.9] + [(SPMp - 15) \times 0.8]$$

$$PMe\,(g/kg) = [PC \times 0.1 \times (100 - DEG) \times 0.9] + [(SPMe - 15) \times 0.8]$$

Como ejemplo, podemos usar la información del pasto estrella de los ejercicios anteriores: PC 6%, degradabilidad como porcentaje de la proteína 70% (DEG) y la DMO 50%. Sustituyendo los valores en las ecuaciones:

$$SPMe = 1.044 \times TND = 1.044 \times 50.00 = 52.20\ g/kg\ MS$$

$$SPMp = [(DEG \times PC \times 0.1)] = [(70 \times 6 \times 0.1)] = 42.00\ g/kg\ MS$$

Esto indicaría que la síntesis de proteína microbiana del pasto estrella estaría limitada por N degradable en rumen. Lo cual coincide con lo estimado por el sistema del INRA de PDI anteriormente. En este sistema se estiman los valores equivalentes del PDI del sistema proteína metabolizable del pasto estrella.

$$PMp = [PC \times 0.1 \times (100 - DEG) \times 0.9] + [(SPMp - 15) \times 0.8] =$$

$$[6 \times 0.1 \times (100 - 70) \times 0.9] + [(42.0 - 15) \times 0.8] = 37.8\ g/kg$$

$$PMe = [PC \times 0.1 \times (100 - DEG) \times 0.9] + [(SPMe - 15) \times 0.8] =$$

$$[6 \times 0.1 \times (100 - 70) \times 0.9] + [(52.20 - 15) \times 0.8] = 45.96\ g/kg$$

Solo para comparar los valores equivalentes del sistema del PDI del INRA fueron PDIE 58.69 g/kg y el de PDIN 38.02 g/kg. Los valores de PM se pueden usar para predicción de ganancia o pérdida de peso al igual que se usaron los de PDI.

Ramos *et al.* (1995) hicieron una estimación de valores del pasto estrella con los dos sistemas y los compararon en forma estadística y llegaron a la conclusión que los resultados son similares.

Para mejorar las estimaciones del sistema PM, el NRC (2000) de ganado de carne recomienda que las ecuaciones de síntesis de proteína microbiana estimadas con base en la materia orgánica fermentable se ajusten por el contenido de grasa dietaria. Por ejemplo, si la ración completa tuviera 3 % de grasa, la síntesis de proteína microbiana potencialmente de una ración con 50 % de TND se estimaría con el valor ajustado de 47 % (50-3=47). Estos ajustes son importantes cuando se incluyen grasas en la ración para evitar sobreestimar la proteína microbiana.



Ejercicio 15

Uso del sistema de proteína metabolizable para estimar crecimiento

Considere tres bovinos de 250 kg de peso con consumo de peso vivo de 6.25 kg/d, suponiendo que están consumiendo, cada uno, 2 kg/d de un suplemento del cuadro 13.2 cuya composición y características están en el cuadro 13.3. Estime primero la síntesis de proteína metabolizable potencial por energía y proteína y, posteriormente, la ganancia de peso de acuerdo con los suplementos elaborados con urea, pasta de soya y pasta de coco. Al final compare los valores obtenidos con los resultados que obtuvo con el sistema de PDI.

Considere que debe estimar la degradabilidad de la proteína de la ración y para eso debe considerar que DEG está expresada como degradación de la proteína y que para esto debe estimar la degradación de la proteína como porcentaje de la materia seca [PC×(DEG/100)] y considerar el aporte de cada ingrediente en cada kilogramo. La sumatoria de esto al final debe volverse a expresar como porcentaje de la proteína de cada suplemento para obtener la degradabilidad de cada suplemento para usar las ecuaciones de proteína metabolizable.

Resultados ejercicio 15

a) Cálculos de consumo de materia seca:

Dieta total: 6.25 kg/d de materia seca

Consumo de suplemento: 2.0 kg/d

Consumo de pasto: 4.25 kg/d

b) Para calcular la ración total, primero se realiza la estimación de los suplementos desglosando los 2 kg de cada suplemento, dado que son los mismos datos.

c) La estimación de la ración se hace por regla de tres y se expresa en porcentaje o en kilogramo. Los resultados son los mismos que están en el cuadro 13.5. Posteriormente, considerando la MOD como estimador del TND se estima el aporte de nutrientes considerando que la DEG no es directa (cuadros 15.1 a 15.3). Como ejemplo, nótese que la sumatoria de la columna de aporte de DEG corresponde al porcentaje de proteína de la materia seca (8.49 % en suplemento de urea) y que, para expresarlo como porcentaje de la proteína, se divide entre el contenido de PC del suplemento (8.49/10.64)=79.79 %.

Cuadro 15.1 Aporte de nutrientes de la ración con el suplemento con urea

	Ración %	% de nutrientes			Aportes %		
		PC	DEG	MOD	PC	DEG	TND
	A	B	C	E	A x B	(A x B) x (C/100)	A x E
Maíz grano	0.2528	10.70	66.56	93.00	2.70	1.79	23.51
Pasta de soya	-	45.00	70.00	84.00	-	-	-
Pasta de coco	-	24.08	37.00	82.00	-	-	-
Urea	0.0128	280.00	100.00	0	3.58	3.58	-
Melaza	0.0480	5.80	100.00	100.00	0.27	0.27	4.8
Minerales	0.0064	-	-	-	-	-	-
Pasto estrella	0.68	6.00	70.00	50.00	4.08	2.85	34.00
Total					10.64	8.49	62.31

PC: proteína cruda; DEG: degradabilidad ruminal de la proteína; MOD: materia orgánica digestible; TND: total de nutrientes digestibles. La degradabilidad Deg como porcentaje de la proteína total se estima dividiendo (PC/DEG)×100: Deg=[8.49/10.64]×100=79.79 %

Cuadro 15.2 Aporte de nutrientes de la ración con el suplemento con pasta de soya

	Ración %	% de nutrientes			Aportes %		
		PC	DEG	MOD	PC	DEG	TND
	A	B	C	E	A x B	(A x B) x (C/100)	A x E
Maíz grano	0.1856	10.70	66.56	93.00	1.98	1.31	17.26
Pasta de soya	0.08	45.00	70.00	84.00	3.60	2.52	6.72
Pasta de coco	-	24.08	37.00	82.00	-	-	-
Urea	-	280.00	100.00	0	-	-	-
Melaza	0.0480	5.80	100.00	100.00	0.27	0.27	4.80
Minerales	0.0064	-	-	-	-	-	-
Pasto estrella	0.68	6.00	70.00	50.00	4.08	2.85	34.00
Total					9.94	6.95	62.78

PC: proteína cruda; DEG: degradabilidad ruminal de la proteína; MOD: materia orgánica digestible; TND: total de nutrientes digestibles. La degradabilidad Deg como porcentaje de la proteína total se estima dividiendo (PC/DEG)×100: Deg=[6.95/9.94]×100=69.92%.

Cuadro 15.3 Aporte de nutrientes de la ración del suplemento con pasta de coco

	Ración %	% de nutrientes			Aportes %		
		PC	DEG	MOD	PC	DEG	TND
	A	B	C	E	A x B	(A x B) x (C/100)	A x E
Maíz grano	0.1888	10.70	66.56	93.00	2.02	1.34	17.55
Pasta de soya	-	45.00	70.00	84.00	-	-	-
Pasta de coco	0.0704	24.08	37.00	82.00	1.69	0.627	5.77
Urea	-	280.00	100.00	0	-	-	-
Melaza	0.0480	5.80	100.00	100.00	0.27	0.27	4.80
Minerales	0.0064	-	-	-	-	-	-
Pasto estrella	0.68	6.00	70.00	50.00	4.08	2.85	34.00
Total					8.07	5.08	62.13

PC: proteína cruda; DEG: degradabilidad ruminal de la proteína; MOD: materia orgánica digestible; TND: total de nutrientes digestibles. La degradabilidad Deg como porcentaje de la proteína total se estima dividiendo (PC/DEG)×100: Deg=[5.08/8.07]×100=62.94%.

Posteriormente usamos las fórmulas de proteína metabolizable con los datos de las tres raciones. Los resultados se muestran en el cuadro 15.4. Como ejemplo, mostramos las ecuaciones del suplemento con pasta de coco:

$$SPMe = 1.044 \times TND = 1.044 \times 62.13 = 64.86 \text{ g/kg MS}$$

$$SPMp = [(DEG \times PC \times 0.1)] = [(62.94 \times 8.07 \times 0.1)] = 50.79 \text{ g/kg MS}$$

$$PMp = [PC \times 0.1 \times (100 - DEG) \times 0.9] + [(SPMp - 15) \times 0.8] = [8.07 \times 0.1 \times (100 - 62.94) \times 0.9] + [(50.79 - 15) \times 0.8] = 55.54 \text{ g/kg MS}$$

$$PMe = [PC \times 0.1 \times (100 - DEG) \times 0.9] + [(SPMe - 15) \times 0.8] = [8.07 \times 0.1 \times (100 - 62.94) \times 0.9] + [(64.86 - 15) \times 0.8] = 66.80 \text{ g/kg MS}$$

Cuadro 15.4 Resultados de concentración de fracciones del sistema de proteína metabolizable y comparación con equivalentes del PDI de acuerdo con la composición de los suplementos y las raciones

	Suplementos		
	Urea	Pasta de soya	Pasta de coco
PC % MS	10.64	9.94	8.07
EE % MS	3.12	2.90	3.10
MOD %	62.31	62.78	62.13
DEG % PC	79.79	69.92	62.94
Resultados			
SPMp g/kg	84.89	64.92	50.79
SPMe g/kg	**65.05**	**65.54**	**64.86**
PMp g/kg	75.26	66.85	55.54
PMe g/kg	**59.39**	**67.35**	**66.80**
PDIN	65.46	63.02	54.03
PDIE	72.96	83.59	87.48

PC: proteína cruda; EE: extracto etéreo; MOD: materia orgánica degradable; DEG: degradabilidad de PC; SPMp: síntesis de proteína microbiana potencial de un alimento con base en el contenido de proteína; SPMe: síntesis de proteína microbiana potencial de un alimento con base en el contenido de energía; PMp: proteína metabolizable potencial por proteína; PMe: proteína metabolizable potencial por energía; PDIN: proteína digestible en intestino delgado potencial por la proteína; PDIE: proteína digestible en el intestino delgado potencial por la energía.

En el cuadro 15.5, se muestran los resultados para estimar la predicción de ganancia de peso. Para estimar el consumo de PMp o PMe se multiplicó el consumo de materia seca por sus proteínas metabolizables potenciales, por ejemplo, para estimar el consumo de PMp de la ración con el suplemento con pasta de coco, se multiplicó 6.25 kg/d × 55.54 g/kg=347.12.

Cuadro 15.5 Resultados de cálculos para estimar la ganancia de peso de los bovinos suplementados de acuerdo con valores de sistemas de proteína metabolizable

	Raciones con los suplementos		
	Urea	Pasta de soya	Pasta de coco
PMp	75.26	70.96	71.65
PMe	59.39	71.46	82.90
Peso vivo	250	250	250
Peso elevado a 0.734	57.56	57.56	57.56
Consumo MS kg/d	6.25	6.25	6.25
Requerimiento PMm	107.76	107.76	107.76
Consumo			
PMp g/d	470.37	443.50	347.12
PMe g/d	**371.18**	**446.62**	**518.12**
Ganancia diaria de peso			
GDP$_P$	0.644	0.607	0.613
GDP$_E$	0.508	0.612	0.709

PMp: proteína metabolizable potencial por proteína; PMe: proteína metabolizable potencial por energía; MS: materia seca; PMm: proteína metabolizable para mantenimiento; PMp: proteína metabolizable potencial por proteína; PMe: proteína metabolizable potencial por energía; GDPp: ganancia de peso por proteína; GDPe: ganancia de peso por energía.

De acuerdo con el cuadro 15.5 se esperaría una ganancia de peso alrededor de los 400 g/día. Los resultados son similares a los del sistema PDI. La ventaja del sistema de proteína metabolizable es que se requieren menos análisis de laboratorio para estimar las fracciones. Ambos sistemas fueron basados en conceptos teóricos de la degradación de la proteína en el rumen y en la síntesis de proteína microbiana.



Estimación de la energía digestible en alimentos para rumiantes

Cuando se tienen las raciones con alimentos convencionales y los valores de tablas de composición, es fácil estimar la concentración de energía en dietas para rumiantes. Sin embargo, en muchos casos, los rumiantes son alimentados con dietas con forrajes o alimentos cuyos valores son desconocidos y es necesario estimar el contenido de energía de dichos alimentos. La estimación de la energía permite hacer diagnósticos nutricionales, así como predicciones de comportamiento, por lo que en esta sección se revisarán algunas alternativas para estimar los distintos valores calóricos de un alimento o dieta basados en determinaciones de laboratorio como la digestibilidad *in vitro* o *in situ*.

Estimación de ED basada en digestibilidad y calor de combustión

La digestibilidad de un alimento se puede estimar con técnicas *in vitro*, *in situ*, o medir *in vivo* con colección total de heces o con marcadores. Existe una relación directa entre la digestibilidad de la MS y el contenido de energía digestible (ED, Mcal/kg MS) por lo que el valor energético de un alimento se puede estimar con la digestibilidad *in vivo*, *in vitro*, o *in situ* de la materia seca (DIVMS) y con la energía bruta o calor de combustión (EB) obtenida en una bomba adiabática (Palmer y Cowan, 1980; Clemente *et al*., 2005):

$$ED\ (Mcal/kg) = (DIVMS/100) \times EB$$

Donde:

DIVMS: digestibilidad de la materia seca %
EB: energía bruta o calor de combustión Mcal/kg

Por ejemplo, si se tiene una dieta de venado cola blanca por grupo vegetal (cuadro 16.1) se puede estimar el contenido de EB usando la información reportada por Golley (1961) multiplicando cada fracción de vegetación consumida, por su calor de combustión promedio (Mcal/kg). Los valores de energía bruta por grupo vegetal reportados por Golley (1961) se presentan en la segunda columna del cuadro 16.1.

Cuadro 16.1 Estimación del contenido energético de una ración de venado de acuerdo con el contenido energético del grupo vegetal consumido

Alimento	Dieta %	Mcal/kg	Ración en 1 kg	Fracción
	A	B	(A/100) = C	B x C
Arbusto (hojas)	94.1	4.229	0.941	3.979
Hierba	5.3	4.177	0.053	0.221
Pasto	0.6	3.905	0.006	0.023
Total	100		1.00	4.224

El calor de combustión de la dieta consumida por el venado estimado sería de 4.224 Mcal/kg. Otra forma de obtener ese valor hubiera sido por determinación del contenido calórico con la bomba adiabática. Asumiendo que la digestibilidad de la ración *in vitro* fue de 44.1 %. Entonces estimamos la energía digestible (Mcal/kg):

$$ED\ (Mcal/kg) = (DIVMS/100) \times EB$$

$$ED = (44.1/100) \times 4.224 = 1.86\ Mcal/kg$$

Estas ecuaciones muestran la importancia de la digestibilidad en el valor energético de un alimento o ración. Este principio se puede usar para estimar la energía digestible en otras especies.

Estimación de ED con base en la digestibilidad

La energía digestible se puede estimar a partir de la digestibilidad *in vitro*, *in situ* o *in vivo* con ecuaciones de NRC (1982):

$$ED\ (Mcal/kg) = 4.525\ (DIVMS/100)$$

Considerando la dieta del ejemplo anterior de 44.1 %, la ED estimada sería:

$$ED = 4.525\ (44.1/100) = 1.99\ Mcal/kg\ MS$$

Se puede apreciar que las dos estimaciones dan resultados similares y que el valor de referencia de digestibilidad es determinante en el resultado. Un aspecto importante es la selección de ese valor, pues las técnicas *in vitro* subestiman los valores *in vivo* en forrajes (Nastis y Maleckek, 1988) y pueden sobreestimar los valores de algunos alimentos concentrados. El problema de las técnicas de *in situ* es la selección del tiempo de incubación para la estimación.

También se puede estimar la digestibilidad en forrajes con la ecuación sumativa de Van Soest (1994) o bien estimar la digestibilidad con base en la producción de gas *in vitro* y posteriormente aplicar las ecuaciones para estimar la ED. El problema de la ecuación sumativa es que requiere del análisis completo de Van Soest lo cual requiere más tiempo que las técnicas *in vitro* o *in situ*.

Estimación de la energía digestible de dietas altas en grano

Al contrario de lo que ocurre con forrajes, los valores de digestibilidad *in vitro* son muy elevados cuando se incuban granos en los tiempos estándar de las técnicas *in vitro* (Mendoza *et al*., 2000). Por lo tanto, es importante seleccionar en forma adecuada el tiempo de incubación *in vitro* o *in situ* para estimar la energía en dietas altas en granos, que son de 12 a 24 horas (Mendoza *et al*., 2007). Para estos casos primero se ajusta la digestibilidad por el contenido de materia orgánica (DIVMO) y después se usa una ecuación similar a la anterior:

$$DIVMO\ (\%) = DIVMS \times 0.92$$

$$ED\ (Mcal/kg) = 4.409\ (DIVMO/100)$$

Por ejemplo, se tiene un alimento comercial para borregos, el cual tuvo una digestibilidad *in situ* de la MS a las 12 horas de incubación de 71.31 %.

$$DIVMO = 71.31 \times 0.92 = 65.605\%$$

$$ED = 4.409(65.605/100) = 2.89 \text{ Mcal/kg}$$

Ejercicio 16

Estimación de energía digestible de plantas consumidas por el venado cola blanca

En el cuadro 16.2 se presenta la composición de la dieta de venados cola blanca por Ramírez *et al.* (1996), en el estado de Nuevo León, México, donde se determinó la concentración de proteína cruda, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y la cantidad de calcio y fósforo en un año de muestreo. Estime el contenido de energía digestible para cada mes.

El diagnóstico nutricional de especies silvestres en vida libre como el venado cola blanca, se hace en términos poblacionales debido a las condiciones de manejo y de aprovechamiento de esas especies. En condiciones de vida libre extensivas, se estima la densidad poblacional pero no se tiene información precisa del número de animales y su etapa fisiológica, por lo que se realizan estudios de composición botánica de la dieta para poder hacer un diagnóstico del hábitat y a partir de ahí establecer un plan de manejo nutricional.

En el Cuadro 16.3 se presentan los criterios para evaluar el hábitat del venado cola blanca. Con base en el contenido de proteína, digestibilidad y P indique que tipo de hábitat sería (excelente, bueno, regular o malo).

Cuadro 16.2 Composición de las raciones de venado cola blanca.

Año	Mes	PC	FDN	FDA	DIVMS	Ca	P
1988	Junio	14.8	46.8	28.4	44.1	0.59	0.04
	Julio	13.2	39.3	32.8	38.2	0.58	0.04
	Agosto	15.2	40.1	34.1	39.9	0.62	0.05
	Septiembre	15.4	44.5	35.2	35.6	0.61	0.05
	Octubre	16.5	45.3	37.2	34.0	0.62	0.04
	Noviembre	17.1	45.1	34.9	39.0	0.62	0.04
	Diciembre	14.9	47.3	34.5	39.1	0.74	0.03
1989	Enero	13.7	45.7	37.1	36.9	0.64	0.03
	Febrero	14.4	43.1	34.6	39.6	0.73	0.04
	Marzo	15.1	46.0	35.0	40.7	0.64	0.05
	Abril	15.5	52.9	34.4	39.2	0.61	0.04
	Mayo	16.9	48.3	32.9	40.7	0.65	0.05

PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido: DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

Cuadro 16.3 Criterios para clasificar un hábitat en función del contenido de nutrientes de la dieta

Nutriente	Excelente	Bueno	Regular	Malo
Proteína cruda %	> 12	10 – 12	7 - 10	< 7
DIVMS %	> 50	40 – 50	30 - 40	< 30
Ca %	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 1.5	> 1.5
P %	> 0.3	0.25 – 0.3	0.16 – 0.25	< 0.16
EM Mcal/kg MS	> 2.9	2.5 – 2.9	2.3 – 2.5	< 2.3

DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca; EM energía metabolizable. Fuente: Urness (1973).

Resultados ejercicio 16

Como ejemplo se muestra el resultado con la información del mes de junio de 44.1 %, la ED sería:

$$ED = 4.525\,(44.1/100) = 1.99\ \text{Mcal/kg MS}$$

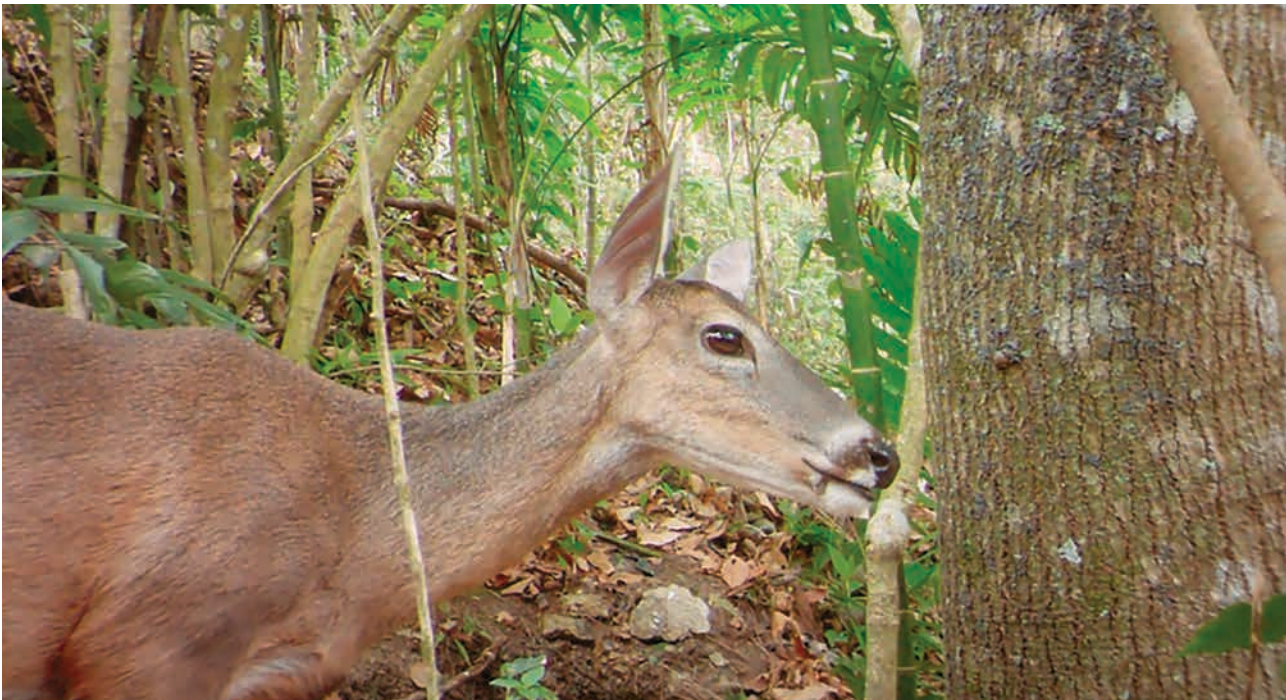
El valor se puede redondear a 2.00 Mcal por kg de material seca (cuadro 16.4).

Cuadro 16.4 Composición de las raciones de venado cola blanca

Año	Mes	DIVMS	Hábitat DIVMS	PC	Ca	P	EM, Mcal/kg
1988	Junio	44.1	Bueno	> 12 % PC excelente todos los meses	Bueno todo el año valores entre 0.5-1.0	< 0.16 P Malo todo el año	2.00
	Julio	38.2	Regular				1.73
	Agosto	39.9	Regular				1.78
	Septiembre	35.6	Regular				1.61
	Octubre	34.0	Regular				1.54
	Noviembre	39.0	Regular				1.76
	Diciembre	39.1	Regular				1.77
1989	Enero	36.9	Regular				1.67
	Febrero	39.6	Regular				1.79
	Marzo	40.7	Regular				1.84
	Abril	39.2	Regular				1.77
	Mayo	40.7	Regular				1.84

DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca; PC: proteína cruda; EM: energía metabolizable.

Como se puede ver en el cuadro 16.4, la evaluación nutricional del hábitat del venado cola blanca indica que debería de considerarse la suplementación energética y de fósforo para mejorar las condiciones nutricionales.



Ejercicio 17

Estimación de energía digestible de especies arbóreas

En el zoológico de Chapultepec se determinó la digestibilidad *in vitro* de la materia seca a las hojas de ocho especies arbóreas y su contenido de FDN y FDA, para considerar su uso en la alimentación de los rumiantes. Las hojas de estas especies fueron ofrecidas al antílope Eland (*Taurotragus oryx*) las cuales fueron consumidas en su totalidad.

Cuadro 17.1 Composición de las arbóreas presentes en el zoológico de Chapultepec (% base seca)

	PC %	FDN %	FDA %	DIVMS %
Laurel de la India	13.87	53.14	51.54	41.77
Hibiscus	21.84	50.53	33.67	77.50
Fresno	16.74	57.46	50.02	52.01
Bambú pluma	12.96	75.12	54.75	30.53
Picus	11.45	56.20	48.30	44.19
Sauce	19.46	57.22	53.37	43.30
Tecumaria	18.48	58.67	49.55	65.93
Bambú	16.30	72.52	55.89	36.82

PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

Considerando que las arbóreas tienen un contenido promedio de 4.229 Mcal/kg de EB, estime la ED de cada especie. Después de estimar el valor energético, considere el contenido de proteína cruda y el de FDN y FDA (cuadro 17.1) e indique cuáles especies serían más nutritivas para usarse en la alimentación de los rumiantes del zoológico.

Resultados ejercicio 17

En el cuadro 17.2 se presentan los cálculos que hay que realizar para obtener el resultado de estimación de la ED.

Cuadro 17.2 Composición de las arbóreas presentes en el zoológico de Chapultepec (% base seca)

	DIVMS		ED Mcal/kg
	A	B=A/100	Bx4.229
Laurel de la India	41.77	0.4177	1.766
Hibiscus	77.50	0.7750	3.277
Fresno	52.01	0.5201	2.199
Bambú pluma	30.53	0.3053	1.291
Picus	44.19	0.4419	1.868
Sauce	43.30	0.4330	1.831
Tecumaria	65.93	0.6593	2.788
Bambú	36.82	0.3682	1.557

ED: energía digestible; DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

Con relación a los valores de ED, se puede observar que las mejores arbóreas son *Hibsicus* y Tecumaria y las de menor valor contenido energético son el Bambú y Bambú pluma debido a su baja digestibilidad. En términos de proteína cruda, coinciden como mejores alimentos *Hibiscus* y Tecumaria mientras que las de menor contenido proteico corresponden a Ficus y Bambú pluma; sin embargo, la mayoría tienen de regular a buen contenido de nitrógeno. En general, a mayor contenido de FDN, mayor contenido de FDA (celulosa y lignina) y menor calidad de las arbóreas, como se puede apreciar en bambú y bambú pluma. Bárcena *et al.* (2009) analizaron hojas de arbustivas y árboles forrajeros del estado de Puebla y encontraron que la mayoría tenía contenidos entre 19.3 y 2.8 % de proteína.

Estimación de energía metabolizable en rumiantes

La energía metabolizable (EM) se determina en ensayos metabólicos como la energía del alimento menos la energía perdida en heces (EH), orina (EO) y en gases de la fermentación (EG):

$$EM\,(Mcal/d) = \text{consumo de } EB - [EH + EO + EG]$$

$$EM\,(Mcal/d) = ED - [EO + EG]$$

La concentración de EM por kg de alimento se estimaría en un balance al dividir las megacalorías consumidas entre el consumo de materia seca. Sin embargo, dado a que es complicado hacer estas estimaciones *in vivo*, se recurre a estimaciones con ecuaciones. Con base en los resultados de laboratorio, la EM de un ingrediente o ración se puede estimar a partir de la digestibilidad *in vitro*, *in situ*, o de valores *in vivo*. También se puede estimar con resultados generados con la técnica de gas *in vitro*.

La energía metabolizable (EM Mcal/kg MS) se puede obtener con la siguiente relación a partir de la digestibilidad (Mendoza y Ricalde, 1993b):

$$EM\,(Mcal/d) = 3.62 \times (DIVMS/100)$$

La EM se puede estimar directamente de la ED (INRA, 1989):

$$EM\,(Mcal/kg) = 0.82 \times ED$$

Una de las ecuaciones de Menke y Steingass (1988) estiman la EM basado en la producción de gas a las 24 horas y en el porcentaje de proteína cruda.

$$EM\,(Mcal/kg\,MS) = [2.2 + 0.136\,Gp + 0.057\,PC]/4.184$$

Donde:

Gp = gas producido ml
PC = proteína cruda %

Es importante que cualquier estimación que se realice, se interprete con precaución, pues en ocasiones se pueden subestimar o sobrestimar los valores de EM debido a que hay muchos factores asociados a las técnicas de tipo *in vitro*, *in situ* o de gas *in vitro* que deben considerarse. Se sugiere que en las incubaciones se incluyan ingredientes de los cuales se conozca su contenido de EM para usarse como referencia cuando se tengan los resultados.

Ejercicio 18

Estimación de energía metabolizable en alimentos para engorda de ovinos

Muchos productores no pueden elaborar sus alimentos para engordar corderos y recurren a los alimentos comerciales. Sin embargo, en México, la mayoría de las etiquetas de los alimentos balanceados para animales solo presenta resultados del análisis proximal, lo cual no proporciona información sobre la energía metabolizable ni de la degradabilidad ruminal de la proteína, lo que dificulta la selección del mejor alimento. La energía digestible y la metabolizable se pueden estimar en forma indirecta, lo que podría ayudar a identificar el alimento con el mejor comportamiento productivo.

Para evaluar cuatro alimentos comerciales usados en la engorda de ovinos en México, Mendoza *et al.* (2007), determinaron su composición y su digestibilidad *in situ* a las 12 horas para estimar su contenido de energía metabolizable (cuadro 18.1). Con base en la ecuación de Menke y Steingass (1988) y la relación de la EM=3.62x(DIVMS/100), estime la EM de cada alimento. De acuerdo con el artículo original, indique cuál es la EM que debe de usar para estimar el comportamiento productivo de los ovinos.

Sería deseable que los alimentos comerciales reportaran algún valor de energía estimado (ED, EM, EN) y en ocasiones algunas empresas lo reportan. Será deseable que los Médicos Veterinarios Zootecnistas promuevan cambios en la información de etiquetado de alimentos para animales.

Cuadro 18.1 Composición de los alimentos comerciales para engorda intensiva de ovinos y producción de gas *in vitro* a las 24 h

	Alimentos			
	A	B	C	D
PC %	13.30	15.30	17.10	13.90
DEG % PC	77.77	76.02	73.51	68.86
FDN %	22.43	23.99	32.07	19.30
Almidón %	48.95	47.68	33.20	48.30
EE %	6.40	2.27	3.47	3.99
Ceniza %	16.61	16.07	17.59	16.63
Digestibilidad MS %	71.31	64.15	62.10	76.13
ml de gas a 24 h	70.20	78.16	81.34	78.88

PC: proteína cruda; DEG: degradabilidad de la proteína cruda; FDN: fibra detergente neutro; EE: extracto etéreo; MS: materia seca. Fuente: Mendoza *et al.* (2007)

Resultados ejercicio 18

Se muestra el ejemplo de cálculo para el alimento A, primero con base en mililitros de gas y proteína cruda:

$$EM = [2.2 + 0.136\ Gp + 0.057\ PC]/4.184$$

$$EM = [2.2 + 0.136(70.20) + 0.057(13.30)]/4.184$$

$$EM = [2.2 + 9.54 + 0.758]/4.184$$

$$EM = [12.50]/4.184$$

$$EM = 2.98\ Mcal/kg$$

Segundo se hace la estimación con base en la digestibilidad:

$$EM = 3.62 \times (71.31/100)$$

$$EM = 2.581\ Mcal/kg$$

Cuadro 18.2 Contenido de EM estimado de los alimentos comerciales para engorda intensiva de ovinos y producción de gas *in vitro* a las 24 h

	Alimentos			
	A	B	C	D
EM Mcal/kg basado en gas	2.989	3.275	3.403	3.279
EM Mcal/kg basado en digestibilidad	2.581	2.322	2.248	2.756
Digestibilidad ***in situ*** de la MS %	71.31	64.15	62.10	76.13
ml de gas (24 h incubación)	70.20	78.16	81.34	78.88

EM: energía metabolizable; MS: materia seca.

En el artículo de Mendoza *et al.* (2007), la EM fue estimada con base en la digestibilidad *in situ* de la materia seca. En el cuadro 18.2, podemos apreciar que el valor que se obtiene con gas *in vitro* es muy elevado. Considere que el valor de EM del maíz es de 3.2 Mcal/kg (NRC, 2007), y que las dietas tienen entre 33 y 49 % de almidón y, si consideramos que los granos tienen un 68 % de almidón, estas tendrían entre 47 y 72 % de grano, lo que difícilmente permitiría que la ración final tuviera más de 3 Mcal/kg de MS, por lo que se prefiere usar la estimación basada en digestibilidad *in situ*.



Estimación de la energía neta

El sistema de energía neta de California permite estimar el valor para mantenimiento (ENm), para ganancia (ENg) o para producción de leche (ENL). Estos valores no son aditivos, dado que la eficiencia con que se utiliza la energía para cada proceso es diferente. En las tablas de requerimientos de NRC se dan valores para muchos alimentos convencionales, pero en ocasiones se tiene que estimar para dietas o para alimentos no convencionales a partir de la EM o con base en la composición. A continuación, se presentan algunas alternativas para su estimación para forrajes.

Estimación de ENl con base en el análisis de Van Soest

Mertens (2002) desarrolló dos ecuaciones que permiten estimar el contenido de energía neta de lactancia (ENl) para leguminosas y gramíneas de clima templado.

Las ecuaciones de leguminosas de clima templado son:

$$ENl\,(Mcal/kg) = [1.054 - (0.0098 \times NDF)]/0.45359237$$

$$ENl\,(Mcal/kg) = [1.011 - (0.0113 \times ADF)]/0.45359237$$

Las ecuaciones para pastos de clima templado:

$$ENl\ (Mcal/kg) = [1.297 - (0.0119 \times NDF)]/0.45359237$$

$$ENl\ (Mcal/kg) = [1.120 - (0.0159 \times NDF)]/0.45359237$$

Estimación de ENm y Eng

El NRC de bovinos para carne proporciona unas ecuaciones, las cuales permiten estimar la EN para mantenimiento y para ganancia en función de la EM.

$$ENm\ (Mcal/kg) = 1.37\ EM - 0.138\ EM^2 + 0.0105\ EM^3 - 1.12$$

$$ENg\ (Mcal/kg) = 1.42\ EM - 0.174\ EM^2 + 0.0122\ EM^3 - 1.65$$

Ejercicio 19

Cálculo de energía neta para lactancia de alfalfa

Considerando los valores de FDA de la alfalfa (cuadro 19.1), estime el valor de EN para lactancia (ENl). Compare el valor obtenido para el heno de leguminosas (alfalfa) con 32.4% FDA del NRC de ganado lechero. Indique qué efecto tiene la acumulación de lignina y celulosa en la ENl.

Cuadro 19.1 Estimación de energía neta de lactancia en función de la fibra detergente ácido de la alfalfa

Fibra detergente ácido %	Energía neta para leche Mcal/kg
27	
29	
31	
33	
35	
37	
39	
41	
43	

Resultados ejercicio 19

El valor de ENl para el heno de leguminosas con 33.4% FDA con 20.8% de proteína está entre 1.20 y 1.28 Mcal/kg de materia seca. La estimación de la ecuación de Mertens parece sobreestimar el contenido de ENl (1.40 Mcal/kg), sin embargo, el NRC muestra el valor para heno de leguminosa y no necesariamente para alfalfa. Los resultados muestran una reducción lineal entre la concentración de lignina y celulosa y su ENl.

Se muestra el ejemplo de cálculo del heno de alfalfa con 32.4% de FDA:

$$ENl\,(Mcal/kg) = [1.011 - (0.0113 \times FDA)]/0.45359237$$

$$ENl\,(Mcal/kg) = [1.011 - (0.0113 \times 32.4)]/0.45359237$$

$$ENl\,(Mcal/kg) = [1.011 - (0.3661)]/0.45359237$$

$$ENl = [0.6449]/0.45359237 = 1.4\ Mcal/kg$$

Cuadro 19.2 Resultados de la estimación de energía neta para lactancia en función de la fibra detergente ácido de la alfalfa

Fibra detergente ácido %	Energía neta de lactancia Mcal/kg
27	1.56
29	1.51
31	1.46
33	1.41
35	1.36
37	1.31
39	1.26
41	1.21
43	1.16





Ejercicio 20

Estimación de energía neta para mantenimiento y ganancia en rumiantes

Considerando los valores de EM estimados en el ejercicio 19, con base en la digestibilidad (cuadro 18.2), estime los valores de ENm y ENg para cada alimento comercial.

Resultados ejercicio 20

Los resultados se muestran en el cuadro 20.1. De acuerdo con el contenido de energía, se esperaría que el alimento D promoviera las mayores ganancias de peso. Las fórmulas usadas fueron las siguientes:

$$ENm = 1.37(2.756) - 0.138(2.756)^2 + 0.0105(2.756)^3 - 1.12$$

$$ENm = 3.77 - 0.138(7.59) + 0.0105(20.99) - 1.12$$

$$ENm = 3.77 - 1.04 + 0.220 - 1.12 = 1.83 \text{ Mcal/kg}$$

$$ENg = 1.42(2.756) - 0.174(2.756)^2 + 0.0122(2.756)^3 - 1.65$$

$$ENg = 3.91 - 1.32 + 0.220 - 1.65 = 1.197 \text{ Mcal/kg}$$

Cuadro 20.1 Contenido de energía de alimentos comerciales estimada a partir de la digestibilidad *in situ*

	Alimentos			
	A	B	C	D
EM Mcal/kg MS	2.581	2.322	2.248	2.756
ENm Mcal/kg MS	1.677	1.448	1.381	1.827
ENg Mcal/kg MS	1.066	0.862	0.801	1.197

EM: energía metabolizable; ENm: energía neta de mantenimiento; ENg: energía neta de ganancia.

Estimación de la ENm y ENg de la ración con base en el comportamiento en corral de engorda

Uno de los aspectos para evaluar el manejo nutricional de un corral de engorda se basa en la comparación de la GDP esperada con la observada. Para esto es necesario predecir el valor energético de la dieta con base en el comportamiento, siguiendo una serie de ecuaciones presentadas por Zinn *et al.* (2008). Para ejemplificar se usan valores del peso maduro del NRC (1996) de novillos 399.87 kg y vaquillas 319.90 kg. Primero se estima la EN retenida en Mcal (RE):

$$ER_{novillo}\ Mcal = 0.0606 \times [(PVAm \times 478/PMF_{novillo})^{0.75}]GDP^{0.905}$$

Donde:

ER: Energía retenida Mcal/d
PVAm: Peso vivo ajustado por merma=PVx0.96.
PMF: Peso maduro en kg
GDP: ganancia diaria de peso kg/d

Considere los siguientes datos:

Peso vivo = 344.5

PVAm = 331

GDP = 1.32 kg/d

Consumo de materia seca = 8.93 kg/d

$ER_{novillo} = 0.0606[(331 \times 478/399.87)^{0.75}] \times 1.32^{0.905}$

$ER_{novillo} = 0.0606 \times 88.72 \times 1.2856$

$ER_{novillo} = 0.0606 \times 88.72 \times 1.2856 = 6.91$

ER = 6.91 Mcal/d

Posteriormente se estima el requerimiento de EM con un peso ajustado por merma de 331 kg (PVAm) con base en el peso metabólico:

$EM(Mcal/d) = 0.077 \times (PVAm)^{0.75}$

EM = 5.98 Mcal/d

Después se procede al cálculo de a, b y c (Zinn y Shen, 1998):

a = - 0.41 EM

b = - 0.877 EM + 0.41 CMS + ER

c = - 0.877 CMS

Donde:

EM: requerimiento estimado de EM Mcal/d
CMS: consumo de materia seca kg/d
ER: energía retenida Mcal/d

Se ejemplifica como se sustituyen los valores en las ecuaciones:

$$a = -0.41\,EM = -41 \times 5.98 = -2.45$$

$$b = -0.877\,EM + 0.41\,CMS + ER = 0.877 \times 5.98 + 0.41 \times 8.93 + 6.91 = 15.81$$

$$c = -0.877\,CMS = -0.877 \times 8.93 = -7.83$$

Finalmente, se pueden estimar los valores de ENm y la ENg de la ración basados en el comportamiento de los bovinos con las siguientes ecuaciones:

$$ENm\,(Mcal/kg^{-1}) = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2c}$$

$$ENg\,(Mcal/kg) = (0.877 \times NEm) - 0.410$$

A continuación, se presenta el ejemplo del cálculo del ejemplo, primero para ENm y segundo para ENg que requiere el valor de ENm:

$$ENm = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2c}$$

$$= \frac{-15.81 - \sqrt{15.81^2 - 4(-2.45)(-7.83)}}{2(-7.83)}$$

$$= \frac{-15.81 - \sqrt{249.95 - 76.79}}{-15.66} = \frac{-15.81 - \sqrt{173.16}}{-15.66}$$

$$= \frac{-15.81 - 13.15}{-15.66} = \frac{-28.96}{-15.66} = 1.84\ Mcal\,Kg^{-1}$$

$$ENm = 1.84\ Mcal/kg$$

$$ENg\,(Mcal/kg) = (0.877 \times NEm) - 0.410$$

$$ENg = (0.877 \times 1.84) - 0.410 = 1.20\ Mcal/kg$$

Entonces, se pueden comparar los valores formulados de ENm y ENg teóricos con los observados y, en caso de que existan diferencias entre los valores, es un indicativo de que hay problemas en el corral de engorda. Estos problemas pueden ser de diversa índole, desde manejo de alimento, un mineral, etc.

Ejercicio 21

Cálculo de la ENm y ENg con base en el comportamiento productivo de corral de engorda

Indique qué efecto tuvo el uso de un ionóforo en la ENm o en la ENg en un corral de engorda, con la información presentada en el cuadro 21.1.

Cuadro 21.1 Comportamiento de bovinos con salinomicina en corral de engorda

	Testigo	16.5 mg de Salinomicina
Peso vivo sin ajuste kg	328	328
CMS kg/d	6.64	6.18
GDP kg	1.16	1.15
Peso maduro final kg	399.87	399.87

CMS: consumo de materia seca; GDP: ganancia diaria de peso.

Calcule la energía retenida, Mcal/d; la EM, Mcal/d; la ENm, Mcal/d y la ENg, Mcal/d, e interprete los resultados.

Resultados ejercicio 21

Cuadro 21.2 Cálculos de energía de dos raciones con base en el comportamiento productivo

	Testigo	Ionóforo
PV sin ajustar	328	328
PV ajustado por merma	314.88	314.88
$PV^{0.75}$	74.750	74.750
CMS	6.64	6.18
GDP	1.16	1.15
Peso maduro final	399.87	399.87
ER	5.92	5.88
EM	5.76	5.76
a	-2.35984452	-2.35984452
b	13.6932466	13.4584174
C	-5.82328	-5.41986
b^2	187.505	181.129
4ac	54.9681415	51.1601076
$(b^2 - 4ac)$	132.537	129.969
$\sqrt{b^2 - 4ac}$	11.5124655	11.4003899
2c	-11.64656	-10.83972
$-b\sqrt{b^2 - 4ac}$	-25.2057121	-24.8588073
$-b\sqrt{b^2 - 4ac} / 2c$	2.16421948	2.29330714
ENg	1.48802049	1.60123036

PV: peso vivo; CMS: consumo de materia seca; GDP: ganancia diaria de peso; ER: energía retenida; EM: energía metabolizable; ENg: energía neta de ganancia.

Se puede apreciar en el cuadro 21.2, que el uso del ionóforo tuvo poco efecto en la ENm, pero mejoró la ENg, lo cual explica por qué con un consumo menor tiene la misma GDP y mejor eficiencia de utilización del alimento, lo cual se explica por los efectos del ionóforo en la reducción de metano y en el incremento de ácido propiónico (Bergen y Bates, 1984). Los efectos de la salinomicina han sido descritos por Zinn (2004).

Balance de energía de venados en cautiverio

Desde el punto de vista nutricional, un balance de energía se realiza considerando la diferencia entre la energía consumida y el requerimiento de energía. Se pueden considerar todas las pérdidas, pero en términos sencillos nos interesa saber si una ración consumida puede cubrir los requerimientos de cierta etapa fisiológica, por lo que la estimación de las necesidades energéticas, así como el contenido calórico de los alimentos influye en el resultado obtenido. En animales domésticos se tienen tablas donde están los requerimientos y en alimentos (NRC, 2007). Para ejemplificar un balance con diferentes ecuaciones se presentan los siguientes cálculos:

Suponga que después de estimar la digestibilidad de la ración y usar algunas ecuaciones sus resultados indican que la dieta de venados tiene una concentración de 2.5 Mcal/kg MS de EM y que el consumo observado fue de 0.9 kg MS/día. Considere que el venado tiene 40 kg de peso vivo. El NRC (2007) reporta un requerimiento de 2.0 Mcal/día. Algunas de las ecuaciones posibles para estimar el requerimiento energético se presentan en el cuadro 22.1.

Cuadro 22.1 Ecuaciones usadas para estimar el requerimiento de energía neta de mantenimiento en mamíferos

a)	ENm=70 $(PV)^{0.75}$	kcal/día	Kleiber (1932)
b)	ENm=175 $(PV)^{0.75}$	kcal/día	Valdez (2011)
c)	EM=130 $(PV)^{0.75}$	kcal/día	Robbins (1993)
d)	ENm=70 $(PV)^{0.67}$	kcal/día	Prothero (1984)

ENm: energía neta de mantenimiento; EM energía metabolizable.

Considerando una eficiencia parcial de utilización de la energía (k) para mantenimiento de 0.7 (común en rumiantes), podemos estimar el requerimiento de EM para cada inciso del cuadro 22.2:

Ecuación del inciso a:

$ENm = 70(PV)^{0.75} = 70(15.91) = 1113\ Kcal/d$

$EM = 1113/0.7 = 1590\ Kcal/d$

Ecuación del inciso b:

$ENm = 175(PV)^{0.75} = 175(15.91) = 2783\ kcal/d$

$EM = 2783/0.7 = 3976\ kcal/d$

Ecuación del inciso c:

$EM = 130(PV)^{0.75} = 130(15.91) = 2067\ kcal/d$

Ecuación del inciso d:

$ENm = 70(PV)^{0.67} = 70(11.84) = 828\ kcal/d$

$EM = 828/0.7 = 1184\ kcal/d$

De acuerdo con las estimaciones podemos apreciar que la ecuación de Kleiber (1932) subestima el requerimiento, pues resulta en un valor muy bajo y considerado para cero actividad. Por otra parte, el ajuste sugerido por Valdez (2011) es demasiado elevado y resultaría en una estimación en la que los venados es-

tarían en balance negativo (pérdida de peso), lo cual es poco probable con esa concentración energética. A pesar de que se ha sugerido usar 0.67 en lugar de 0.75 para corregir las diferencias de los ciclos circadianos (Prothero, 1984) o para corregir en herbívoros mayores las condiciones de post-absorción (White y Symour, 2005), el uso de ese exponencial llevaría a menores valores de energía estimada, por ejemplo, el valor de 40 kg elevado a 0.67 sería 11.84. A partir de esto se puede estimar qué incremento de actividad sobre metabolismo basal se puede cubrir con las raciones que tienen un excedente de energía.

En el cuadro 22.2 se muestra el cálculo para un 10% sobre el metabolismo basal, donde básicamente se multiplica el requerimiento estimado por 1.10 y se vuelve hacer el balance. Solo se hace donde se estima un excedente de energía sobre mantenimiento. Para hacer el balance de energía se debe estimar primero el consumo de kcal/día (cuadro 22.2) multiplicando el consumo de materia seca por el contenido de EM de la dieta:

$$\text{Consumo de EM (kcal/d)} = (\text{kg/d MS})(\text{EM kcal/kg MS})$$

$$\text{Consumo EM} = 0.9(2500) = 2250 \text{ kcal/día}$$

Cuadro 22.2. Balance de energía de acuerdo con la estimación del requerimiento de energía

	Klieber	Valdez	Robbins	NRC
EM consumida kcal/día	2250	2250	2250	2250
EM estimada kcal/día	1590	3976	2067	2000
Diferencia (balance)	+659	-1726	+197	+250
EM (110%)	1750	4374	2274	2200
Diferencia (balance)	+500	-2124	-24	+50

EM: energía metabolizable.

Como conclusión, se puede inferir que para estimar el requerimiento del venado se puede usar la ecuación de Robbins (1993) o las tablas del NRC (2007).



Ejercicio 22

Estimación del balance de energía de venados en cautiverio

Usando la información presentada en el cuadro 22.3 de una ración consumida por el venado cola blanca de Yucatán (*Odocoileus virginianus yucatanensis*), realice un balance de energía con la ecuación de Robbins (1993) y con el valor recomendado por NRC de 1.6 Mcal/día, considerando que el consumo de materia seca fue de 1058 g/día y el peso promedio es de 30 kg (Plata *et al.*, 2009). Compare ambas estimaciones y realice una interpretación biológica de los resultados indicando qué porcentaje del metabolismo basal se puede incrementar por actividad con esa ración y ese consumo.

En condiciones de cautiverio se pueden analizar todos los alimentos (proteína, FDN y digestibilidad *in vitro* o *in situ*) consumidos por los venados, lo que permite estimar el consumo de nutrientes y de energía. En confinamiento se estima que el incremento de requerimiento de gasto energético para mantenimiento (metabolismo basal) sea de un 10%, pero en condiciones de vida libre puede llegar hasta un 50%.

La información generada en confinamiento ha servido como base para entender aspectos nutricionales del venado en vida libre, por lo que este tipo de evaluaciones son importantes para el conocimiento de nutrición en estas especies.

Cuadro 22.3 Composición de la ración consumida por el venado cola blanca en cautiverio

Año	Inclusión	MS	PC	FDN	DIVMS	EM
			%			Mcal/kg
Leucaena leucocephala	27.98	55.2	22.6	38	56.9	2.06
Brosimum alicastrum	23.25	56.4	15.9	41.1	70.8	2.56
Bursera simaruba	18.90	59.6	12.4	48.3	45.21	1.64
Ipomoea purpurea	13.04	68.3	20.8	46.7	46.94	1.70
Spondias purpurea	6.43	40.2	9.4	44.8	49.19	1.78
Viguiera dentata	3.78	47.8	23.3	31.1	78.05	2.83
Ipomea sp	1.80	38.1	19.8	34.7	72.72	2.63
Gymnopodium antigonoides	2.55	81.3	15.4	48.1	39.34	1.42
Ipomoea batatas	0.66	43.5	16	30.1	74.97	2.71
Guazuma ulmifolia	1.32	83.9	14.7	45.8	57.3	2.07
Pennisetum purpureum	0.28	36.1	12.2	68.5	58.7	2.12
Total	100					

MS: materia seca; PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutro; DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la MS; EM: energía metabolizable.

Resultados ejercicio 22

Primero se pasa el valor de la dieta a base seca, se ajusta a 1 kg, y posteriormente se estima el aporte de EM de acuerdo con lo que aporta cada forraje, por ejemplo, para *Leucaena* en base seca se tiene una proporción de 0.279773 que multiplicada por su contenido de EM (2.06) aporta 0.5763. Al final se suman todos los aportes con lo que se estima una concentración de 2.05 Mcal o 2059 kcal/kg (cuadro 22.4).

Al completar la información del cuadro 22.2 se pueden identificar los principales alimentos que constituyen la dieta del venado. Destacan dos arbóreas, la leguminosa *Leucaena leucocephala* y el árbol de *Brosimum alicastrum* (de la familia de las Moráceas). En tercer lugar, se encuentra el árbol forrajero *Bursera simaruba* y en cuarto lugar aparece *Ipomoea purpurea*, que es una planta herbácea (rastrera o trepadora). Se recomienda revisar la literatura sobre árboles forrajeros para comparar los resultados reportados e ir analizando las implicaciones de cada planta, dado que algunas presentan metabolitos secundarios lo que puede explicar su baja proporción en la dieta del venado.

Cuadro 22.4 Aporte de energía metabolizable de los alimentos consumidos por el venado

Forrajes	Dieta en 1 kg	EM
Leucaena leucocephala	0.279773	0.576333
Brosimum alicastrum	0.232514	0.595236
Bursera simaruba	0.189036	0.310019
Ipomoea purpurea	0.130435	0.221739
Spondias purpurea	0.064272	0.114405
Viguiera dentata	0.037807	0.106994
Ipomea sp	0.017958	0.047231
Gymnopodium antigonoides	0.02552	0.036238
Ipomoea batatas	0.006616	0.01793
Guazuma ulmifolia	0.013233	0.027391
Pennisetum purpureum	0.002836	0.006011
Total	1	2.059527

EM: energía metabolizable.

Posteriormente, se estima el requerimiento de EM con la ecuación de Robbins (1993):

$$EM = 130(30)^{0.75} = 130(12.82) = 1666 \text{ kcal/d}$$

Nótese que el valor es similar al del NRC (2007). Posteriormente se hace el balance del consumo y se va incrementando el metabolismo basal para ver hasta donde se puede mantener con esa ración (cuadro 22.5).

La realización de estos cálculos de incremento de metabolismo basal (escenarios), permiten usar la información obtenida en cautiverio para entender las implicaciones del aporte de EM de una ración en condiciones de vida libre y permiten entender la importancia de cada alimento. Eso se puede hacer con raciones de venados en vida libre para evaluar la calidad del hábitat en función de su contenido de energía metabolizable.

Se puede consultar el modelo de metabolismo ecológico sencillo en *Excel* (http://bioeficiencia.net/about/) que permite estimar los requerimientos de energía del venado cola blanca por día del año, considerando edad, sexo y peso vivo. Puede usar este modelo para comparar las estimaciones que realice en esta especie

Cuadro 22.5 Balance de energía del venado cola blanca subespecie *yucatanensis*

	Robbins	NRC
Consumo MS g/día	1058	1058
EM, kcal/kg MS	2059	2059
EM consumida, kcal/día	2178	2178
EM estimada, kcal/día	1666	1600
Diferencia (balance)	+513	+579
EM (130 %)	2166	2080
Diferencia (balance)	+13	+99
EM (140 %)	2333	2240
Diferencia (balance)	-154	-61

EM: energía metabolizable.

Para una mejor interpretación de los resultados se recomienda identificar las especies de forrajes de acuerdo con su grupo vegetal (arbóreas, arbustivas, gramíneas, herbáceas) y revisar el documento de Plata *et al.* (2009). Este es un resultado de estudio de cafetería donde los venados seleccionaron esa dieta, lo cual es interesante, pues consumieron principalmente arbóreas, arbustivas, herbáceas y un mínimo de gramíneas comportándose de forma similar a lo que hacen los venados en vida libre (Villareal *et al.*, 2008; Granados *et al.*, 2014).



Modelos de simulación para ganado de carne

Uno de los modelos más evaluados en predicción de comportamiento productivo de bovinos es el del NRC (2000) que incluye un *software* para evaluar dietas. Este modelo tiene dos niveles (I y II), los cuales no permiten buenas predicciones bajo condiciones de pastoreo. Una evaluación por análisis de sensibilidad (Ortega, 2006; Ortega *et al.*, 2010) muestra que hay ecuaciones que no tiene impacto en la predicción como edad del animal, estrés calórico, velocidad del viento, tipo de noche, grosor del cuero, largo de pelo, tamaño de unidad de pastoreo, días en pastoreo y número de animales en pastoreo, mientras que las variables que tienen mayor impacto en la predicción de la ganancia diaria de peso son el consumo, el peso vivo inicial, el peso maduro y la raza animal.

La complejidad de uso del modelo y la falta de predicción (Maquivar *et al.*, 2006b; Ortega, 2006) nos permite recomendar el uso de modelos más sencillos para condiciones intensivas, como el de la Universidad de Oklahoma, que está en hoja de cálculo y se puede obtener en forma gratuita en la dirección de OSU Animal Science www.ansi.okstate.edu, particularmente para corrales de engorda. Este programa tiene 4 secciones: *Formulation, Mixing sheet, Feed List y Nutrients* y está basado en los requerimientos del NRC de ganado de carne de 1984 y 1996.

Para ejemplificar el uso de este, usaremos la información del cuadro 23.1 que corresponde a un experimento publicado en el *Journal of Animal Science* por Lana *et al.* (1997). Usaremos la dieta sin ionóforo en base seca, incorporando los valores en libras en el modelo (654 libras), tipo de animal 3 (el Holstein es raza grande), seleccionando de la base de datos de alimentos los números 20, 24, 48, 57, 60, 61, 64 y 65, y poniendo en base seca el porcentaje correspondiente. Los resultados de la predicción salen en inglés y en libras, por lo que es necesario ponerlos en kg para compararlos (cuadro 23.2).

Los valores de ENm y ENg en la salida del modelo se presentan en Megcal/CWT, por lo que se requiere calcular por tonelada con la siguiente relación: CWT x 0.45359 x 50.8023 x 1.016.

$$ENm = 93.95 \times 0.453459 \times 50.8023 \times 1.016 = 2199 \text{ Mcal/ton}$$

$$ENm = 2.19 \text{ Mcal/kg ENm}$$

$$ENg = 60.90 \times 23.41 = 1425 \text{ Mcal/ton}$$

$$ENg = 1.42 \text{ Mcal/kg ENg}$$

El modelo da un diagnóstico nutricional de deficiencia ligera de proteína (recomienda 14.35% PC), así como deficiencias de cobalto, manganeso y zinc. El modelo subestimó la ganancia de peso y el consumo, pero da una buena estimación de la conversión alimenticia. Debemos tener presente, que los modelos son un apoyo pero que en este momento no se tienen modelos que tengan una predicción del 100% de lo que ocurre con los animales.

Se recomienda la lectura del capítulo XVI Uso de modelos de simulación en corrales de engorda (Mendoza y Ricalde, 2017) para conocer los principios de la elaboración de modelos, tipos, aspectos básicos (precisión y exactitud) y la forma científica de evaluarlos (Ortega *et al.*, 2010). Tener presente que el conocimiento es dinámico en la ciencia por lo que habrá modelos disponibles en el futuro. Se recomienda consultar páginas de universidades donde presentan modelos de nutrición actualizados como los de científicos reconocidos (https://www.nutritionmodels.com/).

Cuadro 23.1 Información de dieta y comportamiento observado reportado en un experimento con y sin 22 ppm de monensina sódica

	Testigo	22 ppm
Composición de la ración (MS)		
Ensilaje de maíz	15.0	15.0
Maíz grano	80.45	80.45
Urea	1.43	1.43
Monensina	0.0	0.0022
NaCl	0.15	0.148
Fosfato dicálcico	0.75	0.75
Piedra caliza	2.25	2.25
Total	100.00	100.00
Composición química		
PC %	13.5	13.5
DEG %	70.0	70.0
FDN %	14.0	14.0
ENm Mcal g/kg	2.06	2.01
ENg Mcal g/kg	1.41	1.37
Comportamiento		
Peso inicial kg	297	297
Peso ajustado (0.96 PV kg)	286	286
CMS kg	7.17	7.28
GDP kg	1.45	1.45
Conversión	4.94	5.02

MS: materia seca; PC: proteína cruda; DEG: degradabilidad de la PC; ENm: energía neta de mantenimiento; ENg: energía neta de ganancia; PV: peso vivo; CMS: consumo de MS; GDP: ganancia diaria de peso. Fuente: Lana *et al.* (1997).

Una alternativa para mejorar la predicción es modificar el consumo, para lo cual se recomienda probar varias ecuaciones (Zinn y Mendoza, 2000), dado que esto impacta el resultado del modelo en la ganancia de peso y en la conversión.

La predicción de consumo voluntario es uno de los retos que se ha tenido en la nutrición de rumiantes, dado que existen mecanismos de regulación física y fisiológica, dependiendo del tipo de ración (relación forraje: concentrado) cambian los procesos de regulación.

Cuadro 23.2 Resultados predichos con el Modelo de OSU Animal Science para la ración sin monensina

	Observado	Predicho
Comportamiento		
CMS kg	7.28	5.89
GDP kg	1.45	1.20
Conversión	5.02	4.91
Composición		
PC %	13.5	12.73
FDN %	14.0	14.14
ENm Mcal g/kg	2.01	2.19
ENg Mcal g/kg	1.37	1.42

CMS: consumo de materia seca; GDP: ganancia diaria de peso; PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutro; ENm: energía neta de mantenimiento; ENg: energía neta de ganancia.



Ejercicio 23

Uso de un modelo de simulación para ganado de carne

Evalúe la ración con ionóforo monensina sódica presentada en el cuadro 23.1 y discuta el impacto que puede tener dicho aditivo en la engorda intensiva de bovinos.

Resultados ejercicio 23

Para esto debe incluirse el ingrediente 57 que es el rumensin (nombre comercial de la monensina sódica), e incorporarse en porcentaje. Para poner 22 ppm en forma porcentual, se mueven cuatro decimales y se incluye como 0.0022%. La predicción se presenta en el cuadro 23.3.

Dependiendo de la forma como se construyó el modelo se pueden obtener valores de predicción cercanos a los observados. El uso de artículos científicos en este ejercicio permite estimar parámetros de importancia y el análisis crítico de comparar valores predicho con los observados permitirá al usuario identificar las ventajas y desventajas del modelo.

Al usar cualquier modelo se debe de considerar su exactitud y precisión analizando los valores estimados con los observados. Los modelos deben ser validados y deben ser elaborados con base en información confiable (conocimiento científico).

Cuadro 23.3 Resultados predichos con el Modelo de OSU *Animal Science* para la ración con monensina sódica

	Observado	Predicho
Comportamiento		
CMS kg	7.17	5.90
GDP kg	1.45	1.20
Conversión	4.94	4.91
Composición		
PC %	13.5	12.73
FDN %	14.0	14.14
ENm Mcal g/kg	2.01	2.19
ENg Mcal g/kg	1.37	1.42

CMS: consumo de materia seca; GDP: ganancia diaria de peso; PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutro; ENm: energía neta de mantenimiento; ENg: energía neta de ganancia.

Cuadro 23.4 Resultados predichos con el Modelo de OSU *Animal Science* para la ración con monensina sódica y el consumo modificado

	Observado	Predicho
Comportamiento		
CMS kg	7.17	7.17
GDP kg	1.45	1.62
Conversión	4.94	4.42
Composición		
PC %	13.5	12.73
FDN %	14.0	14.14
ENm Mcal g/kg	2.01	2.19
ENg Mcal g/kg	1.37	1.42

CMS: consumo de materia seca; GDP: ganancia diaria de peso; PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutro; ENm: energía neta de mantenimiento; ENg: energía neta de ganancia.

Como se puede apreciar en el cuadro 23.3, no existe ningún factor de ajuste en el modelo para que considere el efecto del ionóforo. Una alternativa es modificar el valor de consumo y ver cómo se modifica la predicción (cuadro 23.4), pues se sabe que los ionóforos reducen el consumo (Bergen y Bates, 1984) o predecir el consumo con la ecuación de Zinn (1988) presentada previamente que tiene mayor exactitud y precisión en corrales de engorda. Se pueden rea-

lizar diversas simulaciones con el modelo, por ejemplo, en el cuadro 23.5 se muestra con un consumo estimado de 7.0 kg el modelo predice la ganancia de peso y la conversión en forma adecuada.

Cuadro 23.5 Resultados predichos con el Modelo de OSU *Animal Science* al ajustar el consumo a la ganancia de peso observada

	Observado	Predicho
Comportamiento		
CMS kg	7.17	7.00
GDP kg	1.45	1.45
Conversión	4.94	4.82
Composición		
PC %	13.5	12.73
FDN %	14.0	14.14
ENm Mcal g/kg	2.01	2.19
ENg Mcal g/kg	1.37	1.42

CMS: consumo de materia seca; GDP: ganancia diaria de peso; PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutro; ENm: energía neta de mantenimiento; ENg: energía neta de ganancia.

Este ejercicio muestra la importancia de hacer modificaciones a valores al usar un modelo, las cuales deben de basarse en conocimiento científico (artículos, metaanálisis) y la experiencia del usuario. El modelo de NRC (2000) de ganado de carne, incluyó en su modelo el ajuste en el consumo (3%) por el uso de ionóforos debido a la importancia y uso de ese aditivo. Sin embargo, la legislación en el uso de aditivos en varios países está prohibiendo el uso de ionóforos, por lo que se esperan en el mercado otros aditivos (fitobióticos, metabióticos, inóculos bacterianos) que serán necesario evaluarse con estos modelos.

En los próximos años debido a los efectos del cambio climático, las explotaciones ganaderas estarán bajo mayor presión para reducir la emisión de gases efecto invernadero y para reducir la excreción de elementos como N y P. Los modelos serán parte importante para cumplir con las regulaciones ambientales, para reducir las emisiones de metano, dióxido de carbono y óxido nitroso, así como de nutrientes en el estiércol.



Metabolismo basal

El metabolismo basal equivale a las necesidades para mantener las funciones corporales vitales (ENm) para las funciones de: circulación sanguínea, equilibrio osmótico, hídrico, electroquímico, la respiración, el recambio de tejidos, el mantenimiento del tono muscular y el mantenimiento de la temperatura corporal. Se puede estimar en forma directa midiendo la producción de calor en cámaras metabólicas, o bien en forma indirecta, estimando la producción de calor a partir del intercambio gaseoso en la respiración con isótopos (H^3 y O^{18}).

Los estudios de Kleiber en los años treinta (1932, 1947) mostraron que en la mayoría de los animales la tasa metabólica basal se escalaba a una potencia de ¾ de la masa del animal. Así, por ejemplo, un gato que pesa 100 veces más que un ratón, tiene un metabolismo basal alrededor de 31 veces equivalente. La ecuación general de mamíferos placentados se basa en el peso vivo elevado a 0.75 lo cual se conoce como el peso metabólico, es:

$$ENm = 70\ PV^{0.75}\ kcal/d$$

Donde:

PV: peso vivo kg

Por ejemplo, un tigre de 120 kg tendrá un peso metabólico de 36.25. Sustituyendo en la ecuación el requerimiento sería de:

$$ENm = 70(120)^{0.75} = 70(36.25) = 2537 \text{ kcal/d}$$

Algunos nutriólogos con experiencia en la alimentación de animales de zoológico modifican el coeficiente debido a que el valor de 70 es para condiciones termoneutrales, sin actividad, por lo que proponen los ajustes como los presentados en el cuadro 24.1 (Valdez, 2011).

Cuadro 24.1 Modificaciones sugeridas del metabolismo basal de Klieber para animales de zoológico

Mamíferos	$ENm = 141.4\ PV^{0.75}$
Aves no paseriformes	$ENm = 105\ (PV)^{0.75}$
Reptiles	$ENm = 10.5\ (PV)^{0.75}$
Jirafas y otros ramoneadores	$ENm = 175\ (PV)^{0.75}$
Marsupiales	$ENm = 49\ (PV)^{0.75}$

ENm: energía neta de mantenimiento Mcal/d
Fuente: Valdez (2011).

Por ejemplo, para estimar el requerimiento de ENm del tigre de 120 kg:

$$ENm = 141.4(120)^{0.75} = 141.4(36.25)^{0.75} = 5126 \text{ kcal/d}$$

Este requerimiento es necesario ponerlo en términos de energía metabolizable, para lo cual se asume una eficiencia de utilización de la EN de 0.7, entonces el requerimiento de EM sería:

$$EMm(kcal/d) = ENm/0.7$$

$$EMm = 5126/0.7 = 7323 \text{ kcal/d}$$

Esta información se usa para establecer cuánto alimento se le tiene que ofrecer con base en el contenido de energía. Pero para eso primero es necesario pasar de EB a EM el alimento. Por ejemplo, asumamos que se le alimenta con carne con un contenido de energía bruta de 6407 kcal/kg (base seca) con 33% de materia seca. Se usan las fórmulas de estimación de digestibilidad de felinos, así como las estimaciones de pérdidas de energía en orina:

ED(kcal/d) = EB(0.91)

EM(kcal/d) = ED(0.98)

Sustituyendo los valores del alimento para estimar la concentración de EM (kcal/kg MS):

ED = 6407(0.91) = 5830 Kcal/d

EM = 5830(0.98) = 5713 Kcal/d

El consumo de carne en base seca se estima:

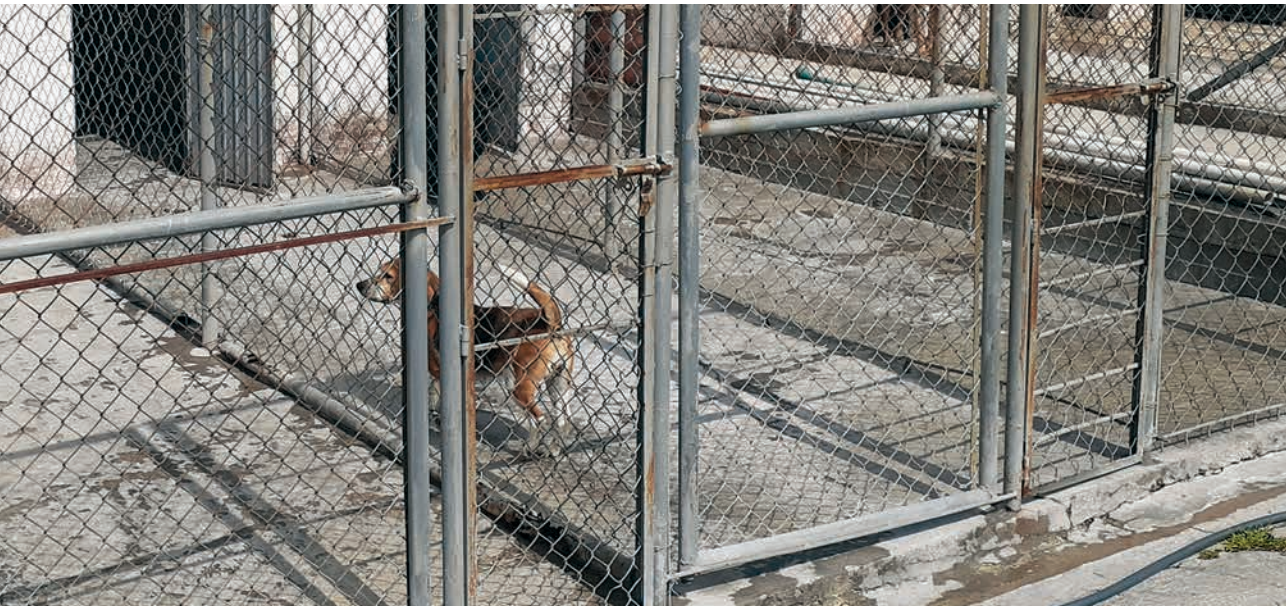
Consumo MS = [EMm(kcal/d)]/[EM alimento Kcal/d]

Consumo de MS de carne = (7323 kcal/d)/(5713 kcal/kg) = 1.281 kg/d

Para estimar el consumo en base fresca, se divide entre la materia seca:

Consumo de carne = (1.281/0.33) = 3.884 kg carne/día

Una forma de ajustar y validar las ecuaciones es midiendo los consumos de los animales y los cambios de peso para poder ajustarlas y definir cuales usar. Por ejemplo, McNab (2000) presenta ecuaciones para carnívoros que deben evaluarse y validarse cuidadosamente, pero representan otro punto de partida para estimar balances energéticos.



Ejercicio 24

Estimación del metabolismo basal en perros

Estime el consumo de alimento que tendría un perro de 30 kg de peso vivo, usando la ecuación de Kleiber sin modificar (ENm=70 (PV)$^{0.75}$ kcal/día), asumiendo que con base en la composición química proximal del concentrado se tiene una EB de 4850 kcal/kg. El alimento tiene un 90 % de materia seca. Compare los resultados obtenidos con la estimación usando la ecuación de NRC (1985) de EM=132 (PV)$^{0.75}$.

Resultados ejercicio 24

Primero se hacen los cálculos con la ecuación de Kleiber y se considera una eficiencia de utilización de la EN a EM de 0.70:

$PV = 30\ kg$

$ENm = 70(PV)^{0.75} = 70(12.82) = 897\ kcal/d$

$EMm = ENm/0.7 = 897/0.7 = 1281\ kcal/d$

Posteriormente, se estima la EM a partir de la EB del alimento, considerando una digestibilidad del 91 % y pérdidas del 2 % en orina.

EB alimento = 4850 kcal/kg

ED(kcal/kg) = EB(0.91)

EM(kcal/kg) = ED(0.98)

ED = 4850(0.91) = 4413 kcal/kg

EM = 4413(0.98) = 4325 kcal/kg

Con la información del requerimiento de EMm y el valor del alimento (Mcal EM/kg), se puede estimar el consumo de materia seca y el de base fresca o húmeda (BH):

Consumo MS = [EMm(kcal/d)]/[EM alimento kcal/d]

Consumo MS = (1281/4325) = 0.296 kg/d

Consumo BH = (0.296/0.9) = 0.329 kg/d

Para comparar con la ecuación del NRC (1985) de EM, se usa la ecuación correspondiente:

$EM(kcal/d) = 132(PV)^{0.75}$

EMm = 132(12.82) = 1692 kcal/d

Se puede ver que es ligeramente superior al estimado con la ecuación de Kleiber, se procede a estimar los consumos de materia seca y en base húmeda:

Consumo MS = (1692/4325) = 0.391 kg/d

Consumo BH = (0.391/0.9) = 0.434 kg/d

En términos prácticos, el valor de requerimiento energético del perro se puede ajustar por actividad.





Estimación de requerimientos de ENm con base en los cambios de peso

Los requerimientos de energía para mantenimiento de mamíferos se pueden estimar si se cuentan con diferentes niveles de consumo de energía por debajo y sobre mantenimiento haciendo una regresión y extrapolando el consumo de energía a mantenimiento (cuando la ganancia de peso es igual a cero; GDP=0). Por ejemplo, para venado cola blanca se ha estimado un requerimiento diario de ED de 158 kcal por kg $PV^{0.75}$ (Robbins, 1993).

Para ejemplificar cómo se hace el cálculo, usaremos datos publicados de un experimento de Suresh *et al.* (2013) donde fueron alimentados con una leguminosa, avena y suplementados con tres niveles de concentrado (0, 420 y 840 g/día). En el artículo proporcionan los pesos, consumo, la digestibilidad de la materia seca y el contenido de energía. En el cuadro 25.1 se presentan valores del artículo y se ejemplifica cómo se calcularía a partir de la información presentada.

Para poder usar un peso promedio, se toman el peso inicial y el final y con base en el promedio de estos, se calcula el peso metabólico para estimar los requerimientos. Con el valor de EB por la digestibilidad de la materia seca se estima la ED y al multiplicar por el consumo de materia seca se estima el consumo de ED (CED), el cual, como se puede apreciar, el calculado es similar al publicado por los autores.

Cuadro 25.1 Información de suplementación de venado *Axis*

	Niveles de concentrado		
	0	420	820
Datos publicados			
Peso inicial	72.7	72.5	71
Peso final	71	72.7	73.5
Cambio de peso kg/d	-0.0292	0.041	0.416
Consumo MS kg/d	1.224	1.613	1.574
Digestibilidad MS %	66.2	69.3	74.9
EB kcal/kg	4.05	3.775	4.44
CMS g/(kg $PV^{0.75}$)	50.1	64.7	62.7
CED kcal/(kg $PV^{0.75}$)	129.8	180.9	195.4
Datos calculados:			
Peso promedio	71.85	72.6	72.25
Peso metabólico	24.68	24.87	24.78
ED kcal/kg	2.681	2.616	3.326
Consumo ED kcal/d	3.282	4.220	5.234
CMS g/(kg $PV^{0.75}$)	49.60	64.85	63.52
CED kcal/(kg $PV_{0.75}$)	132.98	169.66	211.22

EB: energía bruta; CMS: consumo de materia seca; CED: consumo de energía digestible.
Fuente: Suresh *et al.* (2013).

Se hace una regresión lineal usando como variable independiente el consumo de ED (CED) con kcal/(kg $PV^{0.75}$) y los cambios de peso como variable dependiente. La ecuación de regresión es:

$$GPD = -0.84455535 + 0.00576317 \text{ CED kcal/(kg } PV^{0.75})$$

Para estimar el consumo de ED a mantenimiento extrapolamos cuando la GDP es cero y despejamos CED a mantenimiento:

$$0 = -0.84455535 + 0.00576317 \text{ CEDm}$$

$$0.84455535 = 0.00576317 \text{ CEDm}$$

$$\text{CEDm} = 0.84455535/0.00576317$$

$$CEDm = 146.54 \text{ kcal}/(\text{kg } PV^{0.75})$$

Si se usan los valores del artículo publicado, el valor estimado sería de 142.12 kcal de ED/(kg $PV^{0.75}$) por día lo cual sugiere que este ciervo moteado asiático tiene un requerimiento ligeramente inferior al del venado cola blanca.





Ejercicio 25

Estimación de requerimientos de ENm con base en los cambios de peso

Los estudios del conejo de los volcanes mostraron la importancia de zacates en su hábitat por lo que se consideró que formaban la parte esencial de su dieta. Sin embargo, la composición química de estos pastos llevaba a la pregunta biológica de cómo podría ser el principal alimento cuando son de muy baja digestibilidad. En el experimento de Sánchez *et al.* (2013) con teporingos alimentados con diferentes niveles de *Muhlenbergia macroura* observaron que dependiendo del nivel del zacate algunos individuos perdieron peso mientras que otros ganaron de peso. Los estudios de Martínez-García *et al.* (2012) confirmaron que de cuatro sitios estudiados en el Parque Nacional Izta-Popo y Zoquiapan, solo en uno formó parte de la dieta de teporingos la *Muhlenbergia macroura*.

Con la información del cuadro 25.2 estime el requerimiento de energía neta de mantenimiento del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*).

Revisando los valores podemos esperar que las mayores pérdidas de peso se observan cuando el consumo de energía digestible (CED) esta por debajo de las 100 kilocalorías por día y que hay una variación importante en la respuesta cuando se consumen arriba de 100 kcal, por lo que es necesario usar el análisis de regresión para tener la mejor estimación del requerimiento de energía para mantenimiento.

Cuadro 25.2 Resultados obtenidos al alimentar al conejo de los volcanes con diferentes niveles de pasto de baja calidad (*Muhlenbergia macroura*)

Peso inicial g	Peso final g	Cambios de peso g/d	CED kcal/d	Peso promedio kg	$PV^{0.75}$	CED kcal/ (kg $PV^{0.75}$)
497	477	-1.00	103.84	0.487	0.582	178.11
557	586	1.45	117.08	0.571	0.657	178.20
475	499	1.20	103.84	0.487	0.582	213.22
536	474	-3.10	106.70	0.505	0.599	211.30
406	371	-1.75	87.65	0.388	0.492	225.61
509	488	-1.05	105.67	0.498	0.593	211.97
650	605	-2.25	125.58	0.627	0.705	200.12
535	479	-2.80	107.02	0.507	0.600	211.08
599	496	-5.15	113.37	0.547	0.636	207.06
559	559	0.00	115.15	0.559	0.646	205.99
564	571	0.35	116.46	0.567	0.653	205.23
774	686	-4.40	140.67	0.730	0.789	192.69
405	322	-4.15	83.38	0.363	0.468	229.40
556	559	0.15	114.92	0.557	0.645	206.13
601	553	-2.40	117.92	0.577	0.662	204.36
495	396	-4.95	97.13	0.445	0.545	218.02
653	611	-2.10	126.25	0.632	0.708	199.77
482	481	-0.05	102.96	0.481	0.578	213.83
539	552	0.65	113.06	0.545	0.634	207.25
522	502	-1.00	107.81	0.512	0.605	210.56
504	460	-2.20	103.04	0.482	0.578	213.77
578	547	-1.55	115.69	0.562	0.649	205.67
516	567	2.55	112.43	0.541	0.631	207.64

CED: consumo de energía digestible.
Fuente: Sánchez (2009).

Resultados ejercicio 25

La ecuación de ganancia de peso en función del consumo de ED fue:

$$GDP\ g/d = 7.54860861 - 0.04354918\ CED/[kcal(kg\ PV^{0.75})]$$

Para estimar el consumo de ED a mantenimiento:

$$= 7.54860861 - 0.04354918\ CEDm\ [kcal/(kg\ PV^{0.75})]$$

$$7.54860861 = - 0.04354918\ CEDm\ [kcal/(kg\ PV^{0.75})]$$

$$CEDm\ [kcal/(kg\ PV^{0.75})] = (7.54860861/0.04354918)$$

$$CEDm = 173.33\ kcal/(kg\ PV^{0.75})$$

Esta estimación es similar a la de Shipley *et al.* (2006) para el conejo pigmeo (*Brachylagus idahoensis*) de 179.4 kcal de ED por kg de peso metabólico, el cual es el lepórido más pequeño de América del Norte (peso adulto 375 a 500 gramos). Conejos más grandes como el *Sylvilagus floridanus*, de peso adulto de 900 a 1800 gramos, tienen un menor requerimiento de 131.2 kcal ED por kg de $PV^{0.75}$ al día. Los resultados indican que el *Romerolagus diazi* tiene una alta tasa metabólica (Sánchez *et al.*, 2013).



Estimaciones de retención y consumo de energía en conejos

Las ecuaciones de requerimientos de energía para conejos en distintas etapas fisiológicas han sido revisadas extensamente por Xicato y Trocino (2010). A continuación, se describe un ejemplo de cálculo para estimar el requerimiento de conejos en crecimiento con base en la composición de la canal y el contenido de energía del alimento. Primero debemos de calcular el contenido de EM en MJ/kg como se muestra en el cuadro 26.1.

Al realizar la estimación del aporte energético en conejos es importante tener presente las características de la fisiología digestiva del conejo, herbívoro donde el ciego tiene un papel importante y considerar que puede aprovechar alimentos con niveles de fibra para obtener energía (entre 33 y 35% de FDN/kg alimento), que su capacidad de aprovechamientos de lípidos es limitada (<3% grasa/kg alimento) así como el del almidón (entre 14 y 16% de almidón/kg alimento) para mantener un tracto gastrointestinal saludable. En el cuadro 26.1 puede identificar los alimentos que aportan las paredes celulares, almidón y grasa.

Se aprecia que con una proporción menor de aceite se puede incrementar la ED con relación a otros compuestos energéticos (las grasas aportan 2.5 veces más energía que los carbohidratos). Es importante tener presente que los conejos son herbívoros por lo que se recomienda incluir una fuente de forraje como la alfalfa para permitir un funcionamiento adecuado del tracto gastrointestinal.

Cuadro 26.1 Ejemplo de ración suministrada a conejos en crecimiento

	kg/kg	ED kJ/g	Aporte
Maíz grano	0.1158	17.78	2.06
Salvado trigo	0.2506	12.26	3.07
Pasta soya	0.1288	17.74	2.28
Aceite	0.0310	36.41	1.12
Alfalfa	0.4373	8.37	3.66
Fosfato de Ca	0.0100	0	0
Premezcla	0.0010	0	0
BHT	0.00001	0	0
Fungicida	0.00001	0	0
Coccidiostato	0.0005	0	0
Carboximetil celulosa	0.0200	4.18	0.08
NaCl	0.0050	0	0
Total	1.0000		12.298

Fuente: Salas *et al.* (2013).

Consideraremos un peso final de 2.268 kg y una ganancia diaria de peso de 35.20 g/d en un periodo de 42 días de ensayo. Entonces se procede con las ecuaciones recopiladas por Xicato y Trocino (2010), quienes consideran un contenido de la canal de 61 % de agua, 21 % de proteína, 15 % de grasa y 30 % de cenizas. Esos autores consideran una eficiencia de utilización de la energía para síntesis de proteína de 0.40 y para deposición de grasa de 0.65 y presentan las siguientes ecuaciones:

Ganancia de peso vacío(GPV) = 0.87 GDP g

Ganancia en proteína(GP) = 0.21 GDP g/d

Ganancia en grasa(GG) = 0.15 GPV g/d

Energía retenida en proteína(ERP) = GP 23.2 kJ/g

Energía retenida en grasa(ERG) = GG 35.6 kJ/g

Total de energía retenida(ER) = ERP + ERG

Valor calórico de la ganancia(GPV) = ER/GPV

Valor calórico de GDP = ER/GDP

Requerimiento de EDm para mantenimiento = 430 kJ día/(kg $PV^{0.75}$)

EDp para síntesis de proteína = ER/0.4 kJ/d

EDg para disposición de grasa = ER/0.65 kJ/d

Requerimiento de EDc para crecimiento = EDp + EDg kJ/d

Eficiencia de utilización de ED para crecimiento = ER/EDc

Requerimiento de ED = EDm + EDc kJ/d

Con esta información se puede estimar el consumo si se conoce el contenido de ED del alimento, o bien, en caso de que se conozca el consumo, se puede evaluar la ración para ver si el consumo y la conversión observados son similares a los valores esperado con base en su contenido de ED para detectar problemas nutricionales como alguna deficiencia nutricional tal y como se hace con otros animales domésticos (Zinn y Mendoza, 2000).

Consumo de alimento esperado = [Requerimiento ED kJ/d/Contenido de ED alimento kJ/g] = g/d

En el Cuadro 26.2 se muestran los cálculos en detalle de la ración presentada previamente. Es importante entender cada ecuación desde el punto de vista biológico, pues ese tipo de cálculos se puede realizar en cualquier especie, partiendo del conocimiento de la energía retenida (canal), los valores de eficiencia de utilización para mantenimiento y para deposición de grasa y proteína, que al integrarse permiten estimar el consumo esperado (teórico).

Cuadro 26.2 Cálculos para estimar requerimientos de energía en conejos y consumo de alimento

Ganancia peso vacío g/d	0.87x35.20	30.62
Ganancia en proteína g/d	0.21x30.60	6.43
Ganancia en grasa g/d	0.15x30.62	4.59
Peso metabólico al sacrificio	(2.268)0.75	1.848
ER en proteína kJ/d	6.43x23.2	149.21
ER en grasa kJ/d	4.59x35.6	163.54
Total ER kJ/d	149.21+163.54	312.75
Valor calórico de GPV kJ/g	312.75/30.62	10.212
Valor calórico de GDP kJ/g	312.75/35.20	8.88
Requerimientos de ED para crecimiento		
EDm kJ/d	430x1.848	794.64
EDp kJ/d	312.75/0.4	781.87
EDg kJ/d	312.75/0.65	481.16
ED para crecimiento kJ/d	781.87+ 481.16	1263.03
Eficiencia de utilización de ED para crecimiento	312.75/1263.03	0.248
Total ED requerimiento kJ/d	794.64+1263.03	2057.67
Energía en alimento ED kJ/g		12.29
Consumo esperado g/d	2057.67/12.29	167.43
Conversión teórica	167.43/35.20	4.76

ER: energía retenida; GPV: ganancia de peso vacío; GDP: ganancia diaria de peso; ED: energía digestible; EDm: ED para mantenimiento: EDp: ED para síntesis de proteína; EDg: ED para síntesis de grasa.



Ejercicio 26

Estimación de retención de energía en conejos

Un grupo de investigadores (Salas *et al.*, 2013) incorporaron inulina en la ración de conejos, pero no pudieron medir el consumo de alimento. La ración y los valores calóricos se muestran en el cuadro 26.3. Estime el contenido esperado de ED, así como el consumo y la conversión esperada considerando que los conejos tuvieron un peso al sacrificio de 1.938 kg y la ganancia diaria de peso en 42 días fue de 27.39 g/d. Compare los resultados con los del cuadro 26.2 que corresponde a la misma ración sin inulina, para explicar los posibles efectos de la inulina en conejos. La ED de la inulina se estimó con base en su valor calórico (Roberfroid, 1999).

Existen diferentes fuentes naturales de inulina (polímeros complejos con moléculas de fructosa) y se usan en la industria de alimentos balanceados en varias especies por sus propiedades prebióticas en diferentes concentraciones (0.1 a 0.3%). Los efectos prebióticos significativos se manifiestan con cambios en la microbiota, favoreciendo el crecimiento de bacterias benéficas y reduciendo el crecimiento de bacterias cuyo crecimiento puede ser perjudicial. Los cálculos de este ejercicio permiten la evaluación del impacto de aditivos como la inulina que están saliendo al mercado para ir sustituyendo los antibióticos que se usan como promotores de crecimiento y que están siendo prohibidos en muchos países.

Cuadro 26.3 Ración para conejos en crecimiento con inulina

	kg/kg	ED kJ/g
Maíz grano	0.1155	17.79
Salvado trigo	0.2500	12.26
Pasta soya	0.1285	17.75
Aceite	0.0309	36.41
Harina de alfalfa	0.4362	8.37
Fosfato de Ca	0.0100	0.00
Premezcla	0.0010	0.00
Butil hidroxitolueno	0.00001	0.00
Fungicida	0.00001	0.00
Inulina	0.0025	16.32
Coccidiostato	0.0005	0.00
Carboximetil celulosa	0.0199	4.19
NaCl	0.0050	0.00
Total	1.0000	

Resultados ejercicio 26

Primero se estima el contenido de energía de la ración y se puede apreciar que tiene la misma concentración de ED que la del cuadro 26.1 y, sin embargo, la adición de inulina en 0.25% redujo la ganancia de peso de 35.20 a 27.39 g/d.



Cuadro 26.4 Ración para conejos en crecimiento con inulina

	kg/kg	ED kJ/g	Aporte
Maíz grano	0.1155	17.79	2.06
Salvado trigo	0.2500	12.26	3.07
Pasta soya	0.1285	17.75	2.28
Aceite	0.0309	36.41	1.12
Harina de alfalfa	0.4362	8.37	3.65
Fosfato de Ca	0.0100	0.00	0.00
Premezcla	0.0010	0.00	0.00
Butil hidroxitolueno	0.00001	0.00	0.00
Fungicida	0.00001	0.00	0.00
Inulina	0.0025	16.32	0.04
Coccidiostato	0.0005	0.00	0.00
Carboximetil celulosa	0.0199	4.19	0.08
NaCl	0.0050	0.00	0.00
Total	1.0000		12.30

Fuente: Salas *et al.* (2013).

Aplicando las ecuaciones (cuadro 26.5) se estiman los requerimientos, así como el consumo y conversión esperada. Los resultados indican que la inulina puede reducir el consumo de alimento aún con la misma concentración de ED, lo cual afecta negativamente la conversión alimenticia. En el cuadro 26.6 se comparan las dos raciones para ver los efectos de la inulina.

Estos resultados no eran esperados, dado que hay reportes de que la inulina mejora las condiciones microbiológicas del tracto gastrointestinal de mamíferos considerándose prebióticos (Flickinger y Fahey, 2002); en un experimento con conejos infectados experimentalmente con *Escherichia coli*, los oligosacáridos redujeron las diarreas, pero la respuesta en ganancia no fue afectada (Morisse *et al.*, 1993).

La inulina es usada en algunos alimentos balanceados en cantidades pequeñas debido a que puede promover una microbiota saludable con presencia de Bifidobacterias, sin embargo es importante caracterizar la fuente de inulina y considerar la fisiología digestiva de la especie donde se quiere incluir para tratar de obtener los mayores beneficios de estos ingredientes funcionales.

Cuadro 26.5 Cálculos para estimar requerimientos de energía, consumo y conversión en conejos con inulina en la dieta

Ganancia peso vacío g/d	0.87x27.39	23.83
Ganancia en proteína g/d	0.21x23.83	5.00
Ganancia en grasa g/d	0.15x23.83	3.57
Peso metabólico al sacrificio	(1.938)0.75	1.643
ER en proteína kJ/d	5.0x23.2	116.1
ER en grasa kJ/d	3.57x35.6	127.26
Total ER kJ/d	116.1+127.26	243.37
Valor calórico de GPV kJ/g	243.37/23.83	10.212
Valor calórico de GDP kJ/g	243.37/27.39	8.88
Requerimientos de ED para crecimiento		
EDm kJ/d	430x1.643	706.3
EDp kJ/d	243.37/0.4	608.43
EDg kJ/d	243.37/0.65	374.42
ED para crecimiento kJ/d	608.36+374.37	982.73
Eficiencia de utilización de ED para crecimiento	243.37/486.05	0.248
Total ED requerimiento kJ/d	706.3+982.73	1689.03
Energía en alimento ED kJ/g		12.3
Consumo esperado g/d	1689.03/12.30	137.32
Conversión teórica	137.32/27.39	5.01

ER: energía retenida; GPV: ganancia de peso vacío; GDP: ganancia diaria de peso; ED: energía digestible; EDm: ED para mantenimiento: EDp: ED para síntesis de proteína; EDg: ED para síntesis de grasa.

Se sugiere usar hojas de cálculo de *Excel* para integrar las ecuaciones presentadas en el cuadro 26.5. Es importante que se analice cada ecuación para entender como la fueron deduciendo los autores (Xicato y Trocino, 2010) e ir modificando cuando se tengan valores que puedan mejorar la precisión de la estimación. Por ejemplo, si se tiene el valor exacto de la composición de la canal (proteína y grasa) se podrían modificar los coeficientes de las ecuaciones de ganancia en proteína y grasa para mejorar la estimación.

En el área de nutrición de conejos se han desarrollado pocos modelos de simulación para predicción de ganancia de peso o eficiencia de utilización del alimento en comparación con otras especies. Esto abre la posibilidad de desarrollar nuevos modelos que puedan ser útiles para la cunicultura.

Cuadro 26.6 Comparación de requerimientos de energía, consumo y conversión en conejos con o sin inulina en la ración

	Testigo	Con inulina
Ganancia peso vacío g/d	30.62	23.83
Ganancia en proteína g/d	6.43	5.00
Ganancia en grasa g/d	4.59	3.57
Peso metabólico al sacrificio	1.848	1.643
ER en proteína kJ/d	149.21	116.1
ER en grasa kJ/d	163.54	127.26
Total ER kJ/d	312.75	243.37
Valor calórico de GPV kJ/g	10.212	10.212
Valor calórico de GDP kJ/g	8.88	8.88
Requerimientos de ED para crecimiento		
EDm kJ/d	794.64	706.3
EDp kJ/d	781.87	608.43
E Dg kJ/d	481.16	374.42
ED para crecimiento kJ/d	1263.03	982.73
Eficiencia de utilización de ED para crecimiento	0.248	0.248
Total ED requerimiento kJ/d	2057.67	1689.03
Energía en alimento ED kJ/g	12.29	12.3
Consumo esperado g/d	167.43	137.32
Conversión teórica	4.76	5.01

ER: energía retenida; GPV: ganancia de peso vacío; GDP: ganancia diaria de peso; ED: energía digestible; EDm: ED para mantenimiento: EDp: ED para síntesis de proteína; EDg: ED para síntesis de grasa.

Los modelos matemáticos de nutrición se pueden utilizar para integrar los conocimientos de requerimientos, calidad de los alimentos, consumo, digestión y la producción de carne (o leche), y constituyen herramientas valiosas para estimar cambios de escenarios en cada unidad, lo que aporta información para el proceso de toma de decisiones que mejoren la rentabilidad en las unidades de producción.



Uso de análisis infrarrojo para estimar composición de alimentos

Existen dos métodos principales para el análisis de los concentrados y forrajes: el basado en reflectancia al infrarrojo cercano (por sus siglas en inglés conocido como NIR) y el análisis químico húmedo (proximal y Van Soest). En el análisis del NIR, la muestra se muele y usa el analizador NIR, donde se expone el alimento a la energía de infrarrojo cercano. La energía o la luz que se refleja es igualado por el instrumento calibrado con la base de datos de muestras conocidas analizadas con química húmeda previamente. Con la computadora del equipo se asignan los valores a los diversos nutrientes de la muestra y se obtiene la estimación de nutrientes de la muestra por regresión (Cheng *et al*., 2001).

El equipo NIR (espectrofotómetro cercano al infrarrojo) es un instrumento que se usa en nutrición animal para análisis rápidos útiles en la labor actual en la consultoría y análisis de recursos alimenticios. El uso adecuado requiere de un desarrollo de bases de datos con análisis realizados en forma correcta, por grupos de alimentos, así como una calibración correcta del equipo (Bruno-Soares *et al*., 1998). Muchos profesionistas dedicados a la nutrición animal no realizan análisis bromatológicos en su actividad profesional, pero si toman decisiones sobre la formulación de raciones, selección de alimentos y programas de alimentación, por lo que el analizador NIR ayuda en su formación analítica en los procesos de producción animal.

El potencial del equipo ha mostrado nuevas aplicaciones, así no solo se puede obtener la composición química del alimento, también se ha usado para estimar la concentración de aminoácidos, el contenido de energía de alimentos y la composición de dieta de herbívoros en pastoreo (Lyons *et al.*, 1993) y forrajes (Shenk y Westerhaus, 1995).

Normalmente en la composición de alimentos balanceados se presenta solo el análisis proximal, aunque el uso del NIR podría ayudar a estimar un mayor contenido de nutrientes (Pérez *et al.*, 2004). El resultado del análisis se debe usar con criterio como cualquier reporte de laboratorio, y siempre está sujeto a verificación por química húmeda en casos necesarios. Para darse una idea de la estimación con NIR, en el cuadro 27.1 se muestra la composición proximal de un alimento comercial para perros, con la información de la etiqueta, la obtenida con el NIR y la de química húmeda. Es importante mencionar que el tiempo de análisis de la muestra en el NIR toma menos de un minuto y que la información de la etiqueta comercial viene referida como concentración mínima de nutrientes.

La referencia debe ser el análisis en base húmeda y se puede apreciar que algunas fracciones, como la proteína y la grasa, se estiman en forma precisa, mientras que en otras existe sobre o subestimación. Esto puede deberse a que la base de datos usada no era una calibración específica para alimentos concentrados para perros. De hecho, el resultado puede variar en función de la calibración usada.

Cuadro 27.1 Comparación de la composición química de alimento para perros (base seca)

Ítem	Etiqueta	NIR	Proximal
Materia seca	88.00	96.06	90.20
Proteína	23.86	28.40	27.12
Grasa cruda	11.36	13.42	15.10
Fibra cruda	4.55	0.20	6.00
Cenizas	12.50	2.55	7.51
ELN	47.73	55.43	44.27

NIR: espectrofotómetro cercano al infrarrojo; ELN: extracto libre de nitrógeno.

Ejercicio 27

Estimación de contenido de energía en alimentos para perros y balance de energía

Para definir la cantidad de alimento que debe proporcionarse a perro se debe de partir de la concentracion de la energía metabolizable del alimento asi como del requerimiento diario de energía (que depende del peso y su actividad). La mayoría de los alimentos balanceados para mascotas no reportan el valor de EM por lo que es importante estimarlo a partir de la composición quimica proximal, aunque sería mucho mejor estimarlo con base en pruebas de digestibilidad *in vivo*. Algunos alimentos presentan valores de energía sin precisar que generalmente representan la concentración de EM.

Se utilizó el alimento comercial para perros (cuadro 27.1), con el cual se alimentó un individuo de raza indefinida, adulto, al cual se le midió el consumo y se pesó en un periodo de 7 semanas (cuadro 27.1). El perro se mantuvo en un espacio de 2 m^2. Se colectaron excretas y alimento para analizar el contenido de cenizas insolubles en ácido para estimar la digestibilidad durante 5 días después de 12 días de adaptación a la croqueta comercial. El contenido de energía bruta en la bomba adiabática del alimento fue de 4176 kcal/g. La etiqueta del alimento indicaba que contenía granos (maíz, trigo, pasta de soya, gluten de maíz), productos de origen animal (harina de subproductos de pollo, grasa animal), verduras y leguminosas (chícharo y zanahoria deshidratados), minerales, vitaminas y suplementos.

Cuadro 27.1 Información experimental del alimento comercial evaluado y del perro

Análisis de la croqueta comercial	
CIA dieta %	0.30
MS dieta %	90.2
Análisis de heces	
CIA heces %	1.24
MS heces %	22.99
Información del perro	
Consumo de materia seca g/d	165.41
Peso inicial kg	6.2
Peso final kg	6.33
Ganancia de peso g/d	2.65

CIA: cenizas insolubles en ácido.

Estime el contenido de energía bruta con base en el análisis de la etiqueta, al del NIR (espectrofotómetro cercano al infrarrojo) y al proximal y compárelo con el obtenido en la bomba calorimétrica. Considere que los alimentos para perros usan ingredientes de origen animal, por lo que se sugiere usar los siguientes factores (kcal/g): proteína 5.5, grasa 9.0 y carbohidratos 3.9. Calcule la digestibilidad de la materia seca con el marcador interno. Con base en la digestibilidad estime la ED y, considerando una pérdida de 2% de energía en orina, estime el contenido de EM, para cada tipo de estimación de EB (etiqueta, NIR, proximal y con energía obtenida en la bomba calorimétrica). Compare la digestibilidad de la materia seca con el valor reportado por Hodgkinson *et al.* (2008) en alimentos comerciales en perros adultos y compare con sus resultados, explicando biológicamente diferencias o coincidencias. Compare los valores obtenidos de EB y EM estimada con los métodos con los valores medios y el rango reportado por Hodgkinson *et al.* (2008).

De acuerdo con el NRC de perros (1985) para perros adultos con pesos de 10, 20, 30 kg y sin actividad intensa el requerimiento de EM kcal/día, se puede estimar con la ecuación: $EM=132\ PV^{0.75}$, donde PV representa el peso vivo. Estime el requerimiento de EM para mantenimiento, después estime el consumo de alimento (kg/d) requeridos para mantenimiento y compare con el consumo observado. Interprete los resultados. Discuta las posibles ventajas y desventajas de estimar el contenido de EM para alimentos de perros en este ejercicio, en

comparación con la propuesta de AAFCO (2002) *Dogfood Nutrient Profiles*, con la ecuación:

$$EM(kcal/kg\ alimento) = [ED - (PD \times 1.25)] \times 1000$$

Donde:

ED es la energía digestible (kcal/kg)
PD proteína digestible (%)
El 1.25 es un factor de corrección de energía perdida en la orina (1.25 kcal/g PD)

Indique qué análisis adicionales en alimento y heces hubiera requerido para aplicar esta fórmula.

Visite la página de AAFCO (http://www.dogfoodadvisor.com/), ahí puede usar la sección de *Food Calculator* e ingresar los valores obtenidos con su ejercicio (peso del perro y contenido de EM), ingrese el peso vivo en kg ejemplo (6.26), seleccione el grado de actividad (*Typical* para el caso de este ejercicio), e incluya el contenido de EM en cal/g ejemplo 3102, y después seleccione la unidad (cal/kg), entonces obtenga el resultado de kg de alimento requerido al día. Compare con el resultado obtenido.

Resultados ejercicio 27

En el cuadro 27.2 se presenta la estimación de EB con los tres tipos de análisis, donde se aprecia que en todos los casos se sobreestima en relación con el contenido medido con la bomba calorimétrica.

Cuadro 27.2 Estimación de contenido de energía con base en el análisis con bomba calorimétrica

Ítem	Factor	Etiqueta	Aporte	NIR	Aporte	Proximal	Aporte
Proteína	5.5	23.86	1.3123	28.4	1.562	27.12	1.4916
Grasa cruda	9	11.36	1.0224	13.42	1.2078	15.1	1.359
Fibra cruda	3.9	4.55	0.17745	0.2	0.0078	6	0.234
ELN	3.9	47.73	1.86147	55.43	2.16177	44.27	1.72653
			4.37362		4.93937		4.81113
EB medida			4.176		4.176		4.176
Diferencia			0.19762		0.76337		0.63513

NIR: espectrofotómetro cercano al infrarrojo; ELN: extracto libre de nitrógeno.

Usando la ecuación:

$$\text{Dig MS} = 100 - \left[\frac{(100 \times \text{CIA dieta})}{\text{CIA heces}}\right]$$

Se obtiene que el alimento tuvo una digestibilidad de 75.80, la cual es menor a la media reportada por Hodgkinson *et al.* (2008) de 91.4% (rango 90.6-92.2%) de varios alimentos comerciales para perros, incluido el de la marca evaluada en este ejercicio. Las diferencias pueden deberse a los ingredientes usados en la formulación en diferentes países y a la forma de estimar la digestibilidad (marcadores *vs.* recolección total de heces).

Cuadro 27.3 Estimación de ED y EM con base en la digestibilidad del alimento comercial en el perro

	Etiqueta	NIR	Proximal	Bomba
Digestibilidad MS %	75.806	75.806	75.806	75.806
EB Mcal/kg	4.176	4.939	4.811	4.176
ED Mcal/kg	3.166	3.744	3.647	3.166
EM (EDx0.98) Mcal/kg	3.102	3.669	3.574	3.102

NIR: espectrofotómetro cercano al infrarrojo; EB: energía bruta; ED: energía digestible; EM: energía metabolizable.

Los valores reportados de varios alimentos comerciales por de EB por Hodgkinson *et al.* (2008) tuvieron una media de 4.885 Mcal/kg (rango 4.640-5.28 Mcal/kg), con lo que podemos ver que el alimento evaluado en este ejercicio tuvo menos energía (tomando como referencia el valor medido). Esto sugiere que el contenido de grasas pudo ser menor en este alimento. Con relación a la estimación de la EM, Hodgkinson *et al.* (2008) reportan una media de 3.87 Mcal/kg con un rango de 3.178 a 4.405. En este caso, el valor estimado se acerca bastante al reportado en la literatura. La estimación del requerimiento de EM para el perro se muestra a continuación:

Peso vivo kg = 6.265

$PV^{0.75}$ kg = 3.96

$EM = (132 \times PV^{0.75})$ kcal/d

EM = 522.71 kcal/d

EM = 0.522 Mcal/d

Para estimar el consumo de alimento se divide el requerimiento entre el consumo [(Mcal/d)/(Mcal/kg)] y se obtienen los kg/d de alimento para mantenimiento. En el cuadro 27.4 se muestran los resultados indicando que, en todos los casos, la diferencia del consumo observado y el esperado estuvo entre 2 y 3 g/d, lo cual indica que esta forma de estimar EM y consumo de alimento en perros es adecuada.

Cuadro 27.4 Estimación de consumo de alimento para mantenimiento con base en el requerimiento, contenido de EM y tipo de análisis

	Etiqueta	NIR	Proximal	Bomba
Contenido dieta Mcal/kg	3.102	3.669	3.574	3.102
Consumo kg/d	0.168	0.142	0.146	0.168
Consumo observado kg/d	0.165	0.165	0.165	0.165
Diferencia observado - esperado	-0.003	0.023	0.019	-0.003

NIR: espectrofotómetro cercano al infrarrojo.

Usando la página de AAFCO, introduciendo los valores de la página, el requerimiento de EM es de 435 kcal/d (un poco menor al estimado por nuestra propuesta), introduciendo el valor de 3102 cal/kg el consumo de alimento recomendado por el simulador es de 0.140 kg/d que se acerca al observado de 0.165 kg/d. El simulador da la ventaja de modificar la actividad y modificar el consumo de alimento en función del incremento del requerimiento energético.

Es importante destacar que la estimación general energética se basa en la estimación de la digestibilidad del alimento y que no siempre se tiene esta información de los alimentos balanceados usados en animales de compañía. Algunas compañías reportan el contenido de EM. En caso de que no se cuente con esa información se deben revisar los ingredientes de la etiqueta y estimar un valor con base en la literatura reportada.



Ejercicio 28

Estimación de la energía metabolizable de alimentos para perros

Estime el contenido de EM para el alimento comercial de perros (cuadro 27.1) con base en la composición y con ecuaciones usadas en carnívoros. Primero basándose en la composición determinada en análisis proximal con la siguiente ecuación de la AAFCO modificada por Alvarado *et al.* (2008) donde PC (proteína cruda), FC (fibra cruda) y ELN (extracto libre de N) son los compontes del análisis proximal en porcentaje de la materia seca:

$$EM(kcal/kg) = 10[(3.5 \times PC) + (8.5 \times FC) + (3.5 \times ELN)]$$

Segundo, usando las siguientes ecuaciones presentadas por Rueda *et al.* (2013) que coincide con los promedios obtenidos de digestibilidad por Hodgkinson *et al.* (2008) usando la EB medida con la bomba adiabática (4176 kcal/kg).

$$ED(kcal/kg) = EB(0.91)$$

$$EM(kcal/kg) = ED(0.98)$$

Compare los resultados de EM con los obtenidos en el ejercicio previo y discuta las ventajas y desventajas de esta estimación.

Resultados ejercicio 28

Estimación por composición química del análisis proximal:

$$EM(kcal/kg) = 10[(3.5 \times PC) + (8.5 \times FC) + (3.5 \times ELN)]$$

$$EM = 10 \times [(3.5 \times 27.15) + (8.5 \times 15.1) + (3.5 \times 44.27)] = 3008 \text{ Kcal/kg}$$

Estimación por ecuaciones basadas en EB:

$$ED = 0.91\,EB = 3800 \text{ kcal/kg}$$

$$EM = 0.98\,ED = 0.98(3800) = 3724 \text{ kcal/kg}$$

Los resultados de la estimación (cuadro 27.5) de EM basados en digestibilidad con marcadores estuvieron en el orden de 3102 a 3669 kcal/kg. Los resultados indican que es mejor estimar la EM con base en la EB medida, pero en caso de que no se cuente con esta estimación, es posible contar con una aproximación con base en la EN estimada a partir del análisis proximal. La ventaja de estas ecuaciones es que no se requiere de estimaciones de digestibilidad las cuales en términos prácticos no son llevadas a cabo por el profesional, solo se realizan en estudios y trabajos de investigación.

Estimación del comportamiento productivo basado en el Sistema EN California

Con la información de la concentración de ENm y ENg, así como del consumo (medido o estimado), se pueden hacer predicciones de la ganancia de peso con base en el sistema de EN desarrollado en la estación de el Centro en California por Lofgreen y Garret (1968), el cual básicamente considera las diferencias en la eficiencia de la utilización del alimento para mantenimiento y ganancia de peso. El sistema considera que primero se cubren las necesidades de mantenimiento (alimento para necesidades de mantenimiento) y el resto se destina para la deposición de tejido (alimento para ganancia).

Para ejemplificar se usarán datos de un corral de engorda de bovinos. Asúmase que los novillos tuvieron en la engorda un peso promedio de 312 kg, tuvieron una dieta de 70.56% de maíz hojueleado y 12% de forraje (alfalfa y heno de Sudán; Zinn *et al.*, 2000). La concentración de ENm fue de 2.25 Mcal/kg y la ENg de 1.56 Mcal/kg MS. En la engorda, el consumo de MS fue de 6.59 kg/d. Para estimar la GDP se realizan los siguientes cálculos:

$$ENm(Mcal/d) = 0.086\ PV^{0.75}$$

$$ENm = 0.086 * 74.236 = 6.384\ Mcal/d$$

Consumo de materia seca para mantenimiento = (ENm Mcal/d) / (ENm ración Mcal/kg)

$$CMSm = (6.384)/(2.25) = 2.837 \text{ kg/d}$$

Esto significa que, del consumo total del alimento, 2.837 kg se destinaron al mantenimiento del animal, por lo que la diferencia del total, sería el alimento consumido destinado a la ganancia de peso:

$$CMSg(kg/d) = CMS - CMSm$$

$$CMSg = 6.59 - 2.837 = 3.753 \text{ kg/d}$$

Después se estima la energía retenida con base en la ENg de la ración:

$$ER(Mcal/d) = CMSg \times ENg$$

$$ER = 3.753 \times 1.56 = 5.853 \text{ Mcal/d}$$

Posteriormente, se estima la ganancia diaria de peso:

$$GDP(kg/d) = 13.91 \times PV^{-0.6837} \times ER^{0.9116}$$

$$GDP = 13.91 \times (0.0197) \times (5.0066) = 1.373 \text{ kg/d}$$

La ganancia diaria de peso promedio observada en el corral de engorda con esa ración fue de 1.373 kg/d. En caso de que no se conozca el consumo de MS, se puede estimar con la ecuación de Zinn (1988):

$$CMS(kg/d^{-1}) = \frac{[(0.05272 \times g) + (0.0068 \times g^2) \times (W)^{0.75}]}{ENg} + \frac{0.084 \times (W)^{0.75}}{ENm}$$

Donde:

CMS: consumo de materia seca kg/d
g: ganancia diaria de peso kg/d
W: peso vivo kg
ENm: energía neta de mantenimiento en ración Mcal/kg
ENg: energía neta de ganancia en ración Mcal/kg

Sustituyendo:

$$CMS(kg/d^{-1}) = \frac{[(0.05272 \times 1.373) + (0.0068 \times 1.885) \times 74.236]}{1.56} + \frac{0.084 \times 74.236}{2.25}$$

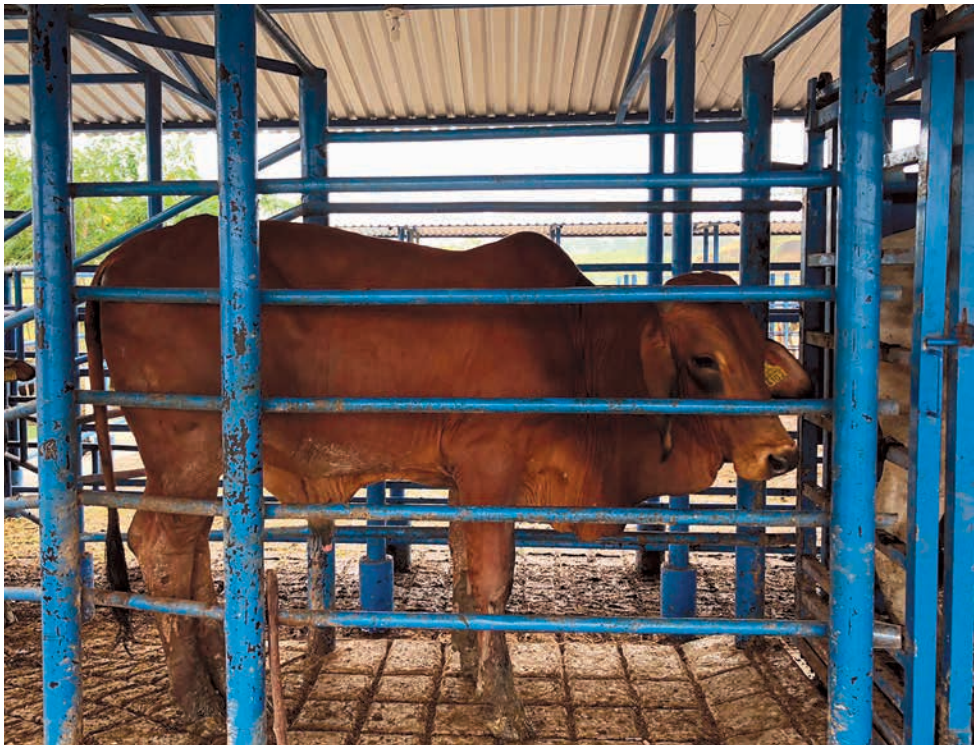
$$CMS(kg/d^{-1}) = \frac{[(0.724) + (0.128) \times 74.236]}{1.56} + \frac{6.235}{2.25}$$

$$CMS(kg/d^{-1}) = 4.05 + 2.77 = 6.82$$

El consumo observado fue de 6.59 kg/d. En caso de que no se conozca el consumo de materia seca, también se puede predecir con otras ecuaciones como la del NRC (1984), basada en la concentración de la ENm es la siguiente:

$$CMS(kg/d) = PV^{0.75} \times (0.1439\ ENm - 0.046\ ENm^2 - 0.01096)$$

El cálculo de estimación de GDP se puede hacer también con el peso ajustado por el peso del tracto gastrointestinal (4% de peso), es decir, con 0.96 x PV. En ese caso, la GDP estimada sería de 1.441 kg/d.



Ejercicio 29

Predicción de ganancia y consumo con base en el Sistema EN California

En el cuadro 29.1 se muestran tres raciones en base húmeda para bovinos con tres niveles de melaza (19.0, 33.9 y 49.0 %). En el cuadro 29.2 se muestra la composición individual de cada ingrediente. Realice los siguientes cálculos: *a)* estime la composición de cada ración en base seca y exprésala en 1 kg; *b)* basándose en la ración por kg estime la concentración de ENm y ENg de cada ración (Mcal/kg); *c)* con la siguiente ecuación, haga la predicción de consumo de materia seca: CMS (kg/d)=$PV^{0.75}$x(0.1439 ENm-0.046 ENm^2-0.01096).

Estime la GDP y la conversión alimenticia de cada ración, calculando primero el requerimiento de ENm (ENm (Mcal/d)=0.086 $PV^{0.75}$), el consumo de materia seca para mantenimiento (CMSm), el consumo para ganancia (CMSg), la energía retenida (ER (Mcal/d)=CMSg x ENg) y la ganancia diaria de peso (GDP (kg/d)=13.91 x $PV^{-0.6837}$x $ER^{0.9116}$). Interprete los efectos biológicos de incrementar los niveles de melaza en la engorda de bovinos e indique qué cambios esperaría en la fermentación ruminal de acuerdo con la literatura. Compare sus resultados con los valores observados en el corral de engorda presentados en el cuadro 29.3.

Cuadro 29.1 Raciones en base húmeda con distintos niveles de melaza, para engorda de bovinos

	Melaza %		
	33.9	49.0	19.0
Peso vivo kg	295	284	345
Ración %			
Paja de trigo	17	13	13
Harinolina	16	19.9	4
Melaza	33.9	49	19
Urea	0.9	0.9	0.9
Sorgo grano	30	15	55
Alfalfa heno	0	0	5.9
Premezcla	2.2	2.2	2.2
Total	100	100	100

Cuadro 29.2 Composición (base seca) de los alimentos de las raciones

	Resultados de laboratorio %				Tablas Mcal/kg	
	MS	PC	DIP	DIVMS	ENm	ENg
Paja de trigo	93.5	3.8	2.0	51.8	0.96	0.15
Harinolina	94.6	48.1	21.9	70.7	1.82	1.18
Melaza	80.5	2.3	2.3	-	1.07	1.03
Urea	100.0	280.0	280.0	-	0.0	0.0
Sorgo grano	91.0	10.3	6.3	87.1	2.04	1.40
Alfalfa, heno	91.0	16.5	10.0	69.0	1.34	0.77
Premezcla	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

MS: materia seca; PC: proteína cruda; DIP: proteína degradable en rumen como porcentaje de la materia seca; DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca; ENm: energía neta de mantenimiento; ENg: energía neta de ganancia.

Actualmente no se usan niveles tan elevados de melaza en las raciones de corrales de engorda debido a que se presentan dificultades para mezclar esas proporciones, además de que su inclusión puede causar problemas, por lo que no se recomienda. Como máximo se puede incluir un 12 a 15% de la materia seca.

Cuadro 29.3 Valores observados en corral de engorda con diferentes niveles de melaza

	% de melaza		
	33.90	49.00	19.00
Consumo BH kg	12.00	11.71	13.14
MS %	88.72	88.11	89.75
CMS kg	10.646	10.317	11.79
GDP kg	0.905	0.889	0.968
Conversión	11.76	11.61	12.18

BH: base húmeda; MS: materia seca; CMS: consumo de materia seca; GDP: ganancia diaria de peso.
Fuente: Zambrano (1986).

Resultados ejercicio 29

Primero se calcula la ración en base seca a 1 kg (cuadros 29.4, 29.5 y 29.6), se ejemplifica cómo calcular para un ingrediente de la primera ración:

$$\text{Ración en base seca} = \frac{\%\ \text{inclusión base húmeda}}{\%\ \text{MS} / 100}$$

$$\text{Ración BS de paja de trigo} = \frac{17}{93.5 / 100} = 15.895\ \%$$

$$1\ \text{kg} = \frac{\%\ \text{BS ingrediente}}{\text{Total de \% BS}}$$

$$1\ \text{kg} = \frac{15.895}{88.7205} = 0.17915\ \text{kg}$$

Es recomendable usar hojas de cálculo de *Excel* para hacer estas operaciones, poniendo atención en las unidades. Se recomienda que primero se revise en detalle el calculo de un ejemplo y después se copien las celdas para hacer las estimaciones de nutrientes en una forma eficiente.

Cuadro 29.4 Cálculos de la ración con 33.9 % de melaza expresados en 1 kg base seca

	% Base húmeda	% Base seca	1 kg
Paja de trigo	17	15.895	0.17915814
Harinolina	16	15.136	0.17060319
Melaza	33.9	27.289	0.30758956
Urea	0.9	0.9	0.01014422
Sorgo grano	30	27.3	0.30770791
Alfalfa heno	0	0	0
Premezcla	2.2	2.2	0.02479697
Total		88.7205	1

Cuadro 29.5 Cálculos de la ración con 49% de melaza expresados en 1 kg base seca

	% Base húmeda	% Base seca	1 kg
Paja de trigo	13	12.155	0.13943154
Harinolina	19.9	18.8254	0.21594854
Melaza	49	39.445	0.45247857
Urea	0.9	0.9	0.01032401
Sorgo grano	15	13.65	0.15658087
Alfalfa heno	0	0	0
Premezcla	2.2	2.2	0.02523648
Total		87.17	1

Cuadro 29.6 Cálculos de la ración con 19% de melaza expresados en 1 kg base seca

	% Base húmeda	% Base seca	1 kg
Paja de trigo	13	12.155	0.13542723
Harinolina	4	3.784	0.04216015
Melaza	19	15.295	0.17041213
Urea	0.9	0.9	0.01002752
Sorgo, grano	55	50.05	0.55764153
Alfalfa, heno	5.9	5.369	0.05981973
Premezcla	2.2	2.2	0.02451172
Total		89.75	1

Posteriormente, se pueden calcular los aportes de ENm y ENg multiplicando el contenido de cada ingrediente por su proporción en 1 kg y sumando el total (cuadros 29.8, 29.9 y 29.10). Por ejemplo, el aporte de ENm de la paja de trigo sería 0.179x0.96=0.171, se hace esta operación para cada alimento y sus dos energías y al final se suma cada columna para conocer los de la ración.

Cuadro 29.7 Cálculos de la concentración de ENm y ENg por kg de la ración con 33.9 % de melaza

	1 kg MS	ENm	ENg	Aportes Mcal/kg	
		Mcal/kg		ENm	ENg
Paja de trigo	0.179	0.96	0.15	0.171	0.026
Harinolina	0.170	1.82	1.18	0.310	0.201
Melaza	0.307	1.07	1.03	0.329	0.316
Urea	0.010	0.0	0.0	0	0
Sorgo, grano	0.307	2.04	1.40	0.627	0.430
Alfalfa, heno	0	1.34	0.77	0	0
Premezcla	0.024	0.0	0.0	0	0
Total	1			1.439	0.97

MS: materia seca; ENm: energía neta de mantenimiento; ENg: energía neta de ganancia.

Cuadro 29.8 Cálculos de la concentración de ENm y ENg por kg de la ración con 49 % de melaza

	1 kg MS	ENm	ENg	Aportes Mcal/kg	
		Mcal/kg		ENm	ENg
Paja de trigo	0.139	0.96	0.15	0.133	0.020
Harinolina	0.216	1.82	1.18	0.393	0.254
Melaza	0.452	1.07	1.03	0.484	0.466
Urea	0.010	0.0	0.0	0	0
Sorgo grano	0.157	2.04	1.40	0.320	0.219
Alfalfa heno	0	1.34	0.77	0	0
Premezcla	0.025	0.0	0.0	0	0
Total	1			1.33	0.96

MS: materia seca; ENm: energía neta de mantenimiento; ENg: energía neta de ganancia.

Cuadro 29.9 Cálculos de la concentración de ENm y ENg por kg de la ración con 19 % de melaza

	1 kg MS	ENm	ENg	Aportes Mcal/kg	
		Mcal/kg		ENm	ENg
Paja de trigo	0.135	0.96	0.15	0.130	0.020
Harinolina	0.042	1.82	1.18	0.076	0.049
Melaza	0.170	1.07	1.03	0.182	0.175
Urea	0.010	0.0	0.0	0	0
Sorgo, grano	0.557	2.04	1.40	1.137	0.780
Alfalfa, heno	0.059	1.34	0.77	0.080	0.046
Premezcla	0.024	0.0	0.0	0	0
Total	1			1.60	1.07

MS: materia seca; ENm: energía neta de mantenimiento; ENg: energía neta de ganancia.

Para poder estimar el consumo de MS, se puede usar la ecuación del NRC (1984) basada en la concentración de la ENm:

$$CMS(kg/d) = PV^{0.75} \times (0.1439\ ENm - 0.046\ ENm^2 - 0.01096)$$

Cuadro 29.10 Estimación de consumo de materia seca con tres niveles de melaza

	% de melaza		
	33.9	49.0	19.0
ENm Mcal/kg	1.439	1.326	1.606
ENg Mcal/kg	1.144	1.198	1.166
Peso vivo kg	295	284	345
Peso metabólico (PV)0.75	71.181	69.181	80.051
CMS kg/d	7.180	6.848	8.125
Consumo % PV	2.43	2.41	2.36

ENm: energía neta de mantenimiento; ENg: energía neta de ganancia; PV: peso vivo; CMS: consumo de materia seca.

El consumo de materia seca es uno de los parámetros de mayor cambio por el nivel de melaza (cuadro 29.10), porque a pesar de que la concentración de energía de las raciones fue similar, se esperaría una ganancia de peso diferente.

Cuadro 29.11 Cálculos necesarios para estimar la ganancia de peso y la conversión en las raciones con distintos niveles de melaza

	% de melaza		
	33.9	49.0	19.0
PV	295	284	345
$PV^{0.75}$	71.181	69.181	80.051
ENm Mcal/d	6.122	5.950	6.884
ENm Mcal/kg	1.439	1.327	1.607
CMSm	4.253	4.447	4.284
CMS kg/d	7.180	6.854	8.125
CMS g	2.926	2.382	3.840
ENg Mcal/kg	0.976	0.961	1.072
ER Mcal	2.856	2.289	4.118
GDP kg	0.742	0.622	0.930
Conversión alimenticia	9.68	11.02	8.73

PV: peso vivo; ENm: energía neta de mantenimiento; ENg: energía neta de ganancia; CMSm: consumo de materia seca para mantenimiento; CMSg: consumo de materia seca para ganancia; ER: energía retenida; GDP: ganancia diaria de peso.

Cuadro 29.12 Valores observados en el corral de engorda de bovinos alimentados con distintos niveles de melaza

	% de melaza		
	33.9	49.0	19.0
Consumo base húmeda kg/d	12	11.71	13.14
MS %	88.72	88.11	89.75
CMS kg	10.646	10.317	11.79
GDP kg	0.905	0.889	0.968
Conversión	11.76	11.61	12.18

MS: materia seca; CMS: consumo de materia seca; GDP: ganancia diaria de peso.
Fuente: Zambrano (1986).

Al incrementar la cantidad de melaza en la ración se redujo el consumo de alimento, lo que repercute en menor ENg para deposición de tejido, por lo que a mayor nivel de melaza, se reduce la ganancia de peso y se empeora la eficiencia de utilización del alimento.

La predicción no fue muy precisa (cuadros 29.11 y 29.12), pero indica que a mayores niveles de melaza se afecta negativamente la ganancia de peso y la conversión alimenticia, tal y como se observó en los animales (Zambrano, 1986). Esto se debe a que la inclusión de melaza favorece una fermentación con mayor concentración de butirato (Martin y Wing, 1966; Ferraro *et al.*, 2009). Además, no es práctico mezclar niveles mayores al 20 % de melaza en ninguna revolvedora y económicamente no es conveniente incrementar la melaza porque se reduce la eficiencia alimenticia.



Estimación del comportamiento productivo de ovinos basado en el Sistema EN California

El procedimiento que se usa para estimar la ganancia de peso (GDP) en ovinos es similar al de bovinos, pero con ecuaciones diferentes.

a) Lo primero que debemos estimar es el consumo de MS, para lo cual existen varias ecuaciones.

Ecuación de Lee *et al.* (2011) para dietas altas en grano:

$$CMS(kg/d) = 0.8381 + 0.0299 \times (PV_{inicial}) - 0.0048 \times (FDN) - 0.02 \times (PC)$$

Donde:

CMS: consumo de materia seca g/d
FDN: FDN en la ración %
PC: proteína cruda en la ración %
$PV_{inicial}$ = peso vivo al inicio de la engorda kg

Ecuación de NRC (1987) para dietas peletizadas:

$$CMS(g/d) = PV^{0.75}(131 - 18.7\,ENm)$$

Donde:

CMS: consumo de materia seca g/d
PV: peso vivo kg
ENm: energía neta de mantenimiento de la ración (Mcal/kg)

Para ejemplificar, considere un peso inicial de 25.28 kg, una ración con 29.27 % de FDN con 13.3 % de PC. Usando la ecuación reportada por Lee *et al.* (2011), el consumo estimado sería:

$$CMS(kg/d) = 0.8381 + 0.0299 \times (PV_{inicial}) - 0.0048 \times (FDN) - 0.02 \times (PC)$$

$$CMS(kg/d) = 0.8381 + 0.0299 \times (25.28) - 0.0048 \times (29.27) - 0.02 \times (13.3)$$

$$CMS(kg/d) = 0.8381 + 0.7559 - 0.1405 - 0.2660$$

$$CMS(kg/d) = 1.5940 - 0.4065$$

$$CMS = 1.187\ kg/d$$

Si no se tiene la información de FDN y PC, pero se tiene la ENm de 1.51 Mcal/kg se podría estimar el consumo con la ecuación de NRC:

$$CMS(g/d) = PV^{0.75}(131 - 18.7\ ENm)$$

$$CMS(g/d) = 11.274(131 - 18.7 \times (1.51))$$

$$CMS(g/d) = 11.274(131 - 28.29)$$

$$CMS = 11.274 \times 102.76 = 1158\ g/d$$

Posteriormente, se estima el requerimiento de ENm para ovinos con la siguiente ecuación de NRC (1985): $ENm\ (Mcal/d) = 0.056\ PV^{0.75}$

Usando como ejemplo datos de un ovino con un peso vivo de 25.28 kg:

$$ENm = 0.056 \times PV^{0.75} = 0.056 \times 11.274 = 0.631\ Mcal/d$$

Se calcula el consumo de materia seca para mantenimiento (CMSm). Para el ejercicio usaremos el valor de consumo de 1.187 kg/d con el valor de ENm de 1.51 Mcal/kgy ENg de 0.902 Mcal/kg. Entonces la cantidad de alimento para mantenimiento:

$$CMSm = (ENm\ Mcal/d)/(ENm\ ración\ Mcal/kg)$$

$$CMSm = (0.631)/(1.51) = 0.417\ kg/d$$

Esto significa que, del consumo total del alimento, 0.417 kg se destinaron al mantenimiento del animal, por lo que la diferencia del total serían los kilogramos de alimento consumido para ganancia de peso:

$$CMSg(kg/d) = CMS - CMSm$$

$$CMSg = 1.187 - 0.417 = 0.770\ kg/d$$

Después se estima la energía retenida con base en la ENg de la ración:

$$ER(Mcal/d) = CMSg \times ENg$$

$$ER = 0.770 \times 0.902 = 0.694\ Mcal/d$$

Posteriormente, se estima la ganancia diaria de peso con una ecuación despejada del NRC (1985), en este caso, de razas de tamaño mediana:

$$GDP = ER/(0.317 \times PV^{0.75})$$

Donde:

ER: energía retenida Mcal/d
PV: peso vivo kg
GDP: ganancia diaria de peso kg/d

Siguiendo con los datos del ejemplo, se estima la ganancia diaria de peso:

$$GDP(kg/d) = 0.694/(0.317 \times 11.274)$$

GDP = 0.694/(3.579) = 0.194 kg/d

Con esta información, se puede estimar la conversión alimenticia:

Conversión = 1.187/0.194 = 6.11

Estos cálculos permiten hacer estimaciones de comportamiento y son la base de muchos modelos de simulación que se encuentran en las redes web o disponibles en forma comercial para rumiantes.



Ejercicio 30

Predicción de ganancia de peso en ovinos basado en el Sistema EN California

Considerando la composición de cuatro alimentos comerciales (cuadro 30.1) y estime el consumo de MS con la ecuación: CMS (g/d)=$PV^{0.75}$ (131-18.7 ENm), para dietas peletizadas que se basan en peso vivo y en la energía neta de mantenimiento de la ración (NRC, 1987). Estime la ganancia de peso y la conversión alimenticia de ovinos con el peso inicial correspondiente.

Cuadro 30.1 Composición de cuatro alimentos comerciales para engorda intensiva de ovinos

Análisis	Alimentos			
	A	B	C	D
PC %	13.30	15.30	17.10	13.90
FDN %	22.43	23.99	32.07	19.30
ENm Mcal/kg	1.510	1.226	1.654	1.290
ENg Mcal/kg	0.902	0.648	1.028	0.706
Peso inicial kg	20.00	20.00	20.00	20.00

PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutro: ENm: energía neta de mantenimiento; ENg: energía neta de ganancia.

Resultados ejercicio 30

En el cuadro 30.2 se presentan los resultados de los cálculos y la ganancia diaria de peso para cada tratamiento, así como los resultados observados en borregos alimentados con esas dietas. Como se puede apreciar, las raciones que mostraron mayor GDP observada, fueron las que tuvieron la mayor GDP esperada. Los resultados indican que la estimación de consumo fue menor a la observada por lo que los valores de la conversión no son biológicamente correctos, pero permiten seleccionar los alimentos con base en el costo, GDP esperada y a su composición.

Cuadro 30.2 Comportamiento esperado de ovinos con cuatro alimentos comerciales para engorda intensiva

Análisis	Alimentos			
	A	B	C	D
Peso inicial	20.00	20.00	20.00	20.00
$PV^{0.75}$	9.457	9.457	9.457	9.457
CMS g/d	971	1022	946	1010
ENm Mcal/d	0.530	0.530	0.530	0.530
CMSm kg/d	0.351	0.432	0.320	0.410
ER Mcal/d	0.876	0.662	0.972	0.713
GDP g/d	292	220	324	237
Conversión alimenticia	3.32	4.62	2.91	4.24
GDP observada	280	216	285	202
CMS observado	1316	1201	1124	1093
Conversión observada	4.70	5.56	3.94	5.41

PV: peso vivo; CMS: consumo de matera seca; ENm: energía neta de mantenimiento; CMSm: consumo de materia seca para mantenimiento; ER: energía retenida; GDP: ganancia diaria de peso.

Es importante que los Médicos Veterinarios Zootecnistas promuevan cambios en las dependencias de gobierno, para que las etiquetas de los alimentos balanceados incluyan las estimaciones de energía formuladas (ED, EM, ENm, ENg, ENl), tal y como se hace en otros países. Es necesario también que se incluya la información del análisis de Van Soest y de los elementos minerales, para hacer una mejor selección al momento de comprar un alimento balanceado.





Formulación de raciones con programación lineal

Para poder formular raciones con esta técnica, es necesario seguir las seis etapas (Trujillo, 1978; 1987):

1. Definición del problema de optimización.
2. Elaboración del modelo (traducción del problema en un sistema de ecuaciones).
3. Solución con ayuda de una computadora (existen muchos programas).
4. Interpretación de la solución matemática.
5. Modificación del modelo.
6. Solución real y recomendaciones prácticas.

A continuación, se presentarán varios ejercicios que irán subiendo de complejidad, con el objetivo de que se capaciten en la formulación de raciones con este procedimiento.

Ejemplo 1. Se desea formular una ración para cerdos con un mínimo de 16% de proteína y no más de 18%, y con al menos 3.2 Mcal de EM/kg. Pero se sabe que no se debe de incluir más de 5% de grasas en la ración para de cerdos. Para esto se cuenta con los alimentos del cuadro 31.1.

Cuadro 31.1 Ingredientes para formular la ración (costo y contenidos de proteína y energía metabolizable)

Análisis	Costo/kg	Proteína cruda %	EM Mcal/kg
Sorgo grano	3.80	7.50	3.34
Maíz grano	4.00	8.00	3.42
Pasta de soya	5.00	45.00	2.02
Aceite vegetal	16.70	0.00	8.70
DL-Metionina	42.10		
L-Triptófano	85.00		
L-Treonina	185.00		
Carbonato de Ca	490.00		
Fosfato dicálcico	950.00		
Vitaminas	700.00		
Premezcla mineral	100.00		
Sal			

EM: energía metabolizable.

1. Se plantea el problema en forma de ecuaciones. Para este problema, solo se usarán los ingredientes que aportan proteína y energía (sorgo, maíz, pasta de soya y aceite vegetal), para los cual se le asigna una identificación a cada uno:

X1	Sorgo grano
X2	Maíz grano
X3	Pasta de soya
X4	Aceite vegetal

El problema de optimización es de minimizar costos. Para eso se define la función objetivo (Z) como la combinación de los alimentos que cumpla con los requerimientos que se definirán en el modelo:

Función objetivo (Z): minimizar el costo del kg de ración

$$Z = 3.80 + 4.0 \times 2 + 5.0 \times 3 + 16.7 \times 4$$

El costo por kg de la ración será el producto de la combinación de lo que nos dé la solución (proporción de cada alimento en un kg) por su costo, sujeto al modelo que se define a continuación.

2. Elaboración del modelo con las restricciones

Para este modelo se tienen 5 restricciones, una de volumen (a 1 kg de alimento), dos de proteína (>16% y <18%), una de EM (>3.2 Mcal/kg) y una para limitar el ingreso a no más de 5% de grasa (que en un kg sería 0.05). Entonces, se plantea el modelo en forma de ecuaciones simultáneas con los signos de igualdad (=) y mayor que (>) y menor que (<) (cuadro 31.2).

Cuadro 31.2 Matriz básica de programación lineal

Volumen	X1	+ X2	+ X3	+ X4	=1
Proteína mínimo	7.5 X1	+ 8.0 X2	+ 45 X3	+ 0.0 X4	>16
Proteína máximo	7.5 X1	+ 8.0 X2	+ 45 X3	+ 0.0 X4	<18
EM mínimo	3.34 X1	+ 3.42 X2	+ 2.02 X3	+ 8.7 X4	>3.2
Grasa máximo	0 X1	+ 0 X2	+ 0 X3	+ X4	<0.05

El modelo se puede poner en un cuadro en forma de matriz para su simplificación (cuadro 31.3).

Cuadro 31.3 Modelo de formulación de ración para cerdos expresado en forma de matriz

	Ingredientes de ración				Requerimiento restricción
	Sorgo	Maíz	P. soya	Aceite	
	X1	*X2*	*X3*	*X4*	
Función objetivo ($-kg1)	3.80	4.00	5.00	16.70	
Restricciones:					
Volumen	1	1	1	1	= 1
Proteína mínimo	7.50	8.00	45.00	0	> 16
Proteína máximo	7.50	8.00	45.00	0	< 18
EM mínimo	3.34	3.42	2.02	8.7	> 3.2
Grasa máximo	0	0	0	1	< 0.05

3. Solución en programa de computadora

Aquí se puede usar algún programa en la red o el solver de *Excel*. Por ejemplo, el *software* de *Lindo* es sencillo (https://www.lindo.com/index.php/ls-downloads), mientras que el *Solver* de *Excel* es un poco más laborioso. En el cuadro 31.4 se presenta la forma de introducir el modelo en *Lindo*.

Cuadro 31.4 Modelo de formulación de ración para cerdos para usarse en el programa *Lindo*

MIN 3.8 XSORG + 4 XMAIZ + 5 XSOYA + 16.7 XACEI
SUBJECT TO
VOL) XSORG + XMAIZ + XSOYA + XACEI = 1
PCMIN) 7.5 XSORG + 8 XMAIZ + 45 XSOYA >=16
PCMAX) 7.5 XSORG + 8 XMAIZ + 45 XSOYA <=18
EM) 3.34 XSORG + XMAIZ + 2.02 XSOYA + 8.7 XACEI >= 3.2
ACEI) XACEI <=0.05
END

La solución de la ración a mínimo costo se muestra en el cuadro 31.5, donde se puede identificar que la ración propuesta cuesta $4.43 por kg, no uso sorgo. Cada kg de ración requiere 0.7636 de maíz grano, 0.2198 de pasta de soya y 0.0166 de aceite vegetal para cumplir las restricciones del modelo. La columna de *reduced cost* es la cantidad que debería reducir el precio del sorgo para incorporarse, por ejemplo, si cambiamos el precio del sorgo a $2.0, entonces reformula sin maíz.

La información de hilera (*row*) *slack* (falta) o surplus (exceso) permite identificar el nivel de nutriente o del alimento restringido. Por ejemplo, las restricciones solicitadas en igualdad como volumen deben de tener valor de cero. La proteína cruda mínimo fue de 16 y no tiene excedente lo que significa que la ración tiene 16% de proteína. Eso se confirma con la resta del valor de 2.0 para la restricción de PC máximo<=18. En este ejemplo es sencillo, pero cuando se tienen muchos nutrientes es importante poder evaluar la ración y definir si se acepta o si se modifica y se reformula nuevamente.

Cuadro 31.5 Solución del problema de programación lineal (ración)

OBJECTIVE FUNCTION VALUE	4.430832	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
XSORG	0.000000	0.070211
XMAIZ	0.763575	0.000000
XSOYA	0.219809	0.000000
XACEI	0.016616	0.000000
NO. ITERATIONS=4		
ROW SLACK OR SURPLUS		
VOL)	0	
PCMIN)	0	
PCMAX)	2	
EM)	0	
ACEI)	0.033384	



Ejercicio 31

Formulación de raciones para cerdos con programación lineal

Utilizando programación lineal, usando el problema planteado en el cuadro 31.6, indique cuál sería la solución del problema, si el costo del grano de sorgo cambia a $3.25 por kg.

Cuadro 31.6 Modelo en forma de matriz para programación lineal

	Ingredientes de ración				Restricciones
	Sorgo	Maíz	P. soya	Aceite	
	X1	*X2*	*X3*	*X4*	
Función objetivo ($/kg)	3.25	4.00	5.00	16.70	
Requerimientos de nutrientes					
Volumen	1	1	1	1	=1
Proteína mínimo	7.50	8.00	45.00	0	>16
Proteína máximo	7.50	8.00	45.00	0	<18
EM mínimo	3.34	3.42	2.02	8.7	>3.2
Grasa máximo	0	0	0	1	<0.05

Es recomendable que, al iniciar el uso de programación lineal, se trabaje con matrices sencillas y conforme el usuario se vaya familiarizando con los resultados, que vaya modificando las restricciones y vaya incluyendo más ecuaciones. No se recomienda hacer matrices complejas para iniciar el uso de este procedimiento.

Resultados ejercicio 31

Cuadro 31.7 Solución del problema de programación lineal (ración)

OBJECTIVE FUNCTION VALUE	4.371181	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
XSORG	0.663614	0.000000
XMAIZ	0.000000	0.448730
XSOYA	0.290872	0.000000
XACEI	0.045513	0.000000
NO. ITERATIONS=6		
ROW SLACK OR SURPLUS		
VOL)	0	
PCMIN)	2.0	
PCMAX)	0	
EM)	0	
ACEI)	0.004487	

El costo del maíz para que entre en la ración debería ser de 4.0-0.448732= 3.5512 $/kg (se conoce como precio sombra). La nueva ración tiene 18% de proteína (PCMAX slack 0 y PCMIN surplus 2.0) debido a que tiene mayor proporción de pasta de soya que la anterior.

Formulación de raciones con el Solver de Excel

Si bien existen muchos programas de formulación de raciones, la mayoría de los estudiantes y profesionales tienen acceso a hojas de cálculo de *Microsoft Office*, por lo que a continuación se dan las principales instrucciones para usar el procedimiento *Solver* para resolver problemas de programación lineal de raciones a mínimo costo descritas por Rosero *et al.* (2011).

Primero se debe de plantear el problema en forma de ecuación, para esto hay que asignarle una identificación a cada ingrediente que se emplee en la dieta.

X1=Ingrediente 1
X2=Ingrediente 2
Xn=Ingrediente n

Se define la Función objetivo o Z, la cual es la información de los costos ($) de los ingredientes para minimizar: Z=($) X1+($) X2+…… +($) Xn.

Se establecen las restricciones del problema, basado en los requerimientos de la especie a la que se pretenda elaborara la ración. (PC, EM, ED, etc.), y en las restricciones de niveles de los alimentos.

Se plantea el modelo en forma de ecuaciones, empleando los datos de los costos, nutrientes y restricciones de cada ingrediente.

Se elabora la matriz de las ecuaciones, para facilitar el procedimiento y revisar que existan ingredientes que aporten niveles mayores y menores al requerimiento para que se pueda encontrar una solución factible. Esta información se puede capturar en *Microsoft Excel* para resolverse con el *Solver*. Para usar el *Solver*, debe instalarse en el botón de inicio, complementos.

La información del cuadro 32.1 corresponde a los alimentos disponibles para una ración de engorda de ovinos y el cuadro 32.2 presenta los requerimientos que se desean formular para la fase de finalización (NRC, 1985) con algunos límites de alimentos sugeridos.

Cuadro 32.1 Ingredientes para la formulación de raciones de ovinos en finalización

Insumo	MS	PC	Ca	P	EM	Costo
	%				Mcal/kg	$
Maíz grano	88	10	0.01	0.2	3.2	3.75
Sorgo grano	89	8.4	0.04	0.29	2.85	3.85
Granza	90	6.5	0.02	0.21	2.78	2.80
Pasta de soya	89	45	0.25	0.6	2.4	7.20
Alfalfa	91	16	1.3	0.3	2.4	6.50
Rastrojo de maíz	89	4.5	.18	0.03	2.0	2.40
Premezcla mineral	100	-	-	-	-	4.80

MS: materia seca; PC: proteína cruda; EM: energía metabolizable.

Las concentraciones sugeridas en el cuadro 32.2 pueden ser modificadas de acuerdo con las características de edad, razas, sexo (castrados, enteros, hembras) y etapas del proceso. Algunos productores hacen la engorda en dos etapas; para corderos recién destetados incrementan el porcentaje de proteína (13 a 15%) y una segunda etapa de finalización (>30 kg peso vivo) hasta la venta, se reduce (12 y 14% de proteína). La EM se puede incrementar de 2.7 a 3.0 Mcal/kg de materia seca con las precauciones de incrementar gradualmente los niveles de grano para evitar acidosis subclínica.

Cuadro 32.2 Concentración de nutrientes recomendadas para ovinos

Volumen	1.0
Proteína cruda máximo %	14.5
Proteína cruda mínimo %	14
EM máximo Mcal/kg	2.6
EM mínimo, Mcal/kg	2.4
Ca máximo %	0.6
Ca mínimo %	0.5
P máximo %	0.28
P mínimo %	0.25
Pasta de soya máximo %	15
P de soya mínimo %	12
Sorgo máximo %	20
Sorgo mínimo %	10
Rastrojo máximo %	40
Rastrojo mínimo %	30
Granza fijo %	10

EM: energía metabolizable.

El siguiente paso, en este caso, es la información de las concentraciones de nutrientes recomendadas para los ovinos (cuadro 32.3 en *Excel*), en los casos que no se cuente con esta información es necesario consultar los requerimientos (PC, EM, ED, Ca, P, etc.) de los animales para los que se desee balancear en las tablas de requerimientos (NRC, INRA, etc.). Esto para generar las restricciones del problema. Posteriormente se debe elaborar la matriz con los datos de las ecuaciones ya realizadas, colocando la función objetivo, además de dividir las restricciones, en los ingredientes (sorgo, pasta de soya, etc.) se debe de realizar una división (% del ingrediente/100), por otra parte, al final de la pantalla, se muestra una fila "% de inclusión a la ración" en la cual se debe de colocar ceros (0), tal como se muestra en el cuadro 32.3.

Es importante para facilitar el uso del *Solver*, que primero se pongan juntas las restricciones por signo. Por ejemplo, primero las que tienen igualdad (=), después las de < y al final las de > (cuadro 32.3).

Realizar las restricciones por separado de los nutrientes e ingredientes, se usa función de *Excel* "sumaproducto". Cada suma producto (ecuación de restricción) se tiene que referir la ecuación de % de inclusión en la ración (que será la

solución final), esto se hace ecuación por ecuación. Por ejemplo, si la línea de % de inclusión de la ración se encuentra en B29:H29 y la ecuación de "proteína máximo" en B18:H18, la suma producto que se pone en la casilla (cuadro 32.4) sería =sumaproducto (B29:H29, B18:H18). Si la restricción de "EM mínimo" se encuentra en B7:H7, la casilla correspondiente sería: sumaproducto (B29:H29, B7:H7).

Cuadro 32.3 Información para incluir en el *Excel* para el *Solver*

	Maíz	Sorgo	Granza	P. soya	Alfalfa	R. de maíz	P. mineral
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
Función objetivo ($)	3.85	3.75	2.8	7.2	6.5	2.4	4.8
Volumen	1	1	1	1	1	1	1
Granza Fijo	0	0	1	0	0	0	0
Proteína máx.	10	8.4	6.5	45	4.5	16	0
EM máx.	3.2	2.85	2.78	2.4	2	2.4	0
Ca máx.	0.01	0.04	0.02	0.25	0.18	1.3	22
P máx.	0.2	0.29	0.21	0.6	0.03	0.3	0
Pasta de soya máx.	0	0	0	1	0	0	0
Sorgo máx.	0	1	0	0	0	0	0
Rastrojo de maíz máx.	0	0	0	0	0	1	0
Proteína mín.	10	8.4	6.5	45	4.5	16	0
EM mín.	3.2	2.85	2.78	2.4	2	2.4	0
Ca mín.	0.01	0.04	0.02	0.25	0.18	1.3	22
P mín.	0.2	0.29	0.21	0.6	0.03	0.3	0
Pasta de soya mín.	0	0	0	1	0	0	0
Sorgo mín.	0	1	0	0	0	0	0
Rastrojo de maíz mín.	0	0	0	0	0	1	0
% inclusión en ración	0	0	0	0	0	0	0

Suponiendo que la línea de costo está en B5:H5, se procede a realizar una celda la cual nombrará "Total $/kg", y se hace la ecuación "sumaproducto" es decir =sumaproductos (% de inclusión a la ración, función objetivo) o =sumapro-

ducto (B29:H29, B5:H5), es aquí donde aparecerá el resultado de costo de la ración después de solucionar el problema.

Cuadro 32.4 Elaboración de cuadro de sumaproducto en *Excel*

Máximos	
Proteína	0<14.5
EM	0<2.6
Ca	0<0.6
P	0<0.28
Pasta de soya	0<0.15
Sorgo	0<0.2
Rastrojo de maíz	0<0.4
Mínimos	
Proteína	0>14
EM	0>2.4
Ca	0>0.5
P	0>0.25
Pasta de soya	0>0.12
Sorgo	0>0.1
Rastrojo de maíz	0>0.3
Fijos	
Volumen	1=1
Granza	0.1=0.1
TOTAL ($/kg)	0.0

Con todas las "sumaproducto" de las restricciones y condiciones del problema establecidos, se selecciona la celda Total ($/kg) y se presiona la función *Solver*, y le aparecerá la pantalla de "Parámetros de *Solver*" en el primer recuadro "Celda objetivo" se debe de confirmar que este la celda de Total ($/kg). Se continúa modificando y llenando la pantalla de "Parámetros de *Solver*" y en la siguiente celda "Valor de la celda objetivo", se debe de seleccionar Mínimo para que el *Solver* trabaje a minimizar. En la celda "Cambios de celdas" se elige la matriz de % de inclusión a la ración.

En la celda de "Restricciones" se agregan en la celda de "Referencia de la celda" se selecciona la matriz que se realizó con las sumaproducto y en la celda "Restricciones" se selecciona la matriz de restricciones y se selecciona el signo

dependiendo del caso (=, > o <). En el caso de la igualdad únicamente hay que elegir el signo (=) y seleccionar las condiciones de igualdad (cuadro 32.5).

Cuadro 32.5 Información que requiere la función *Solver*

Parámetros de *Solver*		
Celda objetivo	$O$27 (Total/kg)	Total ($/kg)
Valor de la celda objetivo		
Mínimo		
Cambiando las celdas:	Estimar	Opciones
$B$29:$H$29		
Sujeta a las restricciones	Agregar	
O13$:$O$19>=$Q$13:$Q$19		
$O22$:O$23=$Q$22:$Q$23		
O10$<=$Q$4:$Q10		

Posteriormente, debe de seleccionar "Opciones" (cuadro 32.5) y aparecerá la pantalla en la cual se activarán las celdas "Adoptar Modelo Lineal" y "Adoptar no Negativos" donde se debe de seleccionar aceptar, y lo regresara a la pantalla de "Parámetros de *Solver*". Finalmente debe de seleccionar la celda "Resolver", para que le aparezca la pantalla de resultados.

La pantalla de "Resultados de *Solver*" debe de aparecer la leyenda "*Solver* ha hallado una solución. Se han satisfecho todas la restricciones y condiciones". Además, podrá observar que en donde se realizaron las sumaproductos ya aparecen valores, estos (máximos, mínimos y fijos) son los que contendrá a ración y en la celda Total ($/kg) aparecerá el costo y por otra parte en la celda % de inclusión a la ración aparecerán los porcentajes de ingredientes que se deben de incluir para una ración con las condiciones y restricciones del problema.

En el cuadro 32.6, se pueden ver en la fila inferior los porcentajes de inclusión de la ración de cada ingrediente y en el cuadro 32.7 se puede ver el costo por kg de ración y se pueden deducir los niveles de nutrientes aportados por la ración.

Una vez que se tiene el modelo en *Solver* se pueden modificar costos, contenidos de nutrientes, niveles en la ración, etcétera y volver a resolver la matriz. Existen algunos programas de formulación que tienen integrado el *Solver* y que pueden ser más sencillos de usar a elección del usuario.

Cuadro 32.6 Solución del problema con *Excel* de *Solver*

	Maíz	Sorgo	Granza	P. soya	Alfalfa	R. maíz	P. mineral
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
Función objetivo = Z ($)	3.85	3.75	2.8	7.2	6.5	2.4	4.8
Volumen	1	1	1	1	1	1	1
Proteína máx.	10	8.4	6.5	45	4.5	16	0
EM máx.	3.2	2.85	2.78	2.4	2	2.4	0
Ca máx.	0.01	0.04	0.02	0.25	0.18	1.3	22
P máx.	0.2	0.29	0.21	0.6	0.03	0.3	0
Pasta de soya máx.	0	0	0	1	0	0	0
Sorgo máx.	0	1	0	0	0	0	0
Rastrojo de maíz máx.	0	0	0	0	0	1	0
Proteína mín.	10	8.4	6.5	45	4.5	16	0
EM mín.	3.2	2.85	2.78	2.4	2	2.4	0
Ca mín.	0.01	0.04	0.02	0.25	0.18	1.3	22
P mín.	0.2	0.29	0.21	0.6	0.03	0.3	0
Pasta de soya mín.	0	0	0	1	0	0	0
Sorgo mín.	0	1	0	0	0	0	0
Rastrojo de maíz mín.	0	0	0	0	0	1	0
Granza Fijo	0	0	1	0	0	0	0
% de inclusión a la ración	0.134432	0.2	0.1	0.12	0.13904	0.3	0.006528576

Cuadro 32.7 Costo y contenido de nutrientes de la solución óptima

Máximos	
Proteína	14.5<14.5
EM	2.564262<2.6
Ca	0.6<0.6
P	0.272058<0.28
Pasta de soya	0.12<0.15
Sorgo	0.2<0.2
Rastrojo de maíz	0.3<0.4
Mínimos	
Proteína	14.5>14
EM	2.564262>2.4
Ca	0.6>0.5
P	0.272058>0.25
Pasta de soya	0.12>0.12
Sorgo	0.2>0.1
Rastrojo de maíz	0.3>0.3
Fijos	
Volumen	1=1
Granza	0.1=0.1
TOTAL ($/kg)	4.066655

Ejercicio 32

Uso de *Solver* para resolver una matriz simple

Utilice el procedimiento de *Solver* de *Excel* para plantear y resolver la matriz presentada en el Cuadro 31.6 y compare sus resultados con los que se obtuvieron con los que se obtuvieron con el programa LINDO (Cuadro 31.7).

Resultados del ejercicio 32

Para usar el *Solver* deberá usar los procedimientos descritos previamente que a continuación se presentan en forma resumida y en el cuadro 32.8 la forma de colocar la información en las celdas del *Excel*.

Cuadro 32.8 Estructura para introducir la información para resolver la matriz con el *Solver* en celdas de *Excel*

	Sorgo	Maíz	P. de soya	Aceite		Suma producto		
	X1	X2	X3	X4		Máximos		
Función objetivo	3.25	4	5	16.7		Grasa	0	<0.05
Volumen	1	1	1	1	=1	Proteína	0	<18
Proteína mínimo	7.5	8	45	0	>16	Mínimos		
EM mínimo	3.34	3.42	2.02	8.7	>3.2	Proteína	0	>16
Proteína máximo	7.5	8	45	0	<18	EM	0	>3.2
Aceite máximo						Fijos		
% de inclusión en la ración	0	0	0	0		Volumen	0	=1

Los pasos son los siguiente:

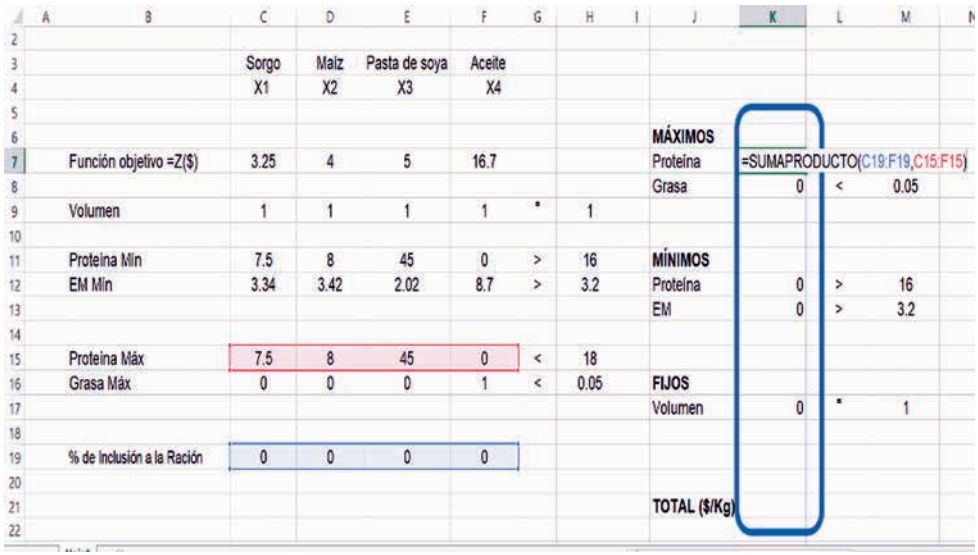
1. Colocar la matriz de forma ordenada, además de "% de inclusión a la ración" en la cual se debe de colocar ceros (0).

		Sorgo	Maíz	Pasta de soya	Aceite		
		X1	X2	X3	X4		
Función objetivo =Z($)		3.25	4	5	16.7		
Volumen		1	1	1	1	=	1
Proteína Mín		7.5	8	45	0	>	16
EM Mín		3.34	3.42	2.02	8.7	>	3.2
Proteína Máx		7.5	8	45	0	<	18
Grasa Máx		0	0	0	1	<	0.05
% de Inclusión a la Ración		0	0	0	0		

2. Realizar las restricciones por separado de los nutrientes e ingredientes, empleando la función de *Excel* "sumaproducto", como se muestra en la figura; para obtener esto en todas restricciones o igualdades se empleará la matriz "% de inclusión a la ración" y el "% de nutrimentos que aportan los ingredientes o la inclusión del ingrediente".

		Sorgo	Maíz	Pasta de soya	Aceite						
		X1	X2	X3	X4						
Función objetivo =Z($)		3.25	4	5	16.7			MÁXIMOS			
								Proteína	=SUMAPRODUCTO(C19:F19,C15:F15)		
								Grasa	0	<	0.05
Volumen		1	1	1	1	=	1				
Proteína Mín		7.5	8	45	0	>	16	MÍNIMOS			
EM Mín		3.34	3.42	2.02	8.7	>	3.2	Proteína	0	>	16
								EM	0	>	3.2
Proteína Máx		7.5	8	45	0	<	18				
Grasa Máx		0	0	0	1	<	0.05	FIJOS			
								Volumen	0	=	1
% de Inclusión a la Ración		0	0	0	0						
								TOTAL ($/Kg)			

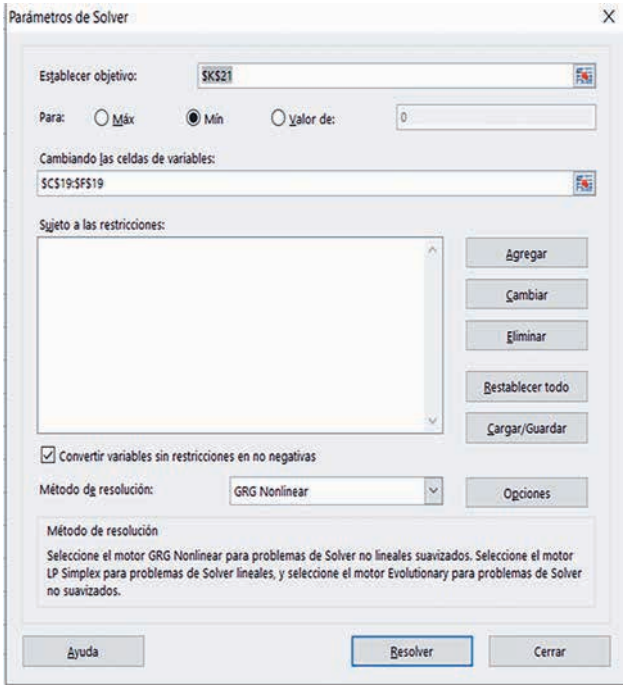
3. Definir una celda la cual nombrará Total $/kg, y se hace la ecuación "sumaproducto" es decir =sumaproductos (% de inclusión a la ración, función objetivo), es aquí donde aparecerá el resultado de costo de la ración.



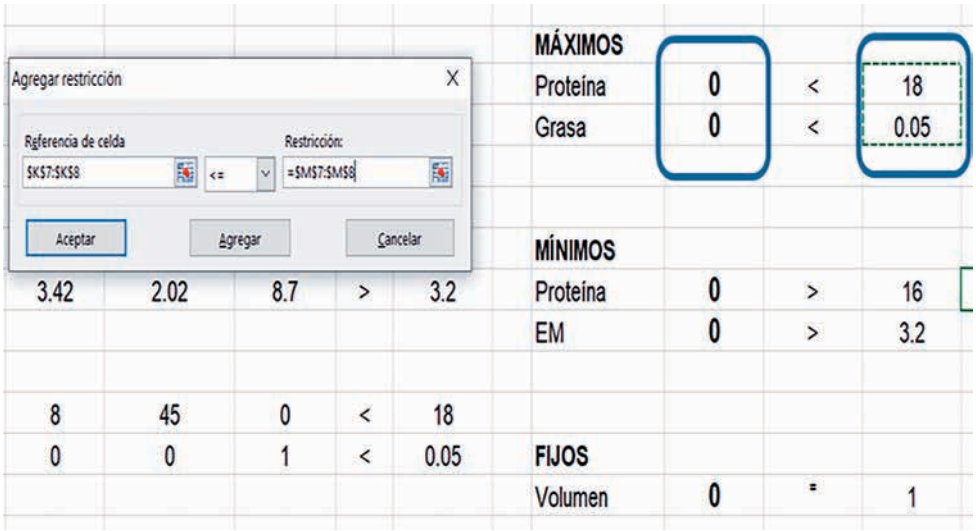
		Sorgo	Maiz	Pasta de soya	Aceite								
		X1	X2	X3	X4								
									MÁXIMOS				
	Función objetivo =Z($)	3.25	4	5	16.7				Proteína	=SUMAPRODUCTO(C19:F19,C15:F15)			
									Grasa	0	<	0.05	
	Volumen	1	1	1	1	=	1						
	Proteína Mín	7.5	8	45	0	>	16		MÍNIMOS				
	EM Mín	3.34	3.42	2.02	8.7	>	3.2		Proteína	0	>	16	
									EM	0	>	3.2	
	Proteína Máx	7.5	8	45	0	<	18						
	Grasa Máx	0	0	0	1	<	0.05		FIJOS				
									Volumen	0	=	1	
	% de inclusión a la Ración	0	0	0	0								
									TOTAL ($/Kg)				

4. Con todas las "sumaproducto" de las restricciones y condiciones del problema se selecciona la celda Total ($/ kg) y se presiona la función *Solver*, y le aparecerá la pantalla de "Parámetros de *Solver*" en el primer recuadro "Establecer objetivo" se debe de confirmar que este la celda de Total ($/ kg).

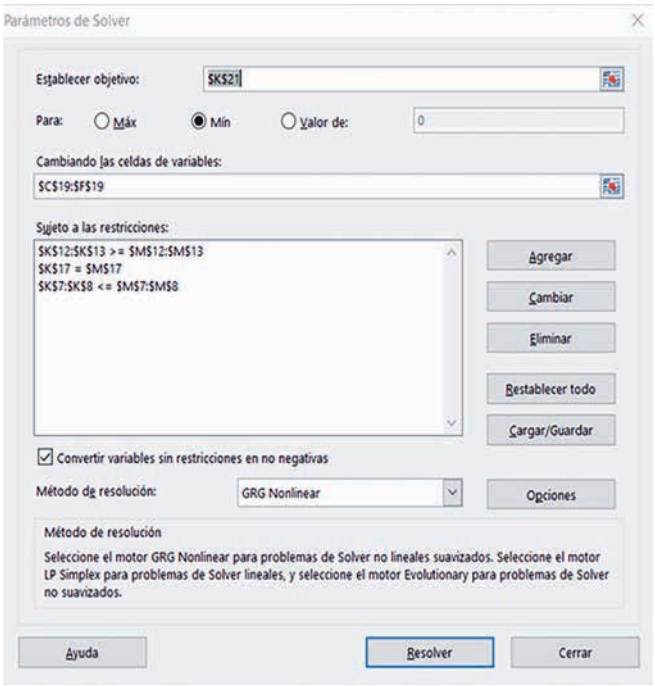
   Se continua modificando y llenando la pantalla de "Parámetros de *Solver*" y en la siguiente celda "Valor de la celda objetivo" se debe de seleccionar Mínimo ya que las raciones se formulan a mínimos costos, en la celda "Cambios de celdas de variables" se elige la matriz de % de inclusión a la ración.



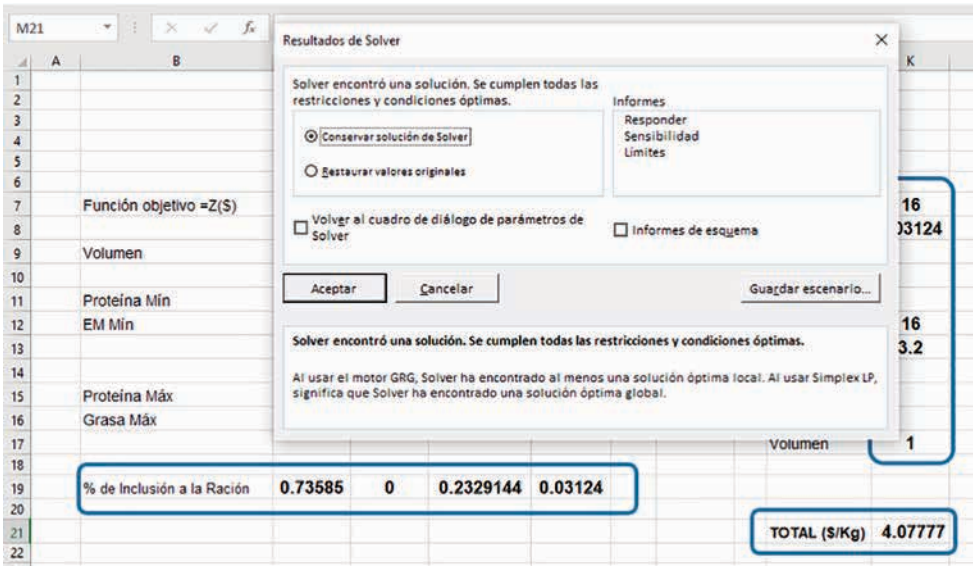
5. En el botón "Agregar" se oprime y a celda de "Agregar restricciones" se agregan en la celda de "Referencia de la celda" se selecciona la matriz que se realizó con las sumaproducto y en la celda "Restricciones" se selecciona la matriz de restricciones y se debe de cambiar el signo dependiendo del caso.



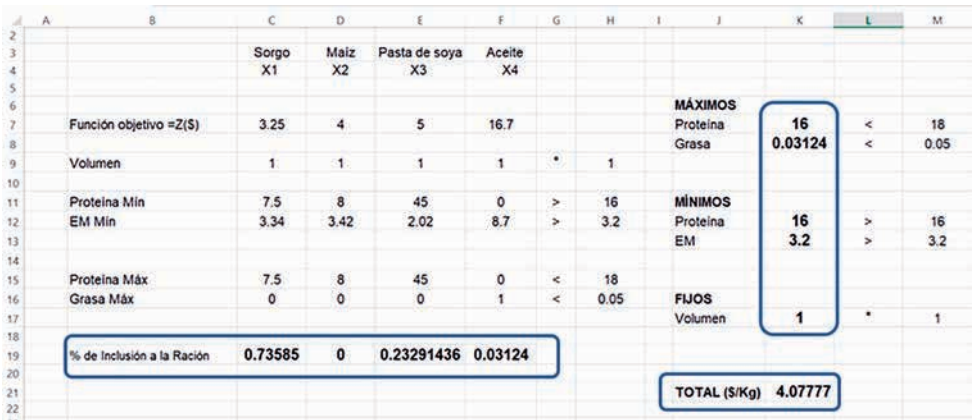
6. En la pantalla de "Parámetros de *Solver*" con todos los datos que se utilizan. Seleccionar "Resolver", y aparecera la pantalla de resultados.



7. En la pantalla de "Resultados de *Solver*" debe de aparecer la leyenda "*Solver* ha hallado una solución. Se han satisfecho todas la restricciones y condiciones". Además podrá observar que en donde se realizaron las sumaproductos ya aparecen valores, estos (máximos, mínimos y fijos) son los que contendrá la ración y en la celda Total ($/kg) aparecerá el costo y por otra parte en la celda % de inclusión a la ración aparecerán los porcentajes de ingredientes que se deben de incluir para una ración con las condiciones y restricciones del problema.



8. Se obtiene la solución y se captura la información.



Los resultados de *Solver* se presentan en el cuadro 32.8. En teoría los resultados deberían ser los mismos, sin embargo, difieren un poco del resultado obtenido con el programa de LINDO. En ambos casos no usa grano de maíz por el costo y usa proporciones similares, pero reduce la pasta de soya con lo que se obtiene una ración similar, 66.36 *vs.* 73.6% de sorgo, 23.3 *vs.* 29.08% pasta de soya y hay una diferencia menor en el aceite vegetal 3.2 *vs.*2.9. Una diferencia es que el *Solver* obtiene una ración más económica con estos cambios 4.07 *vs.* 4.37.

Cuadro 32.8 Resultados de la matriz de programación lineal con el procedimiento *Solver*

Costo del kg de alimento	4.07 $/kg
Ración (1 kg)	
Sorgo	0.736
Maíz	0.00
Pasta de soya	0.233
Aceite vegetal	0.032
Nutrientes:	
Volumen	1.0
Proteína %	16
EM Mcal/kg	3.2



Ejercicio 33

Formulación de raciones para engorda intensiva de ovinos

Un productor de ovinos del estado de Puebla tradicionalmente proporciona la siguiente ración: 41% maíz grano, 41% sorgo grano, 15% pasta de soya, 3% premezcla mineral, la cual ofrece como concentrado y rastrojo de maíz picado *ad libitum*. El productor alimenta el forraje a las 8:00 y 18:00 horas y el concentrado a las 13:00 horas. Con base en esa información, formule nuevas raciones y haga recomendaciones de manejo alimenticio.

La información de la composición, costos y alimentos disponibles se presenta en el cuadro 32.2 y las restricciones basándose en las concentraciones de NRC de ovinos y de límites de ingredientes se presentan en el cuadro 33.1. Formule con programación lineal con *Solver* de *Excel* o con otro *software* las siguientes raciones:

1. Dieta de adaptación
2. Dieta con melaza y urea para engorda intensiva
3. Dieta con melaza sin urea
4. Dietas sin melaza y sin urea
5. Describa las recomendaciones prácticas de manejo de la ración integral, horarios, adaptación, etc., para el productor, incluyendo manejo de mezclado de urea para evitar problemas de intoxicación.

6. Calcule los resultados en base seca y en base húmeda.

Cuadro 33.1 Concentración de nutrientes recomendados para la ración de ovinos

	Dietas			
	Adaptación	Con melaza- urea	Con melaza	Sin melaza - urea
Volumen	1	1	1	1
Proteína máximo %	14.5	14.5	14.5	14.5
Proteína mínimo %	14	14	14	14
EM máximo Mcal/kg	2.6	2.6	2.6	2.6
EM mínimo Mcal/kg	2.4	2.4	2.4	2.4
Ca máximo %	0.6	0.6	0.6	0.6
Ca mínimo %	0.5	0.5	0.5	0.5
P máximo %	0.28	0.28	0.28	0.28
P mínimo %	0.25	0.5	0.25	0.25
P. soya máximo %	15	-	14	15
P. soya mínimo %	12	-	10	10
P. soya fijo %	-	8	-	-
Sorgo máximo %	20	-	20	30
Sorgo mínimo %	10	-	15	25
Sorgo fijo %	-	40	-	-
Rastrojo máximo %	40	-	20	20
Rastrojo mínimo %	30	-	10	15
Rastrojo fijo %	-	-	-	-
Urea máximo %	-	1.5	-	-
Urea mínimo %	-	1.0	-	-
Urea fijo %	-	-	-	-
Melaza máximo %	-	1.2	1.2	-
Melaza mínimo %	-	1.0	0.8	-
Melaza fijo%	-	-	-	-
Maíz máximo %	-	-	15	-
Maíz mínimo, %	-	-	10	-
Forraje fijo %	-	30	-	-
Granza fijo %	10	-	20	10

Resultados ejercicio 33

En los cuadros 33.2 a 33.5, se presentan las raciones formuladas de acuerdo con las restricciones indicadas con programación lineal.

Cuadro 33.2 Ración de adaptación para ovinos

Ingredientes	Base húmeda	Base seca
	%	
Maíz grano	1.85	1.63
Sorgo grano	22.47	20.00
Granza	11.36	10.00
Pasta de soya	16.85	15.00
Alfalfa	25.18	22.91
Rastrojo de maíz	33.71	30.00
Sales minerales	0.46	0.46
Total	111.89	100.00
Composición		
Proteína cruda %		14.26
Energía metabolizable Mcal/kg		2.41
Ca %		0.50
P %		0.25
Costo $/kg		3.65

Cuadro 33.3 Ración con urea y melaza para ovinos

Ingredientes	Base húmeda	Base seca
	%	
Sorgo grano	44.94	40.00
Granza	11.36	10.00
Melaza	13.42	10.00
Pasta de soya	8.99	8.00
Urea	1.01	1.00
Rastrojo de maíz	19.45	12.30
Alfalfa	13.82	17.70
Sales minerales	0.10	0.10
Total	113.90	100.00

Composición		
Proteína cruda %		14.37
Energía Metabolizable Mcal/kg		2.49
Ca %		0.5
P %		0.25
Costo $/kg		3.69

Cuadro 33.4 Ración de finalización sin urea para ovinos

Ingredientes	Base húmeda	Base seca
	%	
Maíz grano	11.36	10.00
Sorgo grano	21.35	19.00
Granza	22.73	20.00
Melaza	10.75	8.00
Pasta de soya	15.73	14.00
Alfalfa	19.89	18.10
Rastrojo de maíz	11.24	10.00
Sales minerales	0.90	0.90
Total	113.94	100.00
Composición		
Proteína cruda, %		14.00
Energía metabolizable Mcal/kg		2.56
Ca %		0.5
P %		0.26
Costos $/kg		3.86

Este tipo de raciones son usadas por productores y aparentemente son similares, pero es posible que sean ligeramente diferentes en el aporte de proteína degradable (DIP) y no degradable en rumen (UIP) y por consecuencia en la proteína metabolizable.

Las posibilidades de formular raciones en rumiantes son muy diversas debido a su capacidad de utilizar alimentos no comestibles para no rumiantes (y humanos) para convertirlos en alimentos de alto valor biológico. Además de cubrir los requerimientos y mejorar la productividad, la formulación de raciones debe de buscar la protección del medio ambiente reduciendo las emisiones

de gases de efecto invernadero y evitando excreciones elevadas de nitrógeno y fósforo.

Cuadro 33.5 Ración de finalización sin melaza y sin urea para ovinos

Ingredientes	Base húmeda	Base seca
	%	
Maíz grano	11.36	10.00
Sorgo grano	33.71	30.00
Granza	11.36	10.00
Pasta de soya	16.85	15.00
Alfalfa	14.89	13.63
Rastrojo de maíz	22.47	20.00
Sales minerales	1.37	1.37
Total	112.10	100.00
Composición		
Proteína cruda %		14.00
Energía metabolizable Mcal/kg		2.54
Ca %		0.56
P %		0.26
Costos $/kg		3.55

El productor debe preparar la dieta seleccionada de acuerdo con las cantidades indicadas en la columna como base húmeda. Si desea ajustarlo a 100 kg o a una tonelada, puede hacer los cálculos correspondientes. Se deja la fórmula en base seca para cualquier aclaración de cómo se formuló. Es recomendable que la dieta se las proporcione a los borregos de forma integral, es decir, que revuelva el concentrado con el forraje en las proporciones que se le recomiendan, en los cuadros de las dietas se le proporcionan en base húmeda (tal cual se le ofrece al animal) y en base seca. El tamaño del molido de forraje es recomendable que sea de aproximadamente 3 a 5 cm de largo. Los horarios de alimentación deben proporcionar en dos horarios y, si fuera posible, dar más comidas sería mejor.

Si los animales provienen de una dieta de forraje, este proceso de adaptación debe durar entre 15 y 20 días, por lo que los animales se deben recibir con un forraje de la mejor calidad posible (heno de alfalfa), durante un periodo de cinco días, posteriormente se debe comenzar con aproximadamente 100 g de concentrado/cordero/día durante 3 días, incrementar a 250 g durante 5 días.

De ahí puede subir el concentrado hasta 450 g/día por 5 días y checar si está consumiendo toda la ración. El siguiente incremento puede ser hasta 650 g/día por 7 días (Sprinkle, 2008).

Las dietas que se le proponen se encuentran balanceadas basándose en los requerimientos de proteína cruda, energía metabolizable, calcio y fósforo, para los borregos que tiene en su engorda, además con los datos de costos de los ingredientes se realizó la estimación del costo del alimento integral. Con relación al uso de urea, debe tenerse un cuidado excesivo con el uso de este compuesto, ya que si no se revuelve bien, o si se pesa mal (y se da en exceso), los animales se pueden intoxicar y causar alta mortalidad. Una opción podría ser que disolviera la cantidad de urea en un poco de agua y que se los aplique en aspersión con una regadera al forraje. Otra opción es diluirla en agua y luego en la melaza que se va a mezclar con el alimento. Si no se tiene control del pesaje de la urea, es mejor no usarla (Mendoza *et al*., 2014a).

La melaza, además de aportar energía, reducirá lo polvoso del alimento. Si la aplicación de la melaza se hace con pala será algo difícil por lo espeso, por lo que se recomienda diluir con algo de agua, o intentarlo en su máquina para revolver cemento, o de preferencia con una enmelazadora. Si no tiene seguridad de diluir y pesar bien la urea, es mejor que use las raciones 2 o 3. Los signos de intoxicación de urea son de tipo nervioso, son rápidos y pueden causar mortalidad. Se tratan con dosificación oral de vinagre, pero lo mejor es prevenir cualquier problema (Mendoza *et al*., 2014a).

La enterotoxemia es una enfermedad fatal, que se presenta particularmente en corderos en engorda con consumos mayores a 350 g diarios de grano. Los cambios repentinos a dietas con más granos predisponen la presencia de esta toxemia. Los principales signos que muestran los animales son torpeza, debilidad y colapso, la cabeza se retrae con frecuencia, con espasmos, coma y muerte. El problema debe de prevenirse con vacunas y haciendo cambios graduales en la incorporación de grano a la dieta. Se recomienda la vacuna de corderos tipo C y toxoide D, con dos aplicaciones con 3 semanas de intervalo, así como la adaptación gradual de la dieta de forraje a concentrados en un periodo de dos a tres semanas (Grotelueschen y Rice, 1986).

Formulación de raciones para engorda intensiva de ovinos con programación lineal

Para formular una ración para engordar ovinos en forma intensiva se siguen los siguientes pasos:

a) Consultar la tabla 15-2 del NRC 2007 (*Nutrient Requirements of Small Ruminants, Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*), donde nos presentan los nutrientes por día y una estimación de consumo (cuadro 34.1).

Es importante poner atención en las unidades y en la descripción de cada columna en las Tablas del NRC, pues la información puede parecer repetitiva, por ejemplo presentan la concentración requerida de EM por kg (ejemplo 2.39 Mcal/kg MS) y el requerimiento diario de EM (2.10 Mcal/d) con un consumo estimado de 0.88 kg/día; si se divide el requerimiento entre el consumo se obtiene la concentración por kg ([2.10/0.88]=2.386 Mcal/kg) que presentan redondeado a dos dígitos (2.39 Mcal/kg).

Cuadro 34.1 Requerimientos de nutrientes para ovinos de 20 kg de peso vivo con una ganancia de peso de 300 g/d

Consumo de materia seca kg/d	0.880
Consumo como % del peso vivo	2.93
TND kg/d	0.58
EM Mcal/d	2.10
ENm Mcal/d	0.29
ENg Mcal/d	0.63
PC con 20 % de UIP g/d	169
PC con 40 % de UIP g/d	162
PC con 60 % de UIP g/d	155
Proteína metabolizable g/d	114
DIP g/d	76
Ca g/d	5.3
P g/d	3.8
Na g/d	0.96

TND: total de nutrientes digeribles; EM: energía metabolizable; ENm: energía neta de mantenimiento; ENg: energía neta de ganancia: PC: proteína cruda; UIP: proteína no degradable en rumen; DIP: proteína degradable en rumen.

b) Para calcular la concentración de nutrientes por kilogramo es necesario dividir los nutrientes por el consumo poniendo atención en las unidades (cuadro 34.2), por ejemplo:

$$\text{TND} = (0.58/0.88) \times 100 = 65.90\%$$

$$\text{EM} = (2.10/0.88) = 2.38 \text{ Mcal/kg MS}$$

$$\text{PM} = 117/0.88 = 129.5 \text{ g/kg MS}$$

$$\text{PC con 20\% de UIP \%} = [0.169/0.880] \times 100 = 19.20\%$$

Es importante notar que los requerimientos de proteína para corderos en la primera etapa de la engorda pueden ser altos debido a que se encuentran en una etapa de crecimiento lineal. Esto en muchas ocasiones es ignorado por los productores, por lo que formulan a concentraciones menores lo que puede resultar en ganancias de peso por debajo del potencial.

Cuadro 34.2 Concentración de nutrientes requerida para formular de ovinos en finalización, con ganancia de 300 g/d

Cantidad 1 kg	1.00
TND %	65.90
EM Mcal/kg	2.38
ENm Mcal/kg	0.32
ENg Mcal/kg	0.71
PC con 20% de UIP %	19.20
PC con 40% de UIP %	18.20
PC con 60% de UIP %	17.60
Proteína Metabolizable, g/kg	129.5
DIP % como % de la MS	8.60
Ca %	0.66
P %	0.43
Na %	0.10

TND: total de nutrientes digeribles; EM: energía metabolizable; ENm: energía neta de mantenimiento; ENg: energía neta de ganancia: PC: proteína cruda; UIP: proteína no degradable en rumen; DIP: proteína degradable en rumen.

c) Se analiza la información antes de elaborar la matriz; por ejemplo, los porcentajes de proteína son muy elevados para una dieta en finalización, por lo que en el modelo puede reducirse a un 12 a 14% de proteína cruda. Otro valor que está muy bajo es la EM, debería tener al menos de 2.8 Mcal/kg, así que se modifica valor para la formulación (Mendoza *et al*., 2014a).

d) Se elabora el cuadro de alimentos con sus nutrientes y costos (cuadro 34.3).

Es importante asegurarse de que los valores usados para el cálculo sean los correctos. Los valores de tablas pueden ser modificados si se conoce la composición química de los alimentos usados para formular la ración.

La identificación de los requerimientos y la formulación de precisión por fases o etapas fisiológicas es la mejor estrategia actual para eficientizar la producción de carne o leche y lograr que se reduzca la excreción de nutrientes en las unidades de producción

Cuadro 34.3 Ingredientes y contenido de nutrientes en base seca

Alimento	$/kg	MS	PC	DIP	EM, Mcal/kg	Ca	P	Na
Sorgo grano	3.00	89	8.9	5.9	2.85	0.04	0.29	0.03
Pulpa de cítricos	1.00	91	6.1	3.0	2.70	1.40	0.10	0.10
Alfalfa heno	3.65	91	15.3	11.0	2.2	1.40	0.20	0.06
Rastrojo de maíz	1.50	90	6.0	2.0	2.0	0.18	0.03	0.0
Pasta de canola	4.50	91	37.8	28.0	2.31	0.68	1.17	0.0
Maíz grano	3.30	87	10.0	6.0	3.2	0.01	0.20	0.01
Pasta de soya	5.00	90	45.0	31.5	2.4	0.25	0.60	0.04
Urea	7.00	100	280.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Carbonato de Ca	0.50	100	0.0	0.0	0.0	38.0	0.0	0.06
Fosfato dicálcico	5.50	100	0.0	0.0	0.0	22.0	18.5	0.08
Fosfato monocálcico	7.25	100	0.0	0.0	0.0	21.58	21.18	0.84
Sal	6.00	99.63	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.3
Premezcla mineral	5.0	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P mín.	0.2	0.29	0.21		0.6	0.03	0.3	0
Pasta de soya mín.	0	0	0		1	0	0	0
Sorgo mín.	0	1	0		0	0	0	0
Rastrojo de maíz mín.	0	0	0		0	0	1	0
% inclusión en ración	0	0	0		0	0	0	0

MS: materia seca; PC: proteína cruda; DIP: proteína degradable en rumen; EM: energía metabolizable.

e) Primero se calcula el costo por kg de materia seca lo cual se debe de hacer cuando la formulación de raciones es para rumiantes, pues los costos deben de incluirse en el modelo de programación lineal por kg de materia seca. Para esto se hace una regla de tres, por ejemplo, en el caso del sorgo, 1 kg cuesta en base húmeda $3.00, pero en realidad se tienen solo 0.890 kg de MS (con 89 % de MS), por lo que el kg de MS cuesta $3.37 (3.00/0.89). También se le asigna una identificación para el modelo (cuadro 34.4).

Cuadro 34.4 Costo por kg de materia seca e identificación

Sorgo grano	3.37	X1
Pulpa de cítricos	1.09	X2
Alfalfa, heno	4.01	X3
Rastrojo de maíz	1.66	X4
Canola	4.94	X5
Maíz grano	3.70	X6
Pasta de soya	5.55	X7
Urea	7.00	X8
Carbonato de Ca	0.50	X9
Fosfato dicálcico	5.50	X10
Fosfato monocálcico	7.25	X11
Sal	6.02	X12
Premezcla mineral	5.00	X13

f) Se definen los niveles máximos de cada ingrediente y los nutrientes a formular (cuadro 34.5).

Existen recomendaciones generales para usar ingredientes y nutrientes, pero siempre existe la posibilidad de que se puedan modificar de acuerdo con la experiencia del responsable o con base en la información científica que se va generando. Por ejemplo, el modelo se podría mejorar incluyendo los niveles de grasa.

En el diseño de la formulación se pueden incluir aditivos, por lo cual es importante revisar la información científica que los respalde, por ejemplo, hay mezclas poliherbales que con concentraciones de 0.1 a 0.6 % de la materia seca tienen una respuesta significativa (Razo *et al.*, 2020; Martínez-Aispuro *et al.*, 2019).

Cuadro 34.5 Restricciones para la elaboración de ración para ovinos en finalización

Ingredientes:	
Forraje mínimo	10 % (alfalfa, heno o rastrojo de maíz) en 1 kg=0.10
Urea máximo	2 %, en 1 kg=0.02
Pulpa de cítricos máximo	15 %, en 1 kg=0.15
Premezcla mineral fija	16 ppm=0.0016%
Nutrientes:	
Proteína mínimo	12 %
Proteína máximo	14 %
DIP mínimo	8.6 %
EM mínimo	2.8 Mcal/kg
Ca mínimo	0.66 %
P mínimo	0.43 %
Na mínimo	0.10 %

g) Se plantea el problema en forma de ecuaciones (cuadros 34.6 y 34.7).

La función objetivo sería la combinación de los alimentos que cumpliera con los requerimientos que se definen en el modelo:

Función objetivo (Z): minimizar el costo del kg de ración

$$Z = 3.37\,X1 + 1.09\,X2 + 4.01\,X3 + + 1.66\,X4 + 4.94\,X5 + 3.70\,X6 +$$

$$5.55\,X7 + 7.0\,X8 + 0.5\,X9 + 5.50\,X10 + 7.25\,X11 + 6.02\,X12 + 5.00\,X13$$

Entonces, el costo por kg de la ración será el producto de la combinación de lo que nos de la solución (proporción de cada alimento en un kg) por su costo.

h) En el cuadro 34.8 se presenta el modelo para resolver con el software LINDO.

Cuadro 34.6. Modelo para formular ración de finalización para ovinos en forma de ecuaciones

Volumen	X1+X2+X3+X4+X5+X6+X7+X8+X9+X10+X11+X12+X13	= *1*
Proteína mín.	8.9 X1+6.1X2+15.3 X3+6.0 X4+37.8 X5+10 X6+45 X7+280 X8+0 X9+0 X10+0 X11+0 X12+0 X13	> *12*
Proteína máx.	8.9 X1+6.1X2+15.3 X3+6.0 X4+37.8 X5+10 X6+45 X7+280 X8+0 X9+0 X10+0 X11+0 X12+0 X13	< *14*
DIP mín.	5.9 X1+3.0 X2+11.0 X3+2.0 X4+28.0 X5+6.0 X6+31.5 X7+280 X8+0 X9+0 X10+0 X11+0 X12+0 X13	> *8.6*
EM mín.	2.85 X1+2.7 X2+2.2 X3+2.0 X4+2.31 X5+3.2 X6+2.4 X7+0 X8+0 X9+0 X10+0 X11+0 X12+0 X13	> *2.8*
Ca mín.	0.04 X1+1.4 X2+1.4 X3+0.18 X4+0.68 X5+0.01 X6+0.25 X7+0 X8+38 X9+22 X10+21.58 X11+0 X12+0X13	> *0.66*
P mín.	0.29 X1+0.1 X2+0.2 X3+0.03 X4+1.17 X5+0.20 X6+0.60 X7+0 X8+0 X9+18.5 X10+21.18 X11+0 X12+0 X13	> *0.43*
Na mín.	0.03 X1+0.1 X2+0.06 X3+0 X4+0 X5+0.01 X6+0.04 X7+0 X8+0.06 X9+0.08 X10+0.84 X11+39.3 X12+0 X13	> *0.10*
Premezcla fija	0 X1+0 X2+0 X3+0 X4+0 X5+0 X6+0 X7+0 X8+0 X9+0 X10+0 X11+0 X12+1 X13	= *0.0016*
Urea máx.	0 X1+0 X2+0 X3+0 X4+05+0 X6+0 X7+1 X8+0 X9+0 X10+0 X11+0 X12+0 X13	< *0.02*
P. cítricos máx.	0 X1+1 X2+0 X3+0 X4+0 X5+0 X6+0 X7+0 X8+0 X9+0 X10+0 X11+0 X12+0 X13	< *0.15*
Forraje mín.	0 X1+0 X2+1 X3+1 X4+0 X5+0 X6+0 X7+0 X8+0 X9+0 X10+0 X11+0 X12+0 X13	> *0.10*

Una recomendación que se hace antes de resolver la matriz de programación lineal, es revisar que en cada ecuación se tengan ingredientes con valores mayores y menores que en los requerimientos, para que se puedan dar las combinaciones de solución de cada ecuación.

En caso de que no se obtenga solución factible se recomienda abrir los rangos de las restricciones de requerimientos donde biológicamente es factible, así como los niveles de ingredientes para lograr una solución óptima y ajustarla gradualmente hasta la ración final que cumpla con los criterios biológicos y económicos. La información de análisis de sensibilidad que proporcionan algunos programas es de utilidad para saber hasta donde se pueden modificar las restricciones.

Cuadro 34.7 Modelo en forma de matrices para formular ración de finalización para ovinos

	Sorgo	P. cítrico	Alfalfa	Rastrojo	Canola	Maíz	P. soya	Urea	Carbonato Ca	Fosfato	Fosfato monocálcico	Sal	Premezcla	
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	
Volumen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	= 1
Proteína mín.	8.9	6.1	15.3	6.0	37.8	10	45	280	0	0	0	0	0	> 12
Proteína máx.	8.9	6.1	15.3	6.0	37.8	10	45	280	0	0	0	0	0	< 14
DIP mí	5.9	3.0	11.0	2.0	28.0	6.0	31.5	280	0	0	0	0	0	> 8.6
EM mín.	2.85	2.7	2.2	2.0	2.31	3.2	2.4	0	0	0	0	0	0	> 2.8
Ca mín.	0.04	1.4	1.4	0.18	0.68	0.01	0.25	0	38	22	21.58	0	0	> 0.66
P mín.	0.29	0.1	0.2	0.03	1.17	0.20	0.60	0	0	18.5	21.18	0	0	> 0.43
Na mín.	0.03	0.1	0.06	0	0	0.01	0.04	0	0.06	0.08	0.84	39.3	0	> 0.10
Premezcla fija	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	= 0.0016
Urea máx.	0	0	0	0		0	0	1	0	0	0	0	0	< 0.02
P. cítricos máx.	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	< 0.15
Forraje mín.	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	> 0.10

Cuadro 34.8. Modelo de finalización de ovinos para programa LINDO

MIN 3.37X1+1.09X2+4.01X3+1.66X4+4.94X5+3.70X6+5.55X7+7.0X8+0.5X9+5.50X10+7.25X11+6.02X12+5.00X13
SUBJECT TO
VOL) X1+X2+X3+X4+X5+X6+X7+X8+X9+X10+X11+X12+X13=1
PCMIN) 8.9X1+6.1X2+15.3X3+6.0X4+37.8X5+10X6+45X7+280X8+0X9+0X10+0X11+0X12+0X13>=12
PCMAX) 8.9X1+6.1X2+15.3X3+6.0X4+37.8X5+10 X6+45X7+280X8+0X9+0X10+0X11+0X12+0X13<=14
DIPMIN) 5.9X1+3.0X2+11.0X3+2.0X4+28.0X5+6.0X6+31.5X7+280X8+0X9+0X10+0X11+0X12+0X13>=8.6
EMMIN) 2.85X1+2.7X2+2.2X3+2.0X4+2.31X5+3.2X6+2.4X7+0 X8+0X9+0X10+0X11+0X12+0X13>=2.8
CaMIN) 0.04X1+1.4X2+1.4X3+0.18X4+0.68 X5+0.01X6+0.25X7+0X8+38X9+22X10+21.58X11+0X12+0X13>=0.66
PMIN) 0.29X1+0.1X2+0.2X3+0.03X4+1.17X5+0.20X6+0.60X7+0X8+0X9+18.5X10+21.18X11+0X12+0X13>=0.43
NaMIN) 0.03X1+0.1X2+0.06X3+0X4+0X5+0.01X6+0.04X7+0X8+0.06X9+0.08X10+0.84X11+39.3X12+0X13>=0.10
PREM) 1X13=0.0016
UREAMAX) 1X8<=0.02
CITRMAX) 1X2<=0.15
FORRAJEMIN) 1X3+1X4>=0.10
END

Los resultados de la formulación se muestran en el cuadro 34.9, donde se puede apreciar que con 17.7 % de rastrojo se cumple el requisito de forraje mínimo, se limita el uso de pulpa de cítricos y se incluye urea como fuente de N, y el grano del maíz es el principal ingrediente que aporta energía. En la columna de REDUCED COST, se puede ver lo que debe reducirse el valor para que puedan incluirse los alimentos que no fueron incluidos.

Cuadro 34.9 Resultados de la formulación

OBJECTIVE FUNCTION VALUE	1)	3.02	
	VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
Sorgo	X1	0	0.18497
Pulpa de cítricos	X2	0.15	0
Alfalfa heno	X3	0	1.633237
Rastrojo de maíz	X4	0.177498	0
Pasta de canola	X5	0	1.633237
Maíz	X6	0.633237	0
Pasta de soya	X7	0	2.174876
Urea	X8	0.014179	0
Carbonato de Ca	X9	0.002003	0
Fosfato dicálcico	X10	0.015253	0
Fosfato monocálcico	X11	0	0.77879
Sal	X12	0.001967	0
Premezcla mineral		0.0016	0

En el cuadro 34.10 se presenta el análisis de nutrientes en exceso o en el límite para interpretar la concentración de nutrientes de la ración.

Cuadro 34.10 Nutrientes de la ración formulada

Nutriente	Slack or surplus	Nivel
VOL)	0	1
PCMIN)	0.324997	12.324997
PCMAX)	1.677301	12.322699
DIPMIN)	0	8.6
EMMIN)	0	2.8
CAMIN)	0	0.66
PMIN)	0	0.43
NAMIN)	0	0.1

El nivel de forraje es seguro para prevenir acidosis, así que es una ración adecuada para la engorda intensiva de ovinos y el nivel de grano permite esperar una buena ganancia de peso y conversión alimenticia (Castro, 2014). Finalmente se calcula la ración y el costo en base húmeda (cuadro 34.11).

Cuadro 34.11 Cálculo de la ración en base húmeda y costo

	% Ración base seca	kg/kg	División	Ración base húmeda kg	$/kg	Costo
	A	B	C=A/B	D=C/(A/B)	D	CxD
Pulpa de cítrico	0.15	0.89	0.1685	0.14936	1	0.1493647
Rastrojo de maíz	0.1774	0.9	0.1971	0.17469	1.5	0.26202883
Maíz grano	0.6332	0.87	0.7278	0.64501	3.3	2.12854241
Urea	0.0141	1	0.0141	0.01250	7	0.08747095
Sal	0.002	0.996	0.0020	0.00177958	6	0.01067748
Fosfato dicálcico	0.0152	1	0.0152	0.0134707	5.5	0.07408887
Carbonato de Ca	0.002	1	0.002	0.00177246	0.5	0.00088623
Premezcla mineral	0.0016	1	0.0016	0.00141797	5	0.00708984
Total			1.1284	1		2.72014931



Ejercicio 34

Formulación de raciones para engorda intensiva de ovinos

La programación lineal permite la formulación de todos los nutrientes. Mendoza *et al.* (2014) resumen las recomendaciones de varios experimentos y de literatura de varias universidades y presentan los nutrientes recomendados para dietas integrales de finalización de ovinos con dietas altas en grano (cuadro 34.12).

Considere los alimentos y costos de los cuadros 34.13 y 34.14 formule con programación lineal una ración para finalización de ovinos que cumpla con todos los nutrientes del cuadro 34.12. Tenga presente que no siempre la primera ración más económica es la biológicamente más adecuada. Estime el contenido de ENm y ENg y calcule la ganancia diaria de peso y el consumo esperado de un cordero con un peso vivo de 20 kg con la ración formulada. Realice una interpretación biológica de la ración.

En teoría a mayor concentración de energía en la ración se obtendrá mayor ganancia de peso, pero debe considerarse que hay límites biológicos y al aumentar el grano se puede presentar acidosis subclínica (Hernández *et al.*, 2017a) y algunos ingredientes lipídicos como el aceite de pescado también muestran una respuesta cuadrática (Hernández *et al.*, 2017b) en raciones de finalización.

Cuadro 34.12 Recomendaciones para formular raciones de finalización (base seca)

EM Mcal/kg	2.7 -2.9
Proteína cruda %	12-14
Extracto etéreo %	< 5.0
Sodio %	0.19-0.39
Calcio %	0.60
Fósforo %	0.30
Magnesio %	0.2-0.25
Potasio %	0.5-0.9
Azufre %	0.15-.2
Manganeso ppm	42-53
Hierro ppm	50-100
Cobre ppm	5-8
Molibdeno ppm	0.5
Yodo ppm	0.1-1.0
Selenio ppm	0.3-0.5
Selenio orgánico ppm	0.3
Zinc ppm	50-65
Cobalto ppm	0.1-0.8
Cr orgánico	0.04-.25
Vitamina E UI/kg	15-50
Vitamina D UI/kg	300-3000
Vitamina A UI/kg	1000-5000
Relación Ca:P	2:1
Ionóforo ppm	15-20
Forraje mínimo %	20-40
Sal	0.5 a 1
Urea máximo %	1.5
Aceite de pescado máximo %	1
Fuentes de grasa máximo %	3

Cuadro 34.13 Información de costos e ingredientes disponibles para formular ración de finalización para ovinos en engorda intensiva

	Sorgo grano	Maíz grano	Sebo	Heno de alfalfa	Rastrojo de maíz	Pasta de soya	Urea	Gallinaza	Melaza	Pulido de arroz	Sulfato de Mg
Costo/kg	6.5	7	10	4	2.3	10	9	4	5	4	10
MS %	90.1	90.1	99	91	90	89.1	100	90	74.3	90	100
EM Mcal/kg	3	3.2	7.1	2	1.7	2.7	0	1.4	3.16	3.3	0
EN g	1.41	1.54	4.3	0.4	0.2	1.1	0	0	1.08	1.5	0
EN m	2.05	2.24	5.33	1.2	1.1	1.8	0	0.9	1.69	2.2	0
PC	8	9	0	16	3	47.8	282	28	4.3	14	0
EE %	2.8	3.5	98	2	0.5	1.4	0	1.7	0.2	14	0
FDN %	20.7				69.5		0				0
Ca %	0.04	0.01	0	1.2	0.12	0.35	0	7.8	0.74	0.05	0
P %	0.29	0.2	0	0.23	0.04	0.63	0	2.2	0.08	1.36	0
Mg %	0.15	0.12	0		0	0.27	0	0.63	0.31	0.6	20
K %	0.34	0.4	0	1.7	0.8	1.97	0	2.3	2.98	1.2	0
Sodio, %	0.03	0.01	0	0.06	0.11	0.04	0	0.04	0.16	0	0
S %	0.13	0.12	0	0.25	0.11	0.41	0	0.2	0.35	0.19	13
Cu mg/kg	5.4	2.51	0	6	18	19.9	0	69	48.8	0	0
I mg/kg	0	0.31	0	0	0	0	0	0	1.56	0	0
Fe mg/kg	57	54.5	0	544	975	165	0	1444	196	0	0
Mn mg/kg	12	7.9	0	32	2.6	31	0	527	44	0	0
Se mg/kg	0.41	0.14	0	0	0	0.45	0	0	0	0	0

	Sorgo grano	Maíz grano	Sebo	Heno de alfalfa	Rastrojo de maíz	Pasta de soya	Urea	Gallinaza	Melaza	Pulido de arroz	Sulfato de Mg
Zn mg/kg	27	18	0	23	5	50	0	520	15	28	0
Co mg/kg	0.27	0.31	0	0.498	1.09	0.11	0	0	1.18	0	0
Vit. A UI/kg	0	1.7	0	13000	131.6	0	0	0	0	0	0
Vit. D UI/kg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vit. E UI/kg	10	22	0	0	0	3	0	0	5.4	0	0
Lasalocida mg/kg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Cuadro 34.14 Información de costos e ingredientes disponibles para formular raciones de finalización para ovinos en engorda intensiva

	Pasta canola	Gluten maíz	Salvado trigo	Grasa protegida	Carbonato de Ca	Cloruro de K	Fosfato monocálcico	Premezcla	Bicarbonato De Na	NaCl	Buffer	Aceite pescado	Ionóforo
Costo/kg	8	13	3.2	12	0.5	8	12	15	0.5	6	18	25	25
MS %	9 0	90	89	95	100	100	100	100	100	97	100	100	100
ME Mcal / kg	2.6	3.1	2.5	7.94	0	0	0	0	0	0	0	7.1	0
EN g	1	1.4	1	6.31	0	0	0		0	0	0	5.1	0
EN m	1.6	2.1	1.6	6.31	0	0	0	0	0	0	0	6.3	0
PC	38	42	16	4.76	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EE %	3.8	2	4.2	89	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FDN				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca % %	0.75	0.13	0.13	9	30	0	21.58	24	0	0	30	0	0
P %	1.16	0.55	1.29	0	0.575	0	21.18	3	0	0	0.575	0	0
Mg %	0.6	0.05	0.26	0	5	0	0	2	0	0	5	0	0
K %	1.29	0.03	1.4	0	0.65	0	0	0.5	0	0	0.65	0	0
Sodio, %	0.01	0.1	0.07	0	1.2	0	0.84	8	27.37	39.33	1.2	0	0
S %	1	0.6	0.23	0	0.5	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0
Cu mg/kg	8	28	12.1	0	16	0	0	0	0	0	16	0	0
I mg/kg	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	160	0	0
Fe mg/kg	175	400	100	0	1825	0	0	2000	0	0	1825	0	0
Mn mg/kg	54	7	100	0	0	0	0	4000	0	0	0	0	0
Se mg/kg	1	1		0	0.6	50	0	30	0	0	1	0	0
Zn mg/kg	65	0	105.5	0	25	0	0	5000	0	0	25	0	0
Co mg/kg	0	0	0	0	4	0	0	60	0	0	4	0	0

	Pasta canola	Gluten maíz	Salvado trigo	Grasa protegida	Carbonato de Ca	Cloruro de K	Fosfato monocálcico	Premezcla	Bicarbonato De Na	NaCl	Buffer	Aceite pescado	Ionóforo
Vit. A UI/kg	0	25	5.2	0	0	0	0	500000	0	0	0	340	0
Vit. D UI/kg	0	0	0	0	0	0	0	300000	0	0	0	50	0
Vit. E UI/kg	0	19.9	29.9	0	0	0	0	1000	0	0	0	0	0
Lasalocida mg/kg	0	0	0	0	0	0	0	2000	0	0	0	0	150000

Resultados ejercicio 34

Existen muchas posibilidades de solución de la ración, pero en el cuadro 34.15 se muestra una con las restricciones solicitadas, y en el cuadro 34.16, los niveles de nutrientes de la ración. En las restricciones del modelo se incluyó ENm y ENg en cero para que, a partir de ahí, se pudiera estimar la ganancia de peso.

Considerando un peso inicial de 20 kg, una ración con 20% de FDN con 12% de PC. Usando la ecuación de Lee *et al.* (2011), el consumo sería 1.100 kg/d. Usando las ecuaciones de predicción basadas de en el Sistema California, en el cuadro 34.16, se presenta la estimación del comportamiento productivo esperado.

Cuadro 34.15 Ejemplo de ración para finalización de ovinos y nutrientes aportados

Ración		Nutrientes	
Sorgo grano	0.28	ME Mcal/kg	2.72913
Maíz grano	0.36	ENg Mcal/kg	1.16933
Heno de alfalfa	0.1	ENm Mcal/kg	1.84109
Rastrojo de maíz	0.1	PC %	12.432
Pasta de soya	0.01	EE %	2.324
Urea	0.015	Ca %	0.89655366
Melaza	0.08	P %	0.52847
Carbonato de calcio	0.0016	Mg %	0.2597
Cloruro de potasio	0.00227469	K %	0.75449
Fosfato monocálcico	0.015	Na %	0.39351043
Sulfato de Mg	0.005	S %	0.21875
Vitasal engorda ovinos Plus	0.0045	Cu mg/kg	9.0402
Bicarbonato de Na	0.00124335	I mg/kg	1.6464
Sal	0.007	Fe mg/kg	227.68
Acid buff	0.006	Mn mg/kg	31.494
Aceite pescado	0.0123	Se mg/kg	0.42539435
Bovatec	0.00005	Zn mg/kg	41.23
Total	0.999	Co mg/kg	0.7419
		Vit. A UI/kg	3567.954
		Vit. D UI/kg	1350.615
		Vit. E UI/kg	15.682
		Lasalocida mg/kg	16.5

Cuadro 34.16 Comportamiento productivo esperado de ovinos con la ración formulada

Peso vivo	20
Peso metabólico	9.457
Requerimiento de ENm Mcal/d	0.54
FDN %	20
PC %	12
CMS kg/d	1.1001
ENm Mcal/kg	1.84
ENg Mcal/kg	1.16
CMS m	0.293
CMS g	0.806
ER Mcal/d	0.935
GDP kg	0.312
Conversión alimenticia	3.52

ENm: energía neta de mantenimiento; FDN: fibra detergente neutro; PC: proteína cruda; CMS: consumo de materia seca; CMSm: consumo de materia seca para mantenimiento; CMSg: consumo de materia seca para ganancia; ER: energía retenida; GDP: ganancia diaria de peso.

A pesar de que se pueden usar niveles de 80% de concentrado y 20% de forraje, se recomienda usar raciones con 60% de concentrado (Castro, 2014) para reducir riesgos de enterotoxemia y acidosis. Debido a que los granos tienen una concentración relativa alta de fósforo, debe de añadirse calcio en la premezcla para mantener la relación de calcio-fósforo 2:1, lo que evitará los cálculos urinarios o el vientre de agua. Se sugiere incluir sal en una concentración de 0.5 a 1% de la ración total (Oklahoma State University, 1990). Debe ponerse atención especial al cobre. Las raciones con más de 15 o 20 ppm de Cu pueden ser tóxicos, especialmente si los niveles de molibdeno (Mo) en la dieta son menores a 1 ppm (Rook, 2004).

Con relación a ingredientes, se recomienda no usar más de 3% de grasa en la dieta total (base seca) pues se puede reducir la digestión del almidón (Krehbiel *et al.*, 1995). Para el caso particular del aceite de pescado se recomienda un máximo de 1% en base seca (Sánchez, 2014). Los ionóforos (Lasalocida o Monensina sódica) se deben de incorporar a las dietas altas en granos, pues reducen el consumo, pero mantienen la ganancia de peso mejorando la eficiencia alimenticia (García *et al.*, 2004; Plata *et al.*, 2004).

Ejercicio 35

Formulación de raciones para corrales de engorda de bovinos

Formule cuatro raciones para el manejo desde recepción hasta finalización para corral de engorda de bovinos de acuerdo con las recomendaciones de nutrientes presentadas en el cuadro 35.1 y los alimentos del cuadro 35.2. Presente los resultados en base seca (costos, ingredientes y nutrientes de cada ración por kg). Considere que tiene mayor disponibilidad de rastrojo de maíz, por lo que desea usar más rastrojo que alfalfa.

Calcule con valores de tablas la concentración de FDN considerando que se recomienda que la ración de finalización tenga entre 8 y 10%. Para el ejercicio se incluirá la premezcla mineral fija a una concentración de 0.16 ppm. Considere que el ionóforo comercial tiene un costo de $25 por kg, 100% de materia seca y contiene 10% de monensina sódica.

Tenga presente que se puede tener flexibilidad en las concentraciones de los nutrientes aplicando criterios en función del nutriente y del tipo de ganado a engordar. Por ejemplo, si los animales son jóvenes y tienen potencial de crecimiento, se puede incrementar la concentración de proteína en las raciones de recepción (14 a 17%) y se puede mantener la engorda entre 13.4 y 14.5% con un máximo de urea de 0.6% en la recepción y 1.16% en finalización. La ENg se puede incrementar a 1.5 Mcal/kg (Samuelson *et al.*, 2016).

Cuadro 35.1 Concentración de nutrientes recomendadas para las raciones de recepción y engorda

	Recepción	Adaptación 1	Adaptación 2	Finalización
Volumen	1	1	1	1
Proteína mín. %	11.5	11.5	11.5	11.5
Proteína máx. %	12.5	12.5	12.5	12.5
ENg Mcal/kg	0.94	1.14	1.25	1.41
Ca mín. %	0.8	0.8	0.7	0.6
Ca máx. %	2.0	1.5	1.0	0.7
P mín. %	0.35	0.30	0.30	0.40
K mín. %	1.0	0.6	0.6	0.6
Na mín. %	0.3	0.3	0.3	0.3
FDN min %	18	16	14	8
Extracto etéreo máx. %	3.0	3.5	4.0	6.0
Forraje mín.%	45	30	20	10
Urea máx. %	1	1.5	1.5	1.5
Melaza máx. %	15	15	15	15
Melaza min %	5	5	5	5
Gallinaza máx. %	25	25	25	25
Ionóforo fijo ppm	5	10	15	20
Tilosina fijo ppm	10	10	10	10

Fuente: Mendoza y Ricalde (1993a).

Los niveles de minerales también pueden ser modificados ligeramente. Por ejemplo, algunos consultores prefieren incrementar el P a 0.37% en la recepción, mantener Mg 0.24% y sal entre de 0.15 a 0.5%. Las concentraciones más comunes para recepción de elementos traza son Cu 22.0 mg/kg, Co 1.03 mg/kg, I 0.87 mg/kg, Fe 11.5 mg/kg, Mn 54.4 mg/kg, Se 0.27 mg/kg, Zn 109 mg/kg, Vitamina A 4,796 UI/kg, Vitamina E 29.8 UI/kg y Vitamina D 271 UI/kg; y las concentraciones en raciones de finalización son: Cu 17.0 mg/kg, Co 0.82 mg/kg, I 0.73 mg/kg, Fe 13.8 mg/kg, Mn 47.9 mg/kg, Se 0.24 mg/kg, Zn 87.3, Vitamina A 4,715 UI/kg, Vitamina E 25.1 UI/kg y Vitamina D 142 UI/kg (Samuelson *et al.*, 2016).

Cuadro 35.2 Alimentos disponibles para la formulación de raciones de corral de engorda

Alimento	$/kg	MS %	$/kg MS	PC %	ENg Mcal/kg	ENm Mcal/kg	Ca %	P %	Na %	K %	EE %	FDN %
Sorgo grano	3.00	89	3.37	8.9	1.41	2.05	0.04	0.29	0.03	0.34	2.8	20.7
Maíz grano	3.30	87	3.79	10.0	1.54	2.24	0.01	0.20	0.01	0.30	3.5	12.2
Sebo	10.00	90	11.1	0.0	4.30	5.33	0.00	0.00	0.00	0.00	98.0	0
Alfalfa heno	3.65	91	3.96	15.3	0.52	1.10	1.40	0.20	0.06	2.7	3.0	45.9
Rastrojo de maíz	1.50	90	1.66	6.0	0.41	0.97	0.18	0.03	0.0	1.45	1.4	69.5
Pasta de soya	5.00	90	5.55	45.0	1.43	2.09	0.25	0.60	0.04	1.98	0.5	13.3
Urea	7.00	100	7.0	280	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
Gallinaza	3.00	90	3.33	28	0.48	1.03	7.8	2.2	0.04	0.34	1.7	64.1
Melaza	2.75	75	3.66	5.7	1.08	1.69	0.82	0.08	0.16	2.38	0.0	0
Carbonato de Ca	0.50	100	0.5	0.0	0.0	0.0	38.0	0.0	0.06	0.06	0.0	0
Fosfato dicálcico	5.50	100	5.5	0.0	0.0	0.0	22.0	18.5	0.08	0.07	0.0	0
Fosfato monocálcico	7.25	100	7.25	0.0	0.0	0.0	21.58	21.18	0.84	0.0	0.0	0
Cloruro de K	8.00	100	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0
Sal	6.00	99.63	6.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.08	0.0	0.0	0
Premezcla mineral	5.0	100	5.02	0.0	0.0	0.0	25.0	3.0	8.0	0.5	0.0	0

MS: materia seca; PC: proteína cruda; ENg: energía neta para ganancia; ENm: energía neta para mantenimiento; EE: extracto etéreo; FDN: fibra detergente neutro.

Resultados ejercicio 35

Existen muchas posibilidades de solución dependiendo de las restricciones que se incluyan a los alimentos, pero en el cuadro 35.3 se presentan algunas soluciones factibles de cada ración.

Cuadro 35.3 Resultados de las raciones a mínimo costo

	Recepción	Adaptación 1	Adaptación 2	Finalización
Costos/kg MS	2.84	2.81	3.03	3.68
Ingredientes:				
Sorgo grano	0.2848	0.5301	0.2027	0.2635
Maíz grano	0.1298	0.0688	0.4975	0.5183
Sebo	0.0112	0.0087	0.0143	0.0337
Pasta de soya	0.0361			
Urea	0.0127	0.02	0.0115	0.011
Melaza	0.05	0.05	0.05	0.05
Rastrojo de maíz	0.45		0.20	0.10
Alfalfa		0.30		
Carbonato Ca	0.017	0.008	0.016	0.004
KCl	0.00043		0.0111	0.0138
NaCl	0.0075	0.0068	0.007	0.0018
Premezcla	0.0000016	0.000016	0.000016	0.000016
Ionóforo	0.00005	0.0001	0.00015	0.0002
Nutrientes:				
Volumen	1	1	1	1
PC %	14	11.5	11.5	11.5
ENg Mcal/kg	0.94	1.14	1.25	1.41
ENm Mcal/kg	1.53	1.75	1.88	2.06
FDN %	21.2	25.9	20.2	18.7
EE %	3.0	3.5	4.0	4.5
Ca	1.7	0.8	0.7	0.6
P	0.35	0.32	0.30	0.30
K	1.01	0.6	0.6	0.60
Na	0.3	0.3	0.3	0.3
Ionóforo ppm	5	10	15	15

PC: proteína cruda; ENg: energía neta para ganancia; ENm: energía neta para mantenimiento; EE: extracto etéreo; FDN: fibra detergente neutro.

Formulación de raciones para ganado lechero con programación lineal

Para formular raciones de ganado lechero, se sugiere consultar la Tabla 6-5 del NRC 1999 (Nutrient Requirements of Dairy Cattle), donde se presentan los nutrientes requeridos por kilogramo de materia seca de acuerdo con el estado fisiológico o nivel de producción. Por ejemplo, supongamos que se desea formular una ración para una vaca de 500 kg de peso vivo, con una producción de 25 kg/d de leche. Los requerimientos se presentan en el cuadro 36.1.

Al igual que en los ejemplos anteriores, se formula una matriz con los aportes correspondientes de los alimentos, y se formula con programación lineal a mínimo costo (VandeHaar y Black, 1991). Para el consumo de materia seca, se pueden consultar la Tabla 6-4 y estimar la ración total. Por ejemplo, una vaca de 500 kg con 25 kg de leche tendría un consumo estimado de 18.16 kg/día de materia seca.

La formulación de raciones en ganado lechero se realiza en base a la concentración de nutrientes en 1 kg porque el consumo de las vacas durante la lactancia va cambiando, iniciando limitado en la etapa post parto, incrementándose al avanzar la lactancia y volviendo a declinar pasando el primer tercio de la lactancia.

Cuadro 36.1 Concentración de nutrientes requerida para formular vacas lactantes de 500 kg de peso con una producción de 25 kg/d de leche

Concentración	kg	1.0 de MS
ENl	Mcal/kg	1.62
Proteína cruda	%	16
UIP	%	5.7
DIP	%	9.6
FDA	%	28
Ca	%	0.58
P	%	0.37
Na	%	0.18
Co	mg/kg	0.10
Cu	mg/kg	10
Mn	mg/kg	40
Zn	mg/kg	40
Se	mg/kg	0.30

MS: materia seca; ENl: energía neta para lactancia; UIP: proteína no degradable en rumen como porcentaje de MS; DIP proteína degradable en rumen como porcentaje de la MS; FDA: fibra detergente ácido.

Un aspecto importante es buscar ingredientes que suministren lisina y metionina en la proteína de escape (UIP) para maximizar la producción de leche (Lara *et al.*, 2006). Se recomienda que las raciones contengan de metionina al menos 2.05% de la proteína metabolizable y al menos 6.57% de lisina.

Ejercicio 36

Formulación de ración para ganado lechero

Formule una ración a mínimo costo con los ingredientes del cuadro 36.2 para vacas de 500 kg de peso vivo con una producción de 25 kg de leche al día (cuadro 36.1), presente la ración por kilogramo y al final las cantidades diarias en base seca y en base húmeda. Considere las limitantes de alimentos sugeridas en el cuadro 36.3.

La evaluación energética de una ración de ganado lechero implica además del aporte de ENl que la relación forraje concentrado permita mantener la salud, asegurando niveles de FDN provenientes del forraje y FDN efectiva (que promueva la rumia). Al principio de la lactancia se recomienda 28 % de FDN (pudiendo subir a 30 % y 32 % para la mitad y lactancia tardía) las recomendaciones de FDA son (18, 20 y 21 % respectivamente). La FDN del forraje debe ser al menos de 20 % y máximo 24 % al inicio de la lactancia. El uso de grasas protegidas es una alternativa para aumentar el consumo de energía (sin exceder el 6 % de la ración).

Para que las vacas enfrenten mejor el reto de desbalance energético de la lactancia, es indispensable que se formule en forma precisa los aportes de proteína no degradable en rumen, que se tenga la relación adecuada de lisina: metionina duodenal (3: 1) y que no haya ningún exceso de proteína degradable en rumen. Con eso se puede favorecer a que las vacas reduzcan la movilización de reservas corporales y tengan un mejor desempeño productivo y reproductivo.

Cuadro 36.2 Ingredientes para formular la ración de vacas lecheras

Alimentos	$/kg	MS	PC	DIP	UIP	ENl	FDA	Ca	P	Na	Co	CU	Mn	Zn	Se
	%					Mcal/kg	%								
Alfalfa fresca	2.7	25	18.2	13.99	4.21	1.38	38	1.52	0.24	0.08	0.33	11	34	21	0.37
Ensilado de maíz	0.5	35	8.8	5.28	3.52	1.40	30	0.34	0.19	0.01	0.06	10	30	21	-
Maíz grano	3.0	87	9.0	5.99	3.00	1.96	3	0.03	0.29	0.03	0.05	4	30	18	0.08
Pasta de soya	2.9	90	45.0	31.5	13.5	1.94	10	0.30	0.68	0.03	0.20	24	35	66	0.11
Pasta de soya protegida con Zn	7.0	90	45.0	11.2	33.7	1.94	10	0.30	0.68	0.03	0.20	24	35	96	0.11
Melaza	1.8	75	5.8	5.8	-	1.64	-	1.0	0.11	0.22	1.21	79	56	30	-
Gluten de maíz	1.70	91	42.0	14.78	27.2	1.99	5	0.16	0.50	0.10	0.08	30	8	29	1.11
Grasa protegida	3.5	96.5	-	-	-	6.52	-	8.8	-	-	-	-	-	-	-
Cloruro de Na	2.0	100	-	-	-	-	-	-	-	39.3	-	-	-	-	-
Fosfato dicálcico	1.5	100	-	-	-	-	-	22.0	18.5	0.08	-	-	-	-	-
Selenito de Na	8.0	100	-	-	-	-	-	-	-	26.6	-	-	-	-	456000
Carbonato de Co	5.0	96	-	-	-	-	-	-	-	-	460000	-	-	-	-
Sulfato de Cu	4.0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	254500	-	-
Sulfato de Zn	6.0	99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	360000	-
Sulfato de Mn	5.0	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	360000	-	-
Premezcla mineral	1.5	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Premezcla vitamínica	1.0	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Metionina protegida	3.0	100	50.0	13.0	37.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Cuadro 36.3 Limitantes para algunos ingredientes y nutrientes en raciones de ganado lechero

Ítem	Recomendación
Forraje	>40 % MS
Granos	>10 % MS
Trigo grano	<25 % MS
Cebada grano	<25 % MS
Granos de cervecería	<25 % MS
Gluten de maíz	<25 % MS
Melaza	<12 % MS
Suero	<30 % MS
Sal	=0.5 % MS
Grasa protegida	<4 % MS
Frijol soya integral	<15 %
Premezcla mineral	Según concentración de minerales
Premezcla vitamínica	Según concentración de minerales
Metionina protegida	Estime un consumo de 10 a 15 g/d
Almidón	>23, <28
Carbohidratos no fibrosos (100-FDN-EE-PC-Ceniza)	>35, <40
Azúcares	>3, <10
Monensina	350 mg/d

MS: materia seca; FDN: fibra detergente neutro; EE: extracto etéreo; PC: proteína cruda.
Fuente: Milligan *et al.* (1981); Lara *et al.* (2006).

Resultados ejercicio 36

Existen muchas posibilidades de resultados del ejercicio 36. Una posible solución siguiendo las limitantes de los ingredientes se presenta en el Cuadro 36.4 (en base seca) con los nutrientes aportados.

Es importante corroborar que se cubran los requisitos de proteína cruda, UIP, DIP así como los de energía. Checar la relación forraje concentrado (en este caso 42 % de forraje dado que el ensilaje se considera que no es 100 % forraje por el grano que aporta). Se recomienda estimar el flujo de lisina y metionina para ajustar la forma más precisa de estos aminoácidos, buscando de lisina entre 175 a 195 g/d, de metionina alrededor de 58 g/d y de histidina 58 g/d.

Cuadro 36.4 Ración para ganado lechero formulada a mínimo costo

Ítem	Ración en 1 kg de MS
Alfalfa fresca	0.20
Ensilado de maíz	0.35
Maíz grano	0.1668
Pasta de soya	0.03
Melaza	0.075
Gluten de maíz	0.12
Grasa protegida	0.035
Cloruro de Na	0.0025
Fosfato dicálcico	0.01
Premezcla mineral	0.07
Premezcla vitamínica	0.03
Metionina protegida	0.0007
Nutrientes aportados por kg de MS	
PC %	16.6
DIP %	10.2
UIP %	6.4
ENl Mcal/kg	1.75
FDA %	15.2
FDN %	32.0
Ca %	1.14
P %	0.50
Na %	0.22

MS: materia seca; ENl: energía neta para lactancia; UIP: proteína no degradable en rumen como porcentaje de MS; DIP proteína degradable en rumen como porcentaje de la MS; FDA: fibra detergente ácido.

Formulación de raciones para animales domésticos con programa Evaluator and Balancer, ver. 2.3

En el Departamento de Ciencia Animal, el reconocido investigador Marc Bauer (2016) ha desarrollado varios programas para hacer balances nutricionales y formulación para ganado de carne, ganado lechero, caballos, aves domésticas, ovinos y cerdos (*Evaluator and Balancer*, ver. 2.3). Un ejemplo de su aplicación la mostraron Morones *et al.* (2017) al hacer balances minerales en caballos de distintas etapas fisiológicas con el *Horse Diet Evaluator and Balancer*, ver. 2.3. El programa está desarrollado en Excel y es muy simple de usar, además tiene el *Solver* integrado, por si se requiere usar programación lineal.

Se tienen cuatro hojas o pestañas generales en el *Excel*:

Ration Balancer

Requirements

Feeds

Calculations

Instructions

Se sugiere al usuario que se familiarice con el contenido de cada hoja y que lea cuidadosamente las instrucciones. Las unidades que usa el programa son libras, pero las raciones se formulan en porcentajes y los requerimientos y contenidos de nutrientes son en unidades internacionales. El programa permite incorporar alimentos adicionales y sus nutrientes en la sección de *feeds*. Para mostrar su uso mostraremos un ejemplo:

1. Seleccione los requerimientos de yeguas de 3 meses de lactación (1988 lb de peso maduro).
2. Asuma la siguiente ración: 15.21 % heno de alfalfa (madura), 65.07 % paja de avena, 19.72 % concentrado comercial (use la composición reportada en el artículo de Morones *et al.*, 2017).
3. En la columna de *Feed ingredient* seleccione los alimentos: *Alfalfa hay mature, Oat Straw*. Puede poner el porcentaje de la ración en la columna donde dice *diet* %. En la columna anexa indica el porcentaje máximo recomendado de algunos ingredientes.
4. Cambie a la Hoja donde dice *Feeds*, vaya a un renglón donde dice *added feed*, y capture la información que tenga disponible de la composición del concentrado comercial. Posteriormente, regrese a la hoja de *Ration Balancer*, seleccione el concentrado que ingresó, incluya el porciento de inclusión y observe la pantalla. Puede guardar los cambios en su archivo.
5. Gráficamente la pantalla le muestra los principales nutrientes deficientes, pero para ver el análisis completo cambie a la hoja de *Calculations* y el programa mostrará en rojo todos los nutrientes que están deficientes con la ración.

Un ejemplo de cómo se usa ese programa se presenta en el cuadro 37.1, donde se hizo el diagnóstico con y sin bloque mineral para caballos de distintas etapas fisiológicas, usando el *Horse Diet Evaluator and Balancer*, ver. 2.3 de Bauer (2016) por Morones *et al.* (2017), donde se registró el consumo del bloque por caballo. Se muestra el ejemplo de las yeguas lactantes. El impacto en algunos elementos es importante como el Na, Se y Cu.

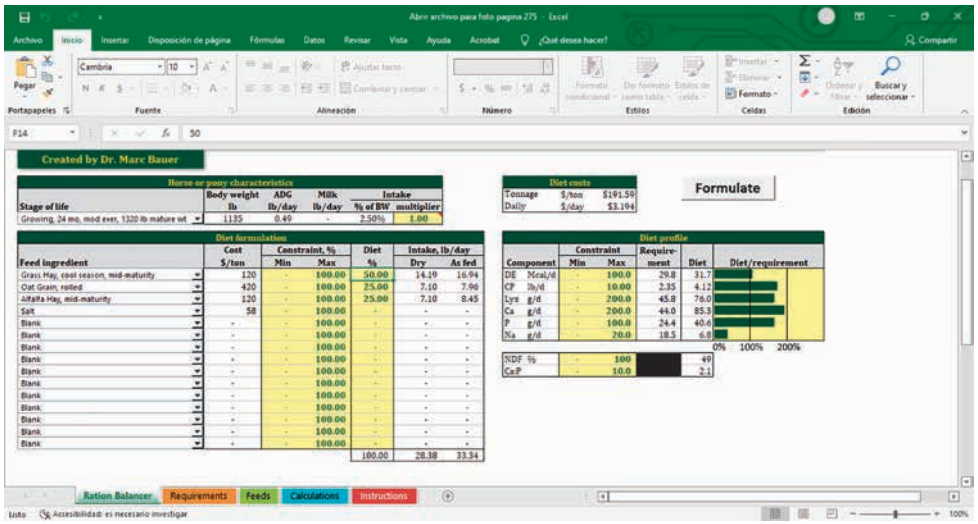
Cuadro 37.1 Estimaciones de balance mineral en caballos con o sin el bloque mineral en yeguas lactantes (4 meses, 500 kg de peso maduro)

Mineral	Ca g	P g	Na g	Zn mg	Mn mg	Se mg	Cu mg
Consumo /d	36.77	52.02	2.66	868.54	750.92	0.38	52.72
Requerimiento/d	41.70	26.20	11.90	500	500	1.25	125
Consumo/requerimiento %	88	198	22	173	150	30	42
Consumo + Bloque	38.05	53.56	7.32	868.70	751.01	0.76	78.96
Consumo/requerimiento %	91	204	61	173	150	61	63

Fuente: Adaptado de Morones *et al.* (2017).

A partir de ese diagnóstico usted puede formular con la instrucción *FORMULATE* (que se soluciona con *Solver*). En la hoja de *Ration Balancer* se muestran gráficamente los nutrientes más limitantes y en la de *Calculations* presenta todos los nutrientes destacando en color rojo los deficientes.

Es muy probable que al ejecutar la función FORMULATE no encuentre solución óptima o que la salida no sea biológicamente viable. Esto se presenta en forma común cuando se usa la programación lineal y, en ocasiones, se tiene que usar la ración que se acerque más a cumplir la mayor cantidad de los requerimientos.



Ejercicio 37

Formulación de ración para cerdos *Swine Diet Evaluator and Balancer*, ver. 2.3

Use la ración del cuadro 69.1 y captúrela en el *Swine Diet Evaluator and Balancer*, ver. 2.3 con los requerimientos de crecimiento de cerdos en primera etapa (20 a 40 kg). Indique qué nutrientes están deficientes y cómo los puede balancear para corregir la ración.

Resultados ejercicio 37

La representación gráfica nos muestra que la ración sería marginalmente deficiente en algunos aminoácidos y en sodio. Al ejecutar FORMULATE no hay solución factible por lo que debe de incorporar ingredientes extra para encontrar una solución con el 100% de los nutrientes, pero la ración es aceptable dado que solo quedaría con el 97% del requerimiento de lisina y otros como el Zn se pueden ajustar con la selección de la premezcla.

Es importante destacar que el programa en su sección de Feeds presenta la información de los amino ácidos y su digestibilidad ideal (*standardized ileal digestibilities* (SID) que es la base para formular con el concepto de proteína ideal en porcinos, lo cual permite reducir la contaminación de N al ambiente

Cuadro 37.2 Ración para cerdos destetados antes y después de usar el *Swine Solver*

Alimento	Costo $/kg	Ración inicial		Ración final	
		%	Costos	%	Costos
Sorgo	4.1	74.64	3.06	63.25	2.59
Pasta soya	6.3	22.0	1.39	35	2.21
Aceite vegetal	9.5	0.21	0.02	0	0.00
DL-Metionina	780	0.11	0.09	0.01	0.01
L-Triptófano	50 0	0.01	0.01	0	0.00
L-Treonina	49.0	0.015	0.01	0	0.00
Carbonato de Ca	0.97	0.73	0.01	0.75	0.01
Fosfato dicálcico	4.0	0.63	0.03	0.56	0.02
Fosfato monocálcico	10.0	0.83	0.08	0.01	0.00
Vitaminas	291.0	0.27	0.79	0.1	0.29
Minerales	20.0	0.20	0.04	0.1	0.02
Sal	1.5	0.35	0.01	0.23	0.00
Total		100	5.51	100	5.15

Formulación de suplementos proteínicos para rumiantes en pastoreo

Un principio fundamental en la elaboración de suplementos para animales en pastoreo es que primero se deben cubrir los requerimientos de proteína degradable en rumen para el funcionamiento de los microorganismos del rumen y se obtenga la mayor digestibilidad del forraje. Posteriormente, se puede considerar el uso de proteína de escape y de aminoácidos protegidos, en función del potencial genético del rumiante. A mayor potencial de crecimiento o de producción de leche, mayor será su repuesta a la proteína de escape (Mendoza, 1996).

Para formular suplementos de rumiantes en pastoreo, es importante considerar la concentración de proteína recomendada en la dieta de acuerdo con el estado fisiológico (cuadro 38.1) y la concentración de proteína del forraje o la ración consumida por el rumiante.

Lo primero que se debe de asegurar en rumiantes en pastoreo es que se cumplan los requerimientos de nitrógeno degradable en rumen para lograr la mayor actividad microbiana y obtener la mayor digestibilidad del forraje, el mayor consumo y la mayor cantidad de síntesis de proteína. Dependiendo del estado fisiológico del animal se considera la suplementación de proteína no degradable en rumen poniendo atención en los aportes duodenales de lisina y metionina.

Cuadro 38.1 Concentración de proteína en rumiantes, estado fisiológico, condición y tipo de proteína recomendada para suplemento

Estado fisiológico o condición	% PC en ración	Tipo de proteína a suplementar
Deficiente, debajo de mantenimiento	<6	Degradable en rumen (Deg)
Retrasa crecimiento	6-7	Deg
Mantenimiento	7	Deg
Crecimiento bajo	9.5	Deg
Crecimiento alto	12-14	Deg + Proteína de escape
Máximo crecimiento	15-17	Deg + Proteína de escape
Hembras en reproducción	12-13	Deg
Lactancia	16-18	Deg + Proteína de escape

PC: proteína cruda.

Otro aspecto importante es que el suplemento debe ser una parte pequeña de la dieta (no más del 25 o 30% del consumo de la materia seca). También se debe conocer el porcentaje de proteína de la ración basal, o del forraje o forrajes que consumen los rumiantes en pastoreo. Esto es fácil cuando se tiene un solo forraje, pero puede ser complicado en agostaderos en especies como cabras o venados, que consumen una gran variedad de plantas (Mendoza y Ricalde, 1996; Mendoza *et al.*, 2006).

Una recomendación práctica para suplementos de rumiantes en crecimiento o lactancia, es que el 50% de la proteína sea suministrada de proteína degradable en rumen y el 50% de proteína de escape (Garduza *et al.*, 2013; Alonso *et al.*, 2008; Maquivar *et al.*, 2006a). Se puede usar urea para suministrar el N degradable en rumen (Aranda *et al.*, 2001). Después de balancear los requerimientos de proteína degradable y de escape, se puede considerar el uso de metionina protegida (Gómez *et al.*, 2011a; Alonso *et al.*, 2008) y grasas inertes (Garcia-Bojalil *et al.*, 1998), aditivos como enzimas fibrolíticas (Gómez *et al.*, 2003; Gómez *et al.*, 2011b) y el suplemento también debe incluir minerales (McDowell 1997; García-Bojalil, 1988; 1994; 1995; 1996ab).

Para ejemplificar cómo formular un suplemento para bovinos, considere que se quiere elaborar un complemento para bovinos en crecimiento (180 kg de peso vivo) con una ganancia potencial de 0.9 kg/d, los cuales consumen un pasto Kikuyo con 10.16% de proteína cruda. Se espera que el suplemento

constituya el 30% del consumo de la materia seca. Para formular el complemento se cuenta con urea (cuyo N es 100% degradable en rumen; Deg como % del N o proteína total), gluten de maíz (35% Deg), melaza y sales minerales. Para esto se desea que la ración total tenga una concentración de 14% de proteína cruda y se realizan los cálculos mostrados en el cuadro 38.2.

Cuadro 38.2 Cálculos iniciales para estimar concentración de proteína requerida en suplemento

Pasto	Aporte	Requerimiento	Diferencia
Volumen	1 x 0.70	1.0	0.30
Proteína	10.16 x 0.70 = 7.11	14.0	6.88
Proteína en suplemento		*6.88/0.30*	22.96

Nótese que se usó 0.70 porque se desea que el pasto constituya el 70% de la ración y el suplemento el 30%, de tal forma que se calcula el aporte del pasto. Posteriormente se estima la concentración que debe tener el suplemento para cubrir el 14% deseado en el 30% del suplemento (0.3):

Proteína del suplemento = (6.88/0.30) = 22.96 %

Entonces, el suplemento a formular requiere 22.96% de proteína cruda para que ofreciéndose al equivalente del 30% de su consumo de materia seca, cubra el requerimiento de proteína (cuadro 38.1). La formulación del suplemento se puede hacer al tanteo o con programación lineal. Se ejemplifica al tanteo. Se recomienda que 50% de la proteína sea suministrada por proteína degradable y el otro 50% por una fuente de proteína que aporte proteína de escape (Ramos *et al.*, 1998a), se estima el porcentaje de urea dividiendo el requerimiento entre el aporte de proteína de la urea (280):

Urea para cubrir el 50 % del requerimiento = (6.88/0.30) = 22.96 %

El nivel de urea es muy elevado por lo que en términos prácticos lo dejaríamos entre 2 y 4% de la dieta (Aranda *et al.*, 2001). Se elabora un cuadro, considerando el 12% de melaza (5% PC) y el resto de gluten de maíz (42% PC) que es la fuente de proteína de escape (64% de su proteína es de escape). En todo concentrado usamos un grano como el maíz para dar energía (10% PC) consideremos un 40% inicial (cuadro 38.3).

Cuadro 38.3 Aporte de proteína cruda de suplemento para bovinos

	% PC	Volumen	Aporte de PC
	A	B	A x B
Urea	280	0.04	11.2
Melaza	5	0.12	0.6
Minerales	0	0.02	0
Maíz grano	10	0.50	5.0
Total		0.82	
Diferencia para 1 kg		0.32	
Gluten de maíz	42	0.32	13.44
Total			30.24

PC: proteína cruda.

El primer ejercicio nos da un exceso de proteína, para lo cual, ajustamos, reduciendo la urea a un 2% y subiendo el maíz (esto se puede hacer en una hoja de cálculo), hasta encontrar una fórmula que nos da el 22.96% de proteína cruda o un valor cercano (cuadro 38.4).

Cuadro 38.4 Ajuste de suplemento con base en el aporte de proteína cruda

	% PC	Volumen	Aporte de PC
	A	B	A x B
Urea	280	0.02	5.6
Melaza	5	0.12	0.6
Minerales	0	0.02	0.0
Maíz grano	10	0.58	5.8
Gluten de maíz	42	0.26	10.92
Total			22.92

PC: proteína cruda.

Finalmente se estiman los kilogramos de materia seca que deberán ofrecerse del suplemento al día. Para esto se debe estimar el consumo, lo cual en forma general puede considerarse que dependiendo de la calidad del forraje puede ser entre 2.5 y 3% de su peso vivo. Considerando el 2.5% del peso vivo, de 180 kg, el consumo diario sería de 4.5 kg y el 30% de este valor sería 1.35 kg, de tal forma que el de suplemento a proporcionar es de 1.35 kg/día/bovinos en base seca (al ajustar en base húmeda se incrementa un poco dependiendo de la humedad de los alimentos).

Ejercicio 38

Formulación de suplementos proteínicos para rumiantes en pastoreo

Elabore un suplemento para bovinos en crecimiento (200 kg de peso vivo) con una ganancia potencial de 0.9 kg/d, los cuales consumen pasto estrella con 7% de proteína cruda. Considere que desea que el suplemento constituya el 30% del consumo de la materia seca. En la unidad se cuenta para la formulación con urea (100% Deg; como porcentaje del N total), pasta de coco con 26% PC (37% Deg), melaza con 6% PC (100% Deg), grano de maíz con 10% PC (66% Deg) y sales minerales. Considere incluir al menos 10% de melaza, 1% de minerales y un máximo de 4% de urea en la ración. Formule en hoja de cálculo su suplemento e indique los kg de MS a ofrecer al día, considerando un consumo de materia seca de 2.5% de su peso vivo. Debido a que se tienen pocos ingredientes con porcentajes altos de proteína, considere que el suplemento puede tener menos proteína de la requerida.

Resultados ejercicio 38

Si bien existen múltiples respuestas posibles para este ejercicio, se presenta un suplemento como ejemplo. Considerando que el 2.5% de 200 kg son 5 kg y el 30% de este son 1.5 kg, entonces se deberían ofrecer al día 1.5 kg/d de este suplemento. El suplemento se formuló con urea y pasta de coco para cumplir los principios de cubrir el aporte de proteína degradable en rumen y proteína

de escape. Primero se estima el contenido requerido del complemento con las operaciones mostradas en el cuadro 38.5.

Cuadro 38.5 Cálculos iniciales para estimar concentración de proteína requerida en suplemento

Pasto	Aporte	Requerimiento	Diferencia
Volumen	1 x 0.70	1.0	0.3
Proteína	6 x 0.7 = 4.2	14.0	9.8
Proteína en suplemento		9.8/0.30	32.66

Posteriormente se formula un suplemento al tanteo y se estima el aporte de proteína (cuadro 38.6). Este suplemento casi tiene la proteína requerida, pero tiene demasiada pasta de coco por lo que en términos prácticos sería mejor formular uno con menos proteína, aunque no se cubra el requerimiento, pero con mayor cantidad de grano. Por ejemplo, se formula un segundo complemento con más maíz (Cuadro 38.7) con 27.5% de proteína que sería más palatable para el bovino por la cantidad de maíz.

Cuadro 38.6 Aporte de proteína cruda de suplemento para bovinos

	% PC	Volumen	Aporte de PC
	A	B	A x B
Urea	280	0.04	11.2
Melaza	6	0.10	0.6
Minerales	0	0.02	0.0
Maíz grano	10	0.11	1.1
Pasta de coco	26	0.74	19.24
Total			32.14

PC: proteína cruda; A y B: columnas.

Se sugiere que una vez que el estudiante haya formulado estos suplementos, use el modelo de NRC (2016) y que incluya la ración completa con el suplemento y la información del ganado para que compare las estimaciones del Software en consumo, ganancia de peso potencial por proteína metabolizable, por energía, así como los flujos de aminoácidos para que pueda entender mejor los cambios que se esperan con la suplementación.

Cuadro 38.7 Aporte de proteína cruda de suplemento para bovinos

	% PC	Volumen	Aporte de PC
	A	B	A x B
Urea	280	0.04	11.2
Melaza	6	0.10	0.6
Minerales	0	0.02	0.0
Maíz grano	10	0.40	4.0
Pasta de coco	26	0.45	11.70
Total			27.50

PC: proteína cruda; A y B: columnas.



Formulación de mezclas para ensilar

El ensilaje de maíz es una práctica realizada en muchas regiones y se conocen las recomendaciones de manejo para obtener un producto que se usa en muchas unidades de producción. Sin embargo, cuando se han ensilado ingredientes que no son convencionales o cuando se mezclan subproductos diversos, se corre el riesgo de que se produzca una fermentación acética o alcohólica con características organolépticas indeseables (Aranda-Ibañez *et al.*, 2017) y que se pierdan todos los ingredientes ensilados. Algunos investigadores hacen microsilos en bolsas o tubos de polivinilo en distintas proporciones para buscar la proporción de la mezcla antes de recomendar los ensilajes en grandes cantidades (Álvarez, 2004; Martínez *et al.*, 2008) y de ahí han logrado resultados satisfactorios con animales (Martínez-Avalos *et al.*, 1998; Álvarez *et al.*, 2011). De estos trabajos se sabe que se pueden ensilar cualquier combinación de forrajes, subproductos, como excretas de bovino y de cerdos (Mendoza *et al.*, 1992; Cobos *et al.*, 1997; Borquez *et al.*, 2010; López-Garrido *et al.*, 2014).

Los investigadores han reconocido desde hace varios años que, para estimular una fermentación láctica en el ensilaje, es necesario que la mezcla tenga 40% de materia seca y de 5 a 8% de carbohidratos solubles en agua (Johonson, 1979) con una proporción de carbohidratos solubles a urea que se ha recomendado de 8-12 a 1 (Martínez-Avalos *et al.*, 1998), pero esto es poco práctico dado que no siempre se ensila con urea. A pesar de que se conocen estas proporciones y matemáticamente tiene es un cálculo sencillo, los investigadores

que han trabajado ensilajes han omitido algunos aspectos en sus documentos y esto abre la necesidad de líneas de investigación y de evaluación matemática de formulación de ensilajes. Las recomendaciones coinciden con que la mezcla de la proporción en materia seca debe ser al menos de 30 o 40%.

La relación carbohidratos solubles a proteína en una planta de maíz para ensilar (en base seca) es de 2 a 2.3, sin embargo, no se puede usar el contenido total de proteína, pues este se calcula del nitrógeno (x 6.25) y se sabe que parte del N puede estar ligado a la pared celular (Van Soest, 1994). La relación carbohidratos solubles a proteína soluble o degradable en rumen sería un mejor indicador. En la planta de maíz para ensilar esta relación es de 4 a 4.2 (base seca).

Para la evaluación de carbohidratos y N disponible proponemos usar los valores de N soluble de las Tablas de NRC e iniciar un metaanálisis de trabajos con ensilajes que tengan información con animales para poder tener recomendaciones precisas y no requerir los microsilos. Para poder hacer mezclas es necesario tener información del contenido de materia seca, de azúcares solubles (cuadro 39.1) y usaremos las estimaciones de proteína soluble de tablas de NRC de ganado de carne considerando que está disponible para la fermentación en ensilaje.

Para ejemplificar cómo se pueden evaluar las fórmulas de ensilajes o cómo calcular una mezcla, se mostrará qué pasa si se desea ensilar un pasto pangola recién cosechado con 15% de melaza. En el cuadro 39.2 se puede apreciar que la humedad sería muy alta, por lo que se recomienda secar hasta que tenga una humedad de 35 o 40% o incorporar una paja que absorba la humedad.



Cuadro 39.1 Contenido de azúcares solubles de diferentes alimentos

Azucares solubles % (base seca)	
Frutas	17 a 77
Granos y semillas	0 a 1
Leguminosas	2 a 16
Arbóreas	5 a 15
Gramíneas de clima templado	13 a 19
Planta de maíz en estado lechoso	18 a 20
Pasto pangola	1.2
Pasto guinea	2.1
Pasto estrella	0.6
King Grass	2.6
Pasto Rhodes	2.5
Leguminosa (Lotonis)	9.9
Pastos Templados	13 a 19
Pasto Orchard	6
Girasol	12 a 19
Nopal forrajero	4.0 a 8.0
Tunas	12 a 17
Alfalfa	7 a 9
Melaza (medir grados brix)	80
Gluten de maíz	3.9 a 4.5

Elaborado con datos de Robbins (1993); Cota-Sanchez (2015); Mokoboki *et al.*, (2016); Ribeiro *et al.*, (2019); Ramos-Juárez, (2020; comunicación personal), Jiménez Merino (S/A; Folleto Conservación de Forraje, Puebla).

Cuadro 39.2 Estimación de materia seca y proporción en base seca

Ingrediente	Materia seca %	Fórmula base húmeda	Aporte en MS	% Base seca
Pasto Pangola	20	85	17.00	81.93
Melaza	25	15	3.75	18.07
Total		100	20.75	100

En el cuadro 39.3 se puede observar qué pasaría si el pasto se seca antes de ensilar hasta adquirir 35 % de materia seca como la proporción de melaza se reduce en la mezcla en base seca. Esto es importante para el cálculo de la relación de nutrientes solubles en la mezcla.

Cuadro 39.3 Estimación de materia seca y proporción en base seca

Ingrediente	Materia seca %	Fórmula base húmeda	Aporte en MS	% Base seca
Pasto Pangola	**35**	85	29.75	88.81
Melaza	25	15	3.75	11.19
Total		**100**	33.5	100

Una vez seleccionada la mezcla se procede con los cálculos en base seca (cuadro 39.4). El criterio y el conocimiento de la composición de los sustratos son importantes. La mezcla es deficiente en la relación carbohidratos proteína soluble (3.27). Los pastos tropicales son deficientes en proteína por eso se recomendaría añadir un poco de urea. No existe una recomendación mínima de proteína para el proceso de ensilaje, pero las mezclas experimentales ensiladas de ingredientes no convencionales con éxito al menos de 10%. Esto difícilmente se logra con ingredientes tropicales, pero se puede buscar incorporar de 0.5 a 1% de urea cuando se incorpora un 20% de melaza.

Si no se cuenta con laboratorio, debe tenerse presente que en la época de abundancia de forraje, que es cuando se quiere ensilar, las leguminosas que se encuentran en los agostaderos, los pastos (criollo, estrella, pasto Tanzania), y la mayoría de las arbustivas, tienen alrededor de 20% de materia seca (80% de humedad) para diseñar la mezcla o secarlas parcialmente antes del proceso de ensilaje.

Desafortunadamente, los investigadores que trabajan con ensilajes omiten mucha información y no está estandarizada para definir los requerimientos de la fermentación. Pero con la información disponible están las bases para desarrollar modelos (empíricos y/o determinísticos) que permitan asegurar mezclas que resulten con concentraciones adecuadas de lactato, asegurando las condiciones de humedad, disponibilidad de N soluble, carbohidratos solubles para conservar lo mejor posible los alimentos.

En esta área se pueden desarrollar modelos de formulación de ensilajes basándose en el modelo de la Universidad de Cornell usando los valores biológicos de los alimentos, donde han caracterizado las fracciones de carbohidratos y proteínas. El reto es desarrollar ecuaciones de fermentación láctica y de predicción de pH de ensilajes con base en la humedad, carbohidratos y N solubles.

Cuadro 39.4 Calculo de carbohidratos solubles y proteína degradable en mezclas de ensilajes

Procedimiento		Ingredientes		Resultados
		Pasto Pangola	Melaza	
A	% mezcla	88.81	11.19	Σ 100.00
B	Materia seca %	35.00	25.00	
A/100*B	Aporte MS	31.08	2.79	Σ 33.88
D	CH_2O solubles %	1.20	80.00	
A/100*D	Aporte	1.06	8.95	Σ 10.01
E	Proteína %	7.00	4.00	
A/100*E	Aporte	6.21	0.44	Σ 6.66
F	Proteína soluble % PC	42.0	100.0	
F/100* E	PC soluble % MS	2.94	4.00	
A/100*G	Aporte de Proteína soluble % MS	2.61	0.45	Σ 3.06
	Relación CH_2O: proteína soluble			3.27

Relación CH_2O: proteína soluble 3.27



Ejercicio 39

Ensilaje de pasto pangola con melaza y urea

Para mejorar un ensilaje, se hizo una mezcla (base húmeda) de 79.9 % de pasto pangola, 20 % de melaza y 0.1 % de urea. Estime la proporción de la mezcla en base seca considerando los valores de materia seca del cuadro 39.5. Interprete los resultados.

Cuadro 39.5 Nutrientes en algunos ingredientes usados para ensilajes en trópico

Ingrediente	Materia seca %	CH_2O solubles	Proteína	Proteína soluble % PC
Pasto Pangola	35	1.2	7	42
Melaza	25	80	4	100
Urea	100	0	280	100
Rastrojo	90	0	4	20
Nopal forrajero	13	4	7	100
Tunas o frutas	10	14	0.73	100
Semillas de guayaba	90	3.08	11.19	100
Gluten de maíz	90	4	23.08	49

Resultados ejercicio 39

Los cálculos y resultados se presentan en el cuadro 39.6. La relación carbohidratos solubles a proteína soluble es similar a la del cuadro 39.4, debido a que se incorporan cantidades limitadas de urea. El mayor contenido de melaza permite prever mejores resultados en la fermentación de esta mezcla ensilada.

Cuadro 39.6 Cálculo de carbohidratos solubles y proteína degradable en mezclas de ensilajes

Procedimiento		Ingredientes			Resultados
		Pasto Pangola	Melaza	Urea	
A	% mezcla	84.58	15.12	0.30	Σ 100.00
B	Materia seca %	35.00	25.00	100.0	
A/100*B	Aporte MS	29.60	3.78	0.30	Σ 33.68
D	CH_2O solubles %	1.20	80.00	0.00	
A/100*D	Aporte	1.01	12.10	0.00	Σ 13.11
E	Proteína %	7.00	4.00	280.0	
A/100*E	Aporte	5.92	0.60	0.85	Σ 7.37
F	Proteína soluble % PC	42.00	100.00	100.0	
F/100* E	PC soluble % MS	2.94	4.00	280.0	
A/100*G	Aporte de Proteína soluble % MS	2.49	0.60	0.85	Σ 3.94
	Relación CH_2O: proteína soluble			3.33	

Relación CH_2O: proteína soluble 3.33

Ejercicio 40

Ensilaje con nopal forrajero

El nopal forrajero es un recurso de gran importancia para la sequía. Considere una mezcla de 75% de nopal forrajero, 5% de melaza y 20% de rastrojo de maíz. Utilice los valores de composición del cuadro 39.5. Indique cómo puede mejorar la combinación del ensilaje.

Resultados

La mezcla tendría 29% de materia seca con riesgos si no se seca el nopal. La fórmula en base seca es 33.62% de nopal forrajero, 62.06% de rastrojo de maíz y 4.31% de melaza. El contenido de carbohidratos solubles es de 7% y el de proteína soluble de 0.343%. Por lo anterior, sería recomendable incluir las frutas del cactus al ensilar para asegurar que haya suficientes carbohidratos solubles y, en ese caso, checar la formulación y considerar la inclusión de urea en cantidades marginales.

Es importante que las instituciones de investigación nacionales que cuentan con el nopal forrajero lo pongan a disposición de los productores, dado que es un recurso potencial de gran importancia para un país como México donde contamos con una gran parte de zonas áridas y semi áridas. De nada sirve que los investigadores tengan publicaciones de nopal forrajero si este conocimiento no puede llegar a las unidades de producción donde se requiere.



Ejercicio 41

Ensilaje de nopal forrajero (mezcla del Laboratorio de Microbiología Pecuaria)

Investigadores del Laboratorio de Microbiología Pecuaria de la Universidad Autónoma de Chapingo (Miranda-Romero *et al.*, 2019; Vázquez *et al.*, 2017) recomiendan que al ensilar el nopal forrajero se incluya el material completo, (cladodios y con tunas), picando para obtener un tamaño de alrededor de 7 cm. Ellos recomiendan una mezcla con: 40 % de cladodios, 32 % de frutas (tunas), 23 % de rastrojo de maíz, 2 % de gluten de maíz, 1 % de urea, 1 % de semillas deshidratadas de guayabas y un inoculante comercial (dosis de 0.5 g/kg, con *Pediococcus pentosaceus* y *Lactobacillus plantarum*). Los ensilajes los realizaron en recipientes de plástico de 200 L, bien compactados y cubiertos con bolsas de plástico negras, selladas herméticamente con un anillo de metal ajustable.

Con base en la composición de los ingredientes en el cuadro 39.5 y la fórmula descrita, estime la composición de la mezcla en base seca, el contenido de materia seca, y la concentración en base seca de carbohidratos solubles, proteína soluble e interprete la relación de carbono nitrógeno. Indique qué sustrato puede usar para sustituir la semilla de guayaba, e indique si recomienda el uso de inoculantes. Realice una interpretación crítica de la mezcla.

Ejercicio 41 Resultados

La materia seca está en los porcentajes recomendados (cuadro 41.1). En este producto, la relación carbohidratos solubles a proteína degradable no es adecuada (cuadro 41.2), debido a que se incorporaron varios ingredientes proteínicos, pero el proceso se protegió con inoculante con *Lactobacillus* que mejora el proceso de producción de lactato. Otra posibilidad es que se estén subestimando los carbohidratos solubles de las frutas.

Cuadro 41.1 Estimación de materia seca y proporción en base seca del ensilaje con nopal y tunas

Ingrediente	Materia seca %	Fórmula base húmeda	Aporte en MS	% Base seca
Urea	100	1	1.00	3.05
Rastrojo	90	23	20.70	63.11
Nopal forrajero	13	40	5.20	15.85
Tunas o frutas	10	32	3.20	9.76
Semillas de guayaba	90	1	0.90	2.74
Gluten de maíz	90	2	1.80	5.49
Total		99	32.8	100

A pesar de que la relación carbohidratos solubles a proteína soluble no es la mejor, este ensilaje ha sido evaluado con corderos con resultados favorables en ganancia de peso (Ortíz *et al.*, 2013). Uno de los problemas prácticos de la mezcla es que usa demasiados ingredientes y para un productor puede ser complicado, pero se puede reformular para hacer mezclas de ensilajes más simples.

Estos ejercicios muestran la importancia de comenzar a establecer un sistema estandarizado de formulación y evaluación de ensilajes. Este es un tema que pueden desarrollar estudiantes de posgrado o postdoctorantes por medio de metaanálisis, modelos determinísticos y empíricos, donde puedan identificar los elementos fundamentales para obtener un ensilaje exitoso. Se pueden desarrollar modelos para estimar la concentración molar de lactato y el pH final del ensilaje a partir de los moles de carbohidratos solubles con base en la estequiometría de la fermentación.

Cuadro 41.2 Cálculo de carbohidratos solubles y proteína degradable en mezclas de ensilajes

	Ingredientes						Resultados
	Urea	Rastrojo	Nopal forrajero	Tunas o frutas	Semillas de guayaba	Gluten de maíz	
% mezcla	3.05	63.11	15.85	9.76	2.74	5.49	Σ 100
Materia seca %	100.0	90.00	13.00	10.00	90.00	90.00	
Aporte MS	3.05	56.8	2.06	0.98	2.47	4.94	Σ 70.29
CH_2O solubles	0	0	4.0	14.0	3.08	4.00	
Aporte	0	0	0.63	1.37	0.08	0.22	Σ 2.3
Proteína	280.0	4.0	7.0	0.73	11.19	23.08	
Aporte	8.54	2.52	1.11	0.07	0.31	1.27	Σ 13.55
Proteína soluble % PC	100.0	20.0	100.0	100.0	100.0	49.0	
PC soluble % MS	280	0.8	7	0.73	11.19	11.31	
Aporte de Proteína soluble	8.54	0.5	1.11	0.07	0.31	0.62	Σ 11.15
Relación CH_2O: proteína soluble							0.21

Relación CH_2O: proteína soluble 0.21



Evaluación de premezclas minerales para rumiantes

Un aspecto importante en la nutrición de rumiantes en pastoreo es la suplementación mineral con premezclas. Para esto se pueden usar sales comerciales, o se puede formular de acuerdo con el diagnóstico nutricional. Lo más común es usar sales comerciales las cuales deben ser evaluadas, pues no siempre son las más adecuadas. Para suplementos comerciales, McDowell *et al.* (1997) dan las siguientes recomendaciones generales:

Considerar que la mezcla final que tenga un mínimo de 6-8% de fósforo total.

1. Una relación Ca: P de alrededor de 2:1.
2. Proporcionar una porción significativa (alrededor del 50%) de las necesidades de minerales traza tales como Co, Cu, I, Mn y Zn y cubriendo el 100% de los minerales en regiones donde se conozca la deficiencia de alguno o algunos en particular.
3. Utilizar fuentes minerales de alta calidad especificado por una alta disponibilidad biológica y evitando aquellos que contengan elementos tóxicos (por ejemplo, flúor en fosfatos). El problema es que la mayoría de los productos no tiene la información de los compuestos con que son elaborados.

4. El respaldo de una compañía seria con reputación la cual asegure la veracidad de lo descrito en la etiqueta del suplemento mineral.

5. Un tamaño de partícula adecuada, el cual permita la mezcla de los ingredientes sin provocar la separación por capas.

Algunos de los problemas que se enfrentan al usar sales minerales comerciales han sido descritos (García-Bojalil, 1988; 1994; 1995; 1996a y b) y se resumen en:

1. Aunque el fabricante proporcione las concentraciones de los elementos en la etiqueta luego sugiere que se diluya el producto con una cantidad de sal, dejando al usuario la tarea de calcular la concentración de los minerales en la mezcla final.

2. No siempre las diluciones recomendadas son adecuadas.

3. La mayoría de los fabricantes no proporciona información sobre el compuesto mineral utilizado para elaborar la premezcla, por lo que no se conoce la disponibilidad biológica de la fuente mineral.

4. La cantidad de uno o varios minerales que indica la etiqueta no siempre viene en la mezcla en esa concentración.

Para evaluar un suplemento mineral se requiere conocer el requerimiento del mineral, ya sea del NRC de la especie u otra fuente, por ejemplo, en el cuadro 42.1 se presentan las recomendaciones para bovinos de McDowell *et al.* (1997). La concentración del mineral a evaluarse en la premezcla mineral (se puede usar el de la etiqueta, pero se sugiere corroborar con análisis de laboratorio), el consumo de suplemento mineral y el de la materia seca. Cuando no se conoce se sugiere usar el valor de 50 g/d en bovinos (McDowell *et al.*, 1997) y el de consumo de materia seca estimado de 2.5 a 3% del peso vivo del animal (Stuth y Sheffield, 2001). El consumo de mezcla mineral es variable, en vacas de doble propósito se ha observado que cuando se ofrece por primera ocasión es mayor (150 g animal/d) y, posteriormente, se estabiliza (32 g animal/día) (Sisneros *et al.*, 1989) por lo que lo más recomendable es medir el consumo en la unidad.

En las unidades de producción, medir el consumo de minerales es un procedimiento sencillo y se puede realizar en grupo, pesando la cantidad de premezcla ofrecida y la que queda al día siguiente o después de varios días, dividiendo entre el número de animales en el corral. Con esa información a pesar de ser grupal, se podrá hacer un mejor diseño de premezclas y de nutrición mineral.

Cuadro 42.1 Requerimientos y toxicidades minerales sugeridos para bovinos

Elementos	Bovinos en crecimiento, engorda	Lactancia	Ganado lechero (Rango)
Macrominerales:			
Ca %	0.19-1.50	0.22-0.38	0.13-0.77
P %	0.12-0.80	0.16-0.24	0.25-0.48
Mg %	0.10-0.30	0.20	0.20-0.25
K %	0.60-2.0	0.70	0.90-1.0
Na %	0.06-0.14	0.10	0.18
S %	0.15-0.30	0.15	0.20-0.25
Microminerales:			
Co ppm	0.10-1.0	0.10	0.10
Cu ppm	10-60	10	10
I ppm	0.5-0.9	0.5	0.6
Fe ppm	50-100	50	50
Mn ppm	20-50	40	40
Se ppm	0.10-0.30	0.10	0.30
Zn ppm	30-40	30	40
Concentraciones tóxicas:			
Cu ppm	115	100	80
F ppm	40-100	40-100	30
Mo ppm	5	5	6
Se ppm	5	5	5
I ppm	50	50	50
Zn ppm	500	500	500
Fe ppm	1000	1000	1000
K %	2.0	2.0	2.0
S %	0.4	0.4	0.4

Fuente: Modificado de McDowell *et al.* (1997).

McDowell *et al.* (1997) presentan las siguientes ecuaciones (modificadas aquí para hacer más clara su aportación) para evaluar estimar el porcentaje del elemento en la dieta total y el consumo del elemento mineral:

$$\%\ \text{elemento} = ([\%\ \text{elemento en mezcla}] \times [\text{Consumo diario de mezcla g}])/[\text{CMS g}]$$

Consumo del elemento(g/d) = ([% del elemento en la ración] × [Consumo diario de mezcla g])/100

Donde CMS = Consumo de materia seca diario en gramos

Como ejemplo se tiene una premezcla comercial para bovinos con 0.12% de Cu, un consumo de 50 g/d de sales minerales. El requerimiento de bovinos para carne se considera entre 10 ppm o 0.001%. Indicar si el suplemento es adecuado con un consumo de 10.0 kg (10,000 g/d), si se ignora el aporte del pasto.

% elemento = ([% elemento en mezcla] × [Consumo diario de mezcla g])/[CMS/g]

% elemento = ([0.12%] × [50 g])/[10,000 g] = 0.0006%

Es importante considerar que 0.0006 equivale a 6 ppm o 6 mg/kg. Considerando la recomendación de McDowell *et al.* (1997) de que una premezcla debe aportar al menos el 50% del requerimiento (10 ppm) cuando no se conoce el aporte del pasto, por lo que se concluye que esta sal mineral con esa concentración sería adecuada para Cu. Posteriormente se calcula el consumo del elemento:

Consumo del elemento(g/d) = ([% de elemento en mezcla] × [Consumo diario de mezcla g])/100

Consumo del elemento = (0.12 × 50.0)/100 = 0.06 g/d

Se pueden evaluar los suplementos haciendo un balance de los elementos si se conoce, o se toman de literatura confiable, algunos valores de elementos de los forrajes.

Ejercicio 42

Evaluación de premezcla mineral para bovinos

Evalúe la premezcla mineral del cuadro 42.2 para bovinos, considerando un consumo mineral de 60 g/d y un consumo de MS de 8.0 kg/d en un novillo en etapa de crecimiento. Considere el resultado del laboratorio y no el de la etiqueta comercial.

Cuadro 42.2 Concentración de minerales en una sal mineralizada comercial

Elementos minerales %	Etiqueta	Análisis laboratorio
Ca	12.00	3.24
P	20.40	1.16
Mg	0.0038	0.153
K	-	0.756
Na	0.026	21.26
Fe	0.16	0.21
Cu	0.016	0.0035
Mn	0.48	0.703
Mo	-	0.003
Zn	0.0008	0.0056

Fuente: McDowell *et al.* (1997).

Al final, realice una interpretación de lo analizado versus lo presentado en la etiqueta. Indique qué de minerales cubre los requerimientos la premezcla, e indique si podría recomendar el uso de esa premezcla para suplementar a los bovinos.

Resultados ejercicio 42

Es claro que hay una gran diferencia entre los valores de etiqueta y los resultados del laboratorio, y debido a la concentración de los elementos (ver el Na), se puede inferir que el producto tiene más sal común que minerales traza. En el cuadro 42.3, se presentan los resultados del aporte de la mezcla, el aporte a la dieta de la sal mineral en porcentaje y en ppm, el consumo en gramos, particularmente considerando que el de Ca en gramos es de 3 a 4 g/d y el de P es de 2 a 2.5 g/d. La mezcla excede los requerimientos de Na, Mn y no cubre con 50 % de los minerales traza.

Cuadro 42.3 Resultados de la evaluación de la premezcla y requerimiento de cada elemento

Elementos	% en mezcla	% de elemento aportado	Elemento aportado, ppm	Consumo g	Requerimiento
Ca	3.24	0.0243	243	1.944	0.19-0.73%
P	1.16	0.0087	87	0.696	0.12-0.34%
Mg	0.153	0.001475	11.475	0.0918	0.1%
K	0.756	0.00567	56.7	0.4536	0.6%
Na	21.26	0.15945	1594.5	12.756	0.06-0.08%
Fe	0.21	0.001575	15.75	0.126	50 ppm
Cu	0.0035	0.00002625	0.2625	0.0021	10 ppm
Co	0.0006	0.0000045	0.045	0.00036	0.1 ppm
Mn	0.703	0.0052725	52.725	0.4218	20 ppm
Mo	0.003	0.0000225	0.225	0.0018	5 ppm, tóxico
Zn	0.0056	0.000042	0.42	0.00336	30 ppm

Diseño de premezclas minerales para rumiantes

Lo primero que necesitamos para diseñar una premezcla mineral es el requerimiento del mineral del rumiante, por ejemplo, supongamos que se quiere diseñar una sal mineralizada para venado cola blanca, para lo cual se recopila la información de requerimiento de venados y, en caso de que no se tenga algún mineral, se considera el recomendado para ovinos o caprinos (cuadro 43.1).

A mayor conocimiento de la especie, se podrá diseñar mejor la premezcla. Existe información más completa para rumiantes domésticos que para silvestres y hay diferencias entre los domésticos que deben de tenerse presente, por ejemplo los ovinos requieren menor concentración que los caprinos. Los animales silvestres tienen requerimientos por debajo de los domésticos debido a que no han sido sujetos a procesos de selección genética.

Es importante tratar de no usar un exceso de compuestos con sulfatos en la premezcla, combinando diferentes fuentes inorgánicas (sulfatos, óxidos). También debe considerarse que la diferencia en la biodisponibilidad de las fuentes inorgánicas en comparación con minerales quelados o los hidroximinerales, así como su costo. Es probable que el costo de preparar una premezcla sea mayor al de una comercial, pero en el caso de una elaborada se tiene la certeza de que los elementos estarán en la premezcla.

Cuadro 43.1 Requerimientos de minerales sugeridos para venado cola blanca

Elemento	%	ppm
Ca	0.45-0.82	
P	0.28-0.56	
Mg	0.10-0.18	
K	0.60-0.80	
Na	0.10-0.18	
S	0.10	
Co	0.00001	0.1
Cu	0.0008	8
I	0.00004	0.4
Fe	0.004	40
Mn	0.003	30
Se	0.00001	0.1
Zn	0.003	30

Fuente: Adaptado de Ramírez (2004), Ramírez *et al.* (1997; 2009) y McDowell *et al.* (1997).

Posteriormente, necesitamos la información de la concentración mineral de la dieta. En este ejemplo consideramos la información de Ramírez *et al.* (1996) de algunos minerales de la dieta de venados de Nuevo León (Cuadro 43.2). Cuando no se tiene información, para los cálculos posteriores se puede usar el 50% del requerimiento o en caso de que se considere algún elemento potencialmente tóxico en la región, se puede reducir al 25% o no formularse.

En este ejemplo usaremos el 50% de los requerimientos de S, Co y yodo para definir la concentración requerida en la premezcla y formularla, dado que no existe información de la dieta (cuadro 43.2). También se requiere una estimación del consumo de materia seca y de la premezcla. Suponga que el venado de 60 kg consume 1.450 kg/d de MS (los venados pueden consumir entre 2.5 hasta 4% de su peso vivo; Mendoza *et al.*, 2008) y que el consumo de la sal mineralizada (esperado) es de 30 g/d (dependiendo del tipo bloque se han reportado consumos entre de 7 y 60 g/d; Mendoza *et al.*, 2011). En general, se espera que el consumo de minerales de un venado sea menor que el de un animal doméstico y esto modifica la concentración deseada para formular.

Cuadro 43.2 Concentración de minerales promedio en la dieta del venado cola blanca en agostadero de Nuevo León

Elemento	%	ppm
Ca	0.64	
P	0.04	
Mg	0.42	
K	1.37	
Na	0.35	
S	ND	
Co	ND	
Cu	0.00073	7.3
I	ND	
Fe	0.0371	371
Mn	0.00408	40.8
Se	ND	
Zn	0.00204	20.4

ND: información no disponible.

Fuente: Adaptado de Ramírez (2004), Ramírez *et al.* (1997; 2009) y McDowell *et al.* (1997).

Primero se calcula el aporte en gramos que aporta de cada elemento la ración, se muestra el ejemplo para el calcio y los resultados de los otros elementos en el cuadro 43.3 (McDowell *et al.*, 1997):

$$\text{Consumo del elemento}(g/d) = [\%\ \text{ración}][\text{CMS g}]/100 =$$

$$\text{Ca} = ([0.64] \times [1450])/100 = 9.28 g/d$$

$$\text{Zn}([0.0204] \times [1450])/100 = 0.2958\ g/d$$

En este procedimiento todos los cálculos se hacen en gramos, por lo que debe de ponerse atención en los valores de los elementos traza que generalmente se reportan en mg/kg o ppm. Recordar que errores de formulación con algunos elementos puede resultar en problemas de toxicidad.

Cuadro 43.3 Aporte de minerales de la ración de venado cola blanca en gramos por día

Elemento	% dieta	CMS g/d	Consumo de elemento de la dieta g/d
Ca	0.64	1450	9.28
P	0.04	1450	0.58
Mg	0.42	1450	6.09
K	1.37	1450	19.865
Na	0.35	1450	5.075
S	0.0371	1450	0.53795
Co	0.0073	1450	0.10585
Cu	0.0408	1450	0.5916
I	0.0204	1450	0.2958
Fe	0	1450	0
Mn	0	1450	0
Se	0	1450	0
Zn	0	1450	0

CMS: consumo de materia seca.

Se definen los requerimientos a usar, ya sean totales o el 50% del requerido. Por ejemplo, en el caso que donde se tiene la información del elemento se consideró que debería formularse al 100% del requerimiento y donde no había información al 50% (elementos Co y I). En el caso particular del selenio, debido a su importancia y considerando que formular a 0.10 ppm no representa riesgo, se consideró hacer la premezcla para cubrir el requerimiento total.

Posteriormente, se estima el requerimiento en gramos para compararlo con el aporte en gramos considerando el consumo total (gramos de MS+gramos de premezcla) incluyendo el requerimiento de cada elemento del cuadro 43.1, por ejemplo, para Ca se seleccionó 0.45, dado que las dietas de venado en vida libre tienden a ser altas en calcio (Mendoza, 2002). Para esto usamos las ecuaciones propuestas por McDowell *et al.* (1997):

$$\text{Requerimiento mineral}(g/d) = [(\text{consumo total } g/d)(\text{requerimiento } \%)]/100$$

$$\text{Requerimiento Ca} = [(1450\ g/d + 30\ g/d)(0.45)]/100 = 6.66\ g/d$$

Después se resta la cantidad del elemento consumido de cada elemento (cuadro 43.4) del requerido con la ecuación anterior para determinar los elementos que están en exceso y los que son deficientes. Como ejemplo del calcio:

$$\text{Ca: consumo requerido} = 9.28 - 6.66 = 2.62$$

El resultado positivo indica que la dieta excede los requerimientos de calcio, por lo que no debería de agregarse más calcio en la premezcla. Los resultados de todos los elementos se presentan en el cuadro 43.4. De los signos de la diferencia del cuadro 43.4, se puede concluir que la ración de los venados requiere de un suplemento mineral con P, Co, I, Se y S, mientras que los otros elementos están cubiertos. Para definir la concentración que debe de tener la premezcla mineral de los elementos a formular se aplica la siguiente ecuación (McDowell *et al.*, 1997):

$$\%\ \text{elemento en la premezcla} = 100 \times [(\text{deficiencia g/d})/(\text{consumo premezcla g/d})]$$

Como ejemplo, se estima cuánto fósforo se requiere formular en la premezcla:

$$\%\ \text{de P en premezcla} = 100 \times [(5.63)/(30)] = 18.76\%$$

Al realizar los cálculos de los elementos con signo positivo, se obtienen los siguientes resultados de concentración requerida para la premezcla con el consumo de 30 g/d: P 18.7 %, Co 0.00024667 %, I 0.00098667 %, Se 0.0004933 % y S 2.466 %. Los elementos minerales traza se deben expresar en ppm: Co 2.4 ppm, I 9.86 ppm y Se 4.93 ppm.

En estos procedimientos es útil usar hojas de cálculo de *Excel* para poder simular escenarios de posibles cambios en el consumo esperado de la premezcla mineral. También hay que considerar que hay variación individual en el consumo de las premezclas minerales por lo que se deben de tomar en cuenta estos factores durante el diseño y formulación final de las premezclas.

Los modelos de NRC de ganado de carne y leche, así como los formuladores de NDSU (Bauer, 2019) permiten incorporar las premezclas elaboradas o comerciales y con eso hacer una evaluación de la premezcla mineral con los requerimientos habiendo estimado que concentración representan del consumo de la materia seca.

Cuadro 43.4 Requerimiento de elementos en gramos, elementos consumidos por la ración y diferencia (deficiencia o exceso)

Elemento	Consumo g/d	Requerido g/d	Deficiencia o exceso g/d
Ca	9.28	6.66	-2.62
P	0.58	6.216	5.63
Mg	6.09	1.48	-4.61
K	19.865	8.88	-10.98
Na	5.075	1.48	-3.59
Fe	0.53795	0.0296	-0.508
Cu	0.10585	0.01184	-0.094
Mn	0.5916	0.0444	-0.54
Zn	0.2958	0.00444	-0.291
Co	0	0.000074	0.000074
I	0	0.000296	0.000296
Se	0	0.000148	0.000148
S	0	0.74	0.74

Para formular la premezcla, debemos contar primero con la información de las fuentes de minerales y sus aportes (cuadro 43.5). Posteriormente, debemos seleccionar fuentes que tengan concentraciones mayores a las que queremos cubrir, por ejemplo, seleccionamos los siguientes compuestos: fosfato sódico monobásico (21.8% P), carbonato de cobalto (45% Co), yoduro de potasio (68.17% I), selenato de sodio (41.8% Se) y flor de azufre (85% S).

Para conocer en un kg de premezcla por tonelada de cuanto compuesto se requiere se aplica la siguiente relación:

$$\text{Compuesto(kg/ton)} = [(\%\ \text{deseado en le premezcla})/(\%\ \text{aporta en compuesto})] \times 100$$

Se realiza el cálculo de kg de cada compuesto por tonelada de premezcla, por ejemplo, el fosfato sódico monobásico tiene 21.8% de fósforo entonces se divide el porcentaje deseado (18.78%) entre el del elemento y se calcula:

$$\text{Fosfato sódico monobásico} = (18.78/21.8) \times 1000 = 861.46\ \text{kg/ton}$$

Cuadro 43.5 Ingredientes y contenido de elementos (%) para formular mezclas minerales

Alimento	Ca	P	Na	K	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	Se	Co	S	Cl	I
Cloruro de sodio	-	-	39.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60.6	-
Fosfato dicálcico	22.0	18.5	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fosfato dicálcico	33	18.5	0.08	0.07	0.6	0.03	1.0	0.08	0.022	0.00006	-	-	-	-
Fosfato mono-cálcico	16	21	0.05	0.06	0.5	0.022	0.7	0.07	0.021	0.00006	-	-	-	-
Fosfato sódico	-	21.8	32.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tripolifosfato	-	25	31-	-	-	-	42	-	-	-	-	-	-	-
Ácido fosfórico	-	23.8	-	-	-	-	0.0005	-	-	-	-	-	-	-
Carbonato de Ca	38	-	0.06	0.06	0.5	0.027	0.033	0.002	-	0.00007	-	-	-	-
Roca fosfórica	35	13	0.03	-	0.41	0.02	1.68	0.001	0.01	-	0.001	-	-	-
Selenito de Na	-	-	26.6	-	-	-	-	-	-	45.6	-	-	-	-
Selenato de Na	-	-	24.3	-	-	-	-	-	-	41.8	-	-	-	-
Sulfato de Co	-	-	-	-	0.06	-	0.001	0.003	-	-	21	22.7	-	-
Carbonato de Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45	-	-	-
Sulfato de Cu	-	-	-	-	-	-	-	25	-	-	-	12.84	-	-
Carbonato de Cu	-	-	-	-	-	-	-	53	-	-	-	-	-	-
Oxido de Cu	-	-	-	-	-	-	-	75	-	-	-	-	-	-
Oxido de Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	73	-	-	-	-	-
Sulfato de Zn	0.02	-	-	-	-	-	-	-	36	-	-	17.68	-	-
Sulfato de Mn	-	-	0.04-	-	-	25	-	-	-	-	-	42.42	-	-
Oxido de Mn	-	-	3.4	0.2	-	60	-	-	0.42	-	-	-	-	-
Sulfato ferroso	-	-	-	-	0.05	0.12	21	0.01	-	-	-	11	-	-

Alimento	Ca	P	Na	K	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	Se	Co	S	Cl	I
Carbonato ferroso	-	-	-	-	0.31	0.35	43	0.3	-	-	-	0.4	-	-
Sulfato de Mg	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	13	-	-
Sulfato de Mg anhidro	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	26	-	-
Sulfato de K	-	-	-	44.8	-	-	-	-	-	-	-	18.3	-	-
Flor de azufre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85	-	-
Yoduro de K	-	-	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	68.17

Fuente: Recopilado de NRC (2000) y Dale y Batal (2007).

De la misma forma con los otros elementos:

Carbonato de cobalto = (0.00024667/46) × 1000 = 0.0054 kg/ton

Yoduro de potasio = (0.00098667/68.17) × 1000 = 0.0145 kg/ton

Selenato de sodio = (0.0004933/41.8) × 1000 = 0.0118 kg/ton

Flor de azufre = (2.466/85) × 1000 = 29.07 kg/ton

Para complementar la tonelada se sugiere usar Sal (NaCl), 109.43 kg/ton de premezcla (1000 menos la suma de los compuestos) o algún. La premezcla elaborada tiene P 18.78%, Na 4.29%, S 2.46%, Cl 6.62%, K 3 ppm, Co 2.46 ppm, I 9.86 ppm y Se 4.94 ppm.



Ejercicio 43

Formulación de premezcla mineral para bovinos

Elabore una premezcla para bovinos considerando que se encuentran pastoreando en pasto estrella con un contenido de Ca de 0.3%, P 0.26%, K 1.11%, Mg 0.16%, Na 0.06%, Fe 136 ppm, Cu 2.3 ppm, Zn 22 ppm y Mn 16 ppm. Considere un consumo esperado de premezcla de 50 g/d y un consumo de materia seca de 8 kg/d (7950 g de materia seca del forraje y 50 g de la premezcla). Formule una sal mineral a libre acceso que permita que la ración cubra 0.3% Ca, 0.34% P, 0.8% K, 0.08% Na, Mg 0.2%, Fe 30 ppm, Zn 30 ppm, Cu 10 ppm, Mn 30 ppm, Co 0.05 ppm, Se 0.1 ppm, I 0.025 ppm y S 0.10%.

Se recomienda que primero vaya cubriendo los requerimientos de los macrominerales, pues son los compuestos que llevarán más espacio en la premezcla, y al final, los de los elementos traza. Debe tener presente que algunos compuestos aportan más de un mineral, por lo que debe ir haciendo los ajustes correspondientes cuando haga su premezcla.

Resultados ejercicio 43

Primero se estima el aporte en gramos que aporta de cada elemento la ración con las ecuaciones. Elemento consumido (g/d)=[% ración] [CMS g]/100 y los resultados se presentan en el Cuadro 43.6.

Cuadro 43.6. Cálculos de elementos minerales consumidos del forraje

Elemento	% ración	CMS g	Elemento consumido g/d
Ca	0.30	7950	23.85
P	0.26	7950	20.67
Mg	0.16	7950	12.72
K	1.11	7950	88.245
Na	0.06	7950	4.77
Fe	0.0136	7950	1.0812
Cu	0.00023	7950	0.018285
Mn	0.0016	7950	0.1272
Zn	0.0022	7950	0.1749
Co	0	7950	0
I	0	7950	0
Se	0	7950	0
S	0	7950	0

CMS: consumo de materia seca.

Posteriormente, se estima el requerimiento con la ecuación de Requerimiento (g/d)=[(Consumo total g/d) (Requerimiento %)]/100 y se resta el requerimiento de lo consumido. Los valores negativos indican que el elemento está en exceso y los valores positivos indican que esos elementos deben de incluirse en la premezcla (cuadro 43.7).

Debe tenerse presente que este tipo de cálculo está basado en la cantidad de gramos consumidos y tener presente que el impacto de la magnitud de los resultados de las deficiencias y/o excesos es diferente para macro y microelementos. Diseñar una premezcla que asegure que se cubran las necesidades nutricionales de los minerales tendrá un impacto positivo en el comportamiento productivo y en la salud, debido a las funciones de los minerales en los procesos fisiológicos.

Entre los beneficios de una suplementación mineral bien diseñada se han reportado: incrementos en la tasa de parición, reducción de abortos no infecciosos y de mortalidad antes del destete y mayor tasa de crecimiento; todos estos resultados hacen que la suplementación mineral sea una práctica rentable para el productor, por lo que debe de hacerse con base en un buen diagnóstico nutricional.

Cuadro 43.7. Estimación de elementos deficientes y en exceso para poder formular la premezcla

Elemento	Consumo g/d	Requerido g/d	Deficiencia o exceso g/d
Ca	23.85	23.85	0.0
P	20.67	27.03	6.36
Mg	12.72	15.90	3.18
K	88.24	63.60	-24.645
Na	4.77	6.36	1.59
Fe	1.0812	0.2385	-0.8427
Cu	0.018285	0.0795	0.061215
Mn	0.1272	0.2385	0.113
Zn	0.1749	0.2385	0.0636
Co	0	0.0003975	0.00019875
I	0	0.00019875	0.0001985
Se	0	0.000795	0.000795
S	0	7.95	7.95

Para poder determinar la concentración de elementos en la premezcla, se usa la información del cuadro 43.7 y del consumo de premezcla esperada con la ecuación:

$$\%\ \text{elemento en la premezcla} = 100 \times [(\text{deficiencia g/d})/(\text{consumo premezcla g/d})]$$

Los resultados se presentan en el cuadro 43.8:

Cuadro 43.8 Concentración de elementos para formular en la premezcla

Elemento	Porcentaje
P	12.72
Mg	6.36
Na	3.18
Cu	0.12243
Mn	0.226
Zn	0.1272
Co	0.00795
I	0.0003795
Se	0.00159
S	15.90

Existen muchas posibilidades de formular esta premezcla, pero una opción es iniciar con un compuesto que cubra el elemento que requiere mayor concentración como el P para ir cuidando que el volumen no rebase 1 kg. Por ejemplo, se calcula cuanto tripolifosfato con 25% de P se requiere para que 1 kg de premezcla cubra el 12.72% con una división:

Tripolifosfato = 12.72/25 = 0.5088 kg/kg

Esto significa que la premezcla lleva el 50.88% de este compuesto por lo que se deben de seleccionar compuestos con la mayor concentración de sus elementos para que se puedan cumplir los demás elementos. Por ejemplo, sulfato de magnesio con 20% de Mg:

Sulfato de Mg = 6.36/20 = 0.318 kg/kg

Con la formulación de P y Mg se ha ocupado 0.8268 de 1 kg (0.5088+0.18). El tripolifosfato también aporta Na (31%) por lo que no es necesario incluir otra fuente de Na. Se continúa con el Cu, Mn y Zn con los compuestos que tengan mayor concentración de esos elementos:

Óxido de Cu = 0.12243/75 = 0.0016324 kg/kg

Óxido de Mn = 0.2226/60 = 0.00371 kg/kg

El óxido de Mn aporta una cantidad mínima de Zn que no justifica su ajuste. Así que se estima lo que se requiere de óxido de Zn:

Óxido de Zn = 0.1272/73 = 0.001742466 kg/kg

Se puede usar sulfato de Co para cubrir el elemento y aportar un poco del S que se requiere:

Sulfato de Co = 0.00795/25 = 0.000318 kg/kg

Se puede usar yoduro de potasio, que se formula para cubrir el yodo:

Yoduro de K = $0.0003975/68.17 = 5.83101 \times 10^{-6}$ kg/kg

Se incluye selenito de sodio que aporta Se y Na para formular Se:

$$\text{Selenito de Na} = 0.00159/45.6 = 3.48684 \times 10^{-5}\ \text{kg/kg}$$

El aporte de S del sulfato de Mg y del sulfato de Co es mínimo (0.0043), formulamos lo que se requiere para cubrir 15.90 % de S con flor de azufre:

$$\text{Flor de azufre} = 15.9/8 = 0.1870\ \text{kg/kg}$$

El volumen de todos los compuestos es de 1.02, por lo que se tiene que ajustar algún nutriente en la premezcla a 0.1657 para que quede en 1 kg. Esto aportaría 14.08 % de S.

La premezcla elaborada por elemento se presenta en el cuadro 43.9 y los elementos que aporta en el cuadro 43.10. Es claro que se puede formular por programación lineal en forma más sencilla, si se cuenta con más elementos para formular.

Cuadro 43.9 Premezcla formulada por elemento

Compuesto	kg/ton
Tripolifosfato	508.8
Sulfato de Mg	318.0
Óxido de Cu	1.6324
Óxido de Mn	3.71
Óxido de Zn	1.7424
Sulfato de Co	0.318
Yoduro de K	0.00531
Selenito de Na	0.03486
Flor de azufre	165.75

Nota: Se ajusta a 1000 por diferencia en los dígitos.

El diseño de una premezcla debe de acompañarse con la revisión continua de literatura sobre elementos minerales en la especie (rango de concentraciones recomendadas, niveles tóxicos), compuestos disponibles para aportarlos (orgánicos, quelados, hidroxi-minerales), y diferencias regionales (minerales en suelo). Se pueden ajustar los niveles de algunos elementos bajo condiciones de estrés, pero debe tenerse presente las implicaciones ambientales de algunos elementos como el P que pueden ser contaminantes.

Cuadro 43.10 Elementos que aporta la premezcla mineral

Total	Porcentaje	ppm
Ca	0	
P	12.72	
Mg	6.36	
K	0	
Na	3.18	
Fe	0	
Cu	0.12243	
Mn	0.2226	
Zn	0.1272	
Co		7.95
I		3.975
Se		1.59
S	14.08	
Cl	0	

La formulación matemática de las premezclas se puede realizar en forma sencilla con hojas de cálculo de *Excel*, pero el criterio deberá construirse basado en el conocimiento científico y en las experiencias analizadas críticamente.

Ejercicio 44

Formulación de premezcla mineral con programación lineal

La formulación de premezclas es complicada y requiere de aplicar criterios y en ocasiones reducir el nivel de algún elemento para poder realizar una solución factible. Por ejemplo, se sugiere modificar los niveles del cuadro 43.8 reduciendo los niveles de S (por ejemplo, a 11 %). Elabore una premezcla mineral con programación lineal para resolver la matriz del cuadro 44.1. Presentar los resultados por kg y por ton de premezcla. Indique el costo por kg y la concentración mineral de cada elemento (% y ppm). Se sugiere usar el programa *Solver*, dado que el *software* Lingo tiene limitaciones cuando se trabaja con algunas matrices.

Otra opción para resolver problemas con programación lineal la encontramos en los programas de Bauer (2016) para ganado de carne, ganado lechero, caballos, aves domésticas, ovinos y cerdos que se revisan en este libro posteriormente. También la versión del software de ganado de carne NRC (2000) tiene la opción de formular a mínimo costo. El usuario tiene muchas opciones, pero lo más importante es que tenga claro la estructura de las matrices de programación lineal y recordar que ningún programa sabe nutrición, solo resuelven ecuaciones matemáticas.

Cuadro 44.1 Información para elaborar una premezcla mineral con programación lineal

		Carbona de Ca	Fosfato dicálcico	Sulfato de Mg	NaCl	Oxido de Cu	Sulfato de Mn	Oxido de Mn	Flor de S	Sulfato de Co	Yoduro de K	Selenito de Na	Oxido de Zn	Tripolifosfato
Costo/kg		5.0	10.0	10.0	1.5	12.0	9.8	4.5	2.5	6.0	15.0	20.0	10.0	8.0
Requerimiento														
Volumen	=1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ca, %	>0.0	38	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P, %	>13	-	18.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25
Mg, %	>6.5	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na, %	>0.0	-	0.08	-	39.3	-	0.04	3.4	-	-	-	26.6	-	-
Cu, %	>0.09	-	-	-	-	75	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn, %	>0.22	-	-	-	-	-	26	60	-	-	-	-	-	-
Zn, %	>0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73	-
S, %	>11	-	-	13	-	-	11	-	85	22.7	-	-	-	-
Co, ppm	>8	-	-	-	-	-	-	-	-	4500000	-	-	-	-
I, ppm	>4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	681700	-	-	-
Se, ppm	>16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	456000	-	-

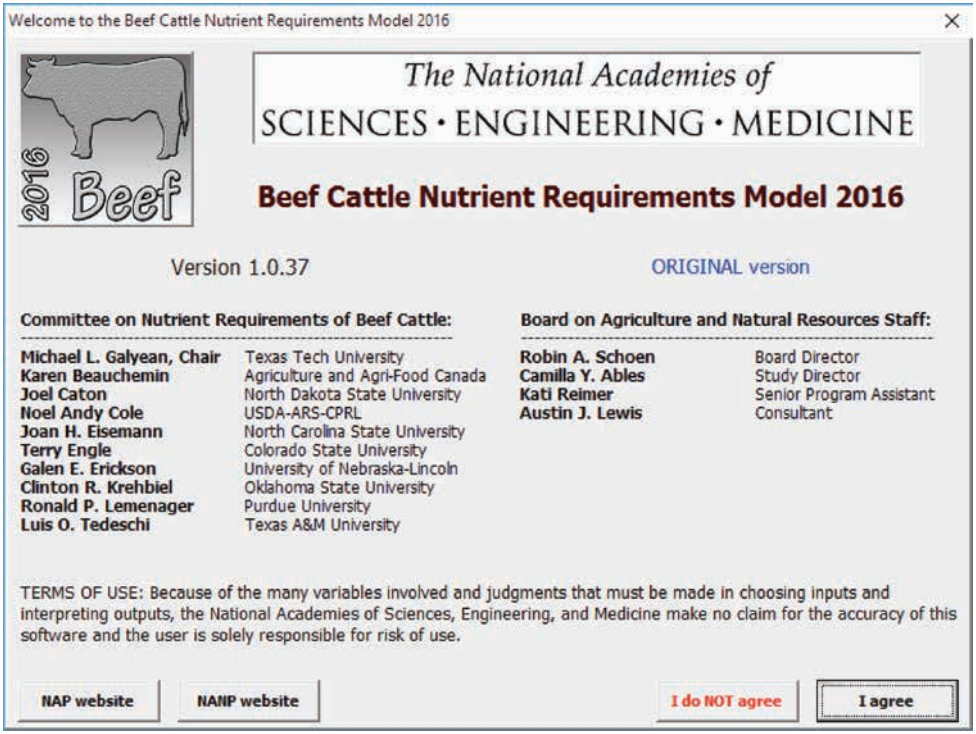
Resultados ejercicio 44

Los resultados de la premezcla se presentan en el cuadro 44.2. La programación lineal permite hacer una formulación más sencilla y eficiente de las premezclas minerales y permite incluir más compuestos.

Cuadro 44.2 Resultados de la premezcla con programación lineal

Premezcla	kg/kg	kg/ton
Costo	$ 7.76	
Sulfato de Mg	0.3250	325.0
Cloruro de Na	0.068604	68.60438
Óxido de Cu	0.0012	1.2
Sulfato de Mn	0.003667	3.66667
Flor de S	0.079705	79.70541
Sulfato de Co	0.0000177778	0.0177778
Yoduro de K	0.00003509	0.003509
Selenito de Na	0.00003509	0.003509
Óxido de Zn	0.001781	1.78081
Tripolifostato	0.52	520

Nutrientes	Inclusión de nutrientes en dieta
Volumen, kg	1.00
Ca %	0.00
P %	13.00
Mg %	6.50
Na %	2.71
Cu %	0.09
Mn %	0.22
Zn %	0.13
S %	11.00
Co ppm	8.00
I ppm	4.00
Se ppm	16.00


Welcome to the Beef Cattle Nutrient Requirements Model 2016
2016 Beef
The National Academies of
SCIENCES • ENGINEERING • MEDICINE
Beef Cattle Nutrient Requirements Model 2016
Version 1.0.37
ORIGINAL version
Committee on Nutrient Requirements of Beef Cattle:
Michael L. Galyean, Chair Texas Tech University
Karen Beauchemin Agriculture and Agri-Food Canada
Joel Caton North Dakota State University
Noel Andy Cole USDA-ARS-CPRL
Joan H. Eisemann North Carolina State University
Terry Engle Colorado State University
Galen E. Erickson University of Nebraska-Lincoln
Clinton R. Krehbiel Oklahoma State University
Ronald P. Lemenager Purdue University
Luis O. Tedeschi Texas A&M University
Board on Agriculture and Natural Resources Staff:
Robin A. Schoen Board Director
Camilla Y. Ables Study Director
Kati Reimer Senior Program Assistant
Austin J. Lewis Consultant
TERMS OF USE: Because of the many variables involved and judgments that must be made in choosing inputs and interpreting outputs, the National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine make no claim for the accuracy of this software and the user is solely responsible for risk of use.
NAP website
NANP website
I do NOT agree
I agree

Ejercicio 45

Estimación de aporte de elementos de una premezcla mineral

Un colega veterinario le ofrece una premezcla que recomienda para pastoreo y para corral de engorda con la siguiente formulación por kg de premezcla: $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 180 g; $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 80 g; $MnSO_4 \cdot 5H_2O$ 260 g; $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ 490 mg; KI 210 mg; Na_2SeO_3 120 mg. Considere que el producto usa NaCl como vehículo. Estime el aporte por kg de cada elemento y decida si es conveniente usar esa premezcla.

Resultados del ejercicio 45

Primero se estima la composición de la premezcla de los compuestos en 1 kg (Cuadro 45.1) poniendo los elementos en la misma unidad. Nótese que la suma de los compuestos es de 520.8 gramos por lo que la cantidad de sal se estima por diferencia para llegar a 1000 gramos.

En este tipo de premezclas es muy común que se use sal común como vehículo. En este caso la sal representa el 47.92 % de la mezcla. Hay ocasiones donde llega a constituir el 90 %. En algunas regiones del país llegan a usar combinaciones de sal con harina de hueso como vehículo. En esos casos se tendría que considerar los aportes minerales de todos los componentes.

Cuadro 45.1. Cálculos para estimar la fórmula de compuestos de la premezcla mineral

Compuestos	Cantidad	gramos	1 kg
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	180 g	180	0.18
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	80 g	80	0.08
$MnSO_4 \cdot 5H_2O$	260 g	260	0.26
$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	490 mg	0.49	0.00049
KI	210 mg	0.21	0.00021
Na_2SeO_3	120 mg	0.1	0.0001
NaCl		479.2	0.4792
Total		1000	1

Para estimar el aporte de elementos se requiere primero obtener el peso molecular de cada elemento en la tabla periódica presente en el compuesto por ejemplo en el $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ y se coloca en una columna (cuadro 45.1). Se cuentan los elementos en presentes en el compuesto, por ejemplo el Hidrógeno, son dos moléculas en el agua pero esta hidratado (7) por lo que está en un total de 7 (columna b). Posteriormente se multiplica cada compuesto por su peso molecular y se suma el total y se obtiene el peso molecular del compuesto (en este caso 277.99). Si deseamos saber el aporte de Fe, dividimos su aporte en el compuesto (55.85/277.99) *100=20.09.

Cuadro 45.2 Cálculo de aporte de Fe y S en el compuesto heptahidratado

Elemento	Peso molecular (a)	No. de elementos en el compuesto (b)	a x b	% elemento 100 [(axb)/c]
Fe	55.84	1	55.84	20.09
S	32.06	1	32.06	11.53
O	16.00	4	64	
H	1.01	14	14.098	
O	16.00	7	112	
Total			277.998 (c)	

Proceda a calcular el aporte de todos los compuestos de la premezcla de interés para formulación, los minerales macro en % (S, Na, Cl y K) y los micro en mg/kg (Fe, Cu, Mn, Co, I y Se). Una vez que tenga esa información, multiplique el % de cada elemento o los mg/kg por el resultado de la fórmula del compuesto

(cuadro 45.1) y obtendrá el aporte de los elementos. Por ejemplo, para el Fe, se estimó que la formula tiene en 1 kg de sulfato ferroso heptahidratado 0.18, multiplicado por 20.08% Fe, el resultado es de 3.6144% o 36100 mg/kg. Tenga presente que hay varios compuestos que aportan S.

No existe ninguna premezcla que se pueda usar en forma generalizada para raciones de engorda y pastoreo a la vez por lo que no se recomendaría esta premezcla sin un diagnóstico. Se debería poner atención a ciertos elementos, por ejemplo, la concentración de Fe es muy alta y a pesar de que se use la premezcla en cantidades limitadas se debe de cuidar que no pase de 2000 mg/kg en la ración para evitar problemas de toxicidad.



Elaboración de bloques minerales y multinutricionales

Los bloques minerales son uno de los métodos desarrollados para mejorar el estatus nutricional del ganado que ha dado buenos resultados en diferentes partes del mundo (Salem y Nefzaoui, 2003; Wu *et al*., 2005; Unal *et al*., 2005). Los resultados de experimentos indican que el uso de bloques incrementa el consumo del forraje, el rendimiento de leche o la ganancia de peso de los rumiantes suplementados (Ducker *et al*., 1981; Coronel, 1996; García *et al*., 2000b; Usman *et al*., 2004; Kayastha *et al*., 2012 Galeta *et al*., 2013). Además de ser comunes en rumiantes domésticos, se han usado bloques para equinos, conejos y venados (Nouel *et al*., 2003; Mendoza *et al*., 2012; Galindo, 1994).

Los bloques pueden ser solo de minerales o incluir otros ingredientes como melaza, urea, pajas, esquilmos, premezclas vitamínicas y minerales, aditivos como levaduras y ionóforos (Crosby *et al*., 1996; Flores *et al*., 1996; De y Singh, 2003); a estos se les denomina bloques multinutricionales. Pueden mejorar la utilización de la dieta basal (Uñal *et al*., 2005) si aportan nutrientes que se requieran para favorecer la actividad microbiana en el rumen en animales alimentados con forrajes de baja calidad (Usman *et al*., 2004), además de que son de fácil envasado, almacenamiento y transporte (Kayastha *et al*., 2012; Salem y Nefzaoui, 2003). Los resultados indican que los bloques mejoran la respuesta animal, digestibilidad y utilización de nutrientes (Uñal *et al*., 2005; Wu *et al*.,

2005; Kayastha *et al*., 2012; Mijares-López *et al*., 2012) dado que a la adición de nitrógeno, energía y minerales estimulan la actividad microbiana en el rumen (Usman *et al*., 2004).

Existen bloques comerciales, pero también se pueden elaborar en las unidades de producción usando melaza, cal, minerales, urea y rastrojo y los efectos benéficos en la digestibilidad pueden ser similares si las raciones basales son deficientes en minerales y N (Mendoza *et al*., 2012). Existen métodos de preparación fáciles (Martínez, 2007) o industriales; pueden ser almacenados durante largo tiempo en condiciones secas; son fácilmente transportados: permiten un consumo gradual por los animales; por lo que representan un recurso económico de nutrientes (Usman *et al*., 2004; Kayastha *et al*., 2012).

El consumo de bloques multinutricionales debe de medirse en cada unidad por especie y es variable. El promedio de varios artículos para bovinos es de 278 gramos/día, pero se ha reportado que varios factores como la dureza (Birbe *et al*., 2006; Soto *et al*., 2001), el nivel de urea en el bloque (El Fouly y Leng, 1986), la disponibilidad de forraje (Rios y Combellas, 1996) y la época del año (Alvarez y Combellas, 1995), pueden modificar el consumo del bloque. En una evaluación de bloques comerciales en unidades productivas, las ovejas consumieron en promedio 270 g diarios, pero hubo una gran variación de 5 a 27% de animales no consumieron el bloque (Ducker *et al*., 1991). En algunos estudios se han reportado consumos de bloques minerales alrededor de 30 a 40 g diarios (Sanginés *et al*., 1989).

La suplementación con bloques de minerales, urea y melaza a dietas basadas en pajas incrementó la digestibilidad de 5 a 9 unidades en bovinos (Toppo *et al*., 1997), pero no siempre se observan cambios en consumo (Debasis y Singh, 2003; Garg y Gupta, 1992). En ovejas alimentados con forrajes de mayor calidad, la suplementación con bloques minerales con urea incrementó la digestibilidad de la MS en un 13% lo cual se explica por una mayor tasa de degradación ruminal (Wu *et al*., 2005).

Para elaborar el bloque se requiere incorporar un agente aglutinante como el óxido de magnesio, la bentonita, el óxido de calcio, el hidróxido de calcio y el cemento (este último no se recomienda por los niveles de metales pesados que puede contener) y está prohibido en algunos países como EUA por el USDA. En el cuadro 43.4 se muestran algunos ejemplos de bloques que dependiendo del proceso de elaboración cambia el nivel y tipo de aglutinante (Feedipedia).

El proceso caliente 1 (cuadro 45.1) incluye melaza, urea, óxido de magnesio, carbonato de calcio y bentonita, consiste en una cocción a una temperatura de 100-120 °C durante unos 10 minutos. En el proceso caliente 2 se calienta la melaza (40-50 °C) y posteriormente se agrega urea sin agua, el agente aglutinante es óxido de calcio y se incluyen otros ingredientes. Los procesos fríos se realizan a temperatura ambiente y solo tardan más tiempo en secarse los bloques. Se recomienda mezclar en el siguiente orden: melaza, urea (disuelta en agua), sal, óxido de calcio y el vehículo que puede ser salvado o algún esquilmo como rastrojo. La mezcla se vierte entonces en moldes de plástico o madera y el tiempo de secado depende de las condiciones climáticas (Feedipedia). Los bloques pueden servir como vehículo de aditivos como levaduras (Flores *et al.*, 1996), enzimas fibrolíticas, grasas, desparasitantes, ionóforos (De y Singh, 2003), solo que debe tenerse la precaución de las especies que pueden tener acceso a los bloques pues los ionóforos son extremadamente tóxicos para equinos y también ocasionan daños a cerdos (Merck, 2014).

Cuadro 45.3 Ejemplos de fórmulas bloques elaborados con distintos procesos

Ingrediente/Proceso	Caliente 1	Caliente 2	Frío	Frío
Melaza	60	55	*50*	50
Urea	10	7.5	*10*	10
Sal	-	5	*5*	5
MgO	5	-	-	-
CO_3Ca	4	-	-	-
Bentonita	1	-0	-	-
CaO	-	10	*5*	-
Cemento	-	-	*5*	10
Harinolina o salvado	20	22.5	*25*	25

También se pueden incorporar algunos productos como ácido propiónico (0.5 a 1 %) como conservadores (López *et al.*, 2004), o bien propionatos de Na o de Ca como fuentes de energía, considerando que el consumo no sea mayor al 1 % del total de la materia seca (Bas *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2012). Si se incluyen grasas o vitaminas es recomendable incluir algún antioxidante. El criterio del nutriólogo es importante en la formulación del bloque. En el cuadro 45.2 se muestran tipos de bloques usados en bovinos y el rango en que han sido usados distintos compuestos, ingredientes y aditivos.

Cuadro 45.4 Ejemplo de fórmulas de bloques multinutricionales y niveles usados

	Bloque 1 (%)	Boque 2 (%)	Rango (%)	
Melaza	40	38	10	50
Urea	10	10	10	14
Cal	10	8	2	10
Minerales	5	5		15
Sal	0	6	0	8
Granos o salvados	0	19	0	25
Pastas de oleaginosas	0	10	0	10
Pajas	30			
Forrajes	0		0	25
Aditivos	4		0	5
Ionóforo	0	0.0001		
Azufre	1		0	1
Bentonita	0	4	0	3
Oxido de Mg	0		0	3

Fuente: Elaborado con información de Flores *et al.* (1996); Birbe *et al.* (2006); De *et al.* (2003); Garg y Gupta (1992).



Diseño de bloques minerales

Para formular un bloque mineral es necesario contar con la información de la concentración mineral del forraje o la dieta basal, del requerimiento y tener una estimación del consumo de bloque de la especie. Primero se define la concentración por kg del elemento (% los macro y ppm los micros elementos) que requiere la especie con NRC (2007) o McDowell (1997). Como ejemplo se usará información para calcular la concentración de elementos para vacas lactando de doble propósito. Primero se define la recomendación del requerimiento (primera columna del cuadro 46.1). Se asume un consumo de materia seca, en este ejemplo 12 kg; posteriormente, se estima el consumo de cada elemento en gramos o mg con base en el requerimiento establecido, como se muestra en la segunda columna del cuadro 46.1. Después, con base en la concentración del elemento en el pasto o ración basal, se estima el consumo del elemento y así se puede estimar si existe deficiencia o exceso de consumo de cada mineral. Para saber que concentración se requiere en el bloque se divide la deficiencia estimada (g o mg) entre el consumo estimado de premezcla que en este caso se asume 60 g/d y se multiplica por 100 (cuadro 46.1). Se muestran los ejemplos de cálculos para el fósforo y el zinc:

$$\text{Requerimiento de P} = 12{,}000\ \text{g} \times (0.3/100) = 36\ \text{g/d}$$

$$\text{Consumo de P} = 12{,}000\ \text{g} \times (0.23/100) = 27.6\ \text{g/d}$$

Deficiencia de P = 36 - 27.6 = 8.4 g

Contenido de P en bloque = (8.4/60) × 100 = 14%

Requerimiento de Zn = 12 kg(40 mg/kg) = 480 mg/d

Consumo de Zn = 12 kg × (27.3 mg/kg) = 327.6 mg/d

Deficiencia de Zn = 480 - 327.6 = 152.4 mg

Contenido de Zn en bloque = (152.4/60) × 1000 = 2540 ppm

Los elementos en exceso o en equilibrio no se incluyen en la formulación del bloque. Para formular el bloque se puede elaborar un modelo de programación lineal con los aglutinantes, vehículos, costos, y poner algunos limites algunos elementos que a criterio del nutriólogo deban de restringirse, por ejemplo, cobre en ovinos. También se pueden incrementar los requerimientos por otros criterios, por ejemplo, en estrés calórico se puede incrementar el nivel de potasio (Harris y García-Bojalil, 1992).

El contenido mineral de los alimentos puede ser variable por lo que sería recomendable analizar los alimentos para conocer el contenido mineral real, sin embargo, esto no siempre es posible por lo que se usa como guía la información reportada en las tablas de composición. Una vez formulado el bloque y medido el consumo, debe de corroborarse la relación calcio a fósforo de acuerdo con la etapa fisiológica del ganado suplementado. Debe de revisar bien los compuestos usados en la elaboración de los bloques para asegurarse de que haya formulado en forma correcta.

En la formulación de bloques, además de minerales se pueden incorporar otros compuestos como propionato de calcio, mezclas poliherbales nutracéuticas, aminoácidos ruminalmente protegidos, enzimas fibrolíticas exógenas o algún otro aditivo de interés que pueda mejorar el comportamiento productivo o la salud. Algunos compuestos tienen el potencial de reducir el metano ruminal, por ejemplo, el propionato de calcio durante su disociación captura el ion de hidrógeno reduciendo su disponibilidad para formar metano en el rumen. Algunos fitobióticos tienen saponinas que tienen acción en microrganismos del rumen reduciendo la formación de metano.

Cuadro 46.1 Información necesaria para calcular la formulación de bloques minerales para vacas de 450 kg en trópico

Elemento	Requerimiento concentración por kg	Requerimiento diario en gramos o mg	Concentración en pasto	Consumo del elemento	Deficiencia o exceso	Elementos en premezcla
P (%, g/d)	0.3	36	0.23	27.6	-8.4	14.0
Ca (%, g/d)	0.4	48	0.38	45.6	-2.4	4.0
Mg (%, g/d)	0.25	30	0.2	24	-6	10.0
Na (%, g/d)	0.18	21.6	0.1	12	-9.6	16.0
K (%, g/d)	0.95	114	1.3	156	+42	0.0
Zn (ppm, mg/d)	40	480	27.3	327.6	-152.4	2540
Mn (ppm, mg/d)	40	480	40	480	0	0
Cu (ppm, mg/d)	10	120	7.6	91.2	-28.8	489
Co (ppm, mg/d)	0.1	1.2	0.1	1.2	0	0
I (ppm, mg/d)	0.6	7.2	0.4	4.8	-2.4	40
Fe (ppm, mg/d)	50	600	150	1800	+1200	0

Consumo de materia seca 12 kg, consumo de bloque 60 g/vaca.



Ejercicio 46

Formulación de bloque mineral para ovinos

Se tiene una ración basada en rastrojo de maíz y residuos de maíz para la engorda de ovinos y se desea formular un bloque mineral que aporte el 100% de los requerimientos de Cu, Fe, Co, I y Se (Lao, 2002) y el 110% del de Ca, P, S, Zn y Mn de requerimientos del NRC pues se ha demostrado que se mejora el crecimiento aumentando a ese nivel esos elementos (Sharma *et al.*, 2004).

Utilice las recomendaciones del cuadro 34.12 de elementos minerales como base para diseñar su bloque. Tome en cuenta la información del cuadro 46.2 para elaborar el bloque considerando que los agentes aglutinantes deben sumar más 10% del bloque. Incluya vitaminas en el bloque para cubrir los requerimientos de A y E. Considere un consumo de 1.0 kg de materia seca diario y 30 gramos de bloque para poder calcular la concentración que requiere el bloque. Posteriormente, para formular utilice los compuestos del cuadro 46.2. Considere que la composición de los compuestos está en porcentajes y los requerimientos de los minerales traza se deben formular en mg/kg. Utilice salvado como vehículo. Asigne los precios de acuerdo con su región. Una vez formulado su bloque, estime el consumo de todos los elementos minerales para asegurarse de que no existe ningún riesgo de toxicidad.

Cuadro 46.2 Ingredientes y contenido de elementos (%) para formular bloques

	P	Ca	Na	K	Mg	Zn	Mn
Fosfato monocálcico	8.88	6.4					
Fosfato monodicálcico	21	16	0.05	0.05	0.022	0.021	
Fosfato dicálcico	18.5	22	0.08	0.06	0.5	0.021	0.022
Fosfato dicálcico	18	33	0.08	0.07	0.6	0.022	0.03
Carbonato de Ca		38	0.06	0.06		0.5	0.027
Fosfato sódico	21.8		32.3				
Ácido fosfórico	23.8						
Tripolifosfato	25		31				
Roca fosfórica	13	35	0.03		0.41	0.01	0.02
NaCl			39.3				
Selenito de Na			26.6				
Selenato de Na			24.3				
Sulfato de Mn			0.04				25
Sulfato de Zn		0.02				36	
Sulfato de Co					0.06		
Sulfato de K				44.8			
Sulfato de Mg					20		
Sulfato de Mg anhidro					10		
Óxido de Mn		3.4	0.2		0.42	60	
Sulfato ferroso					0.05		0.12
Carbonato ferroso					0.31		0.35
Yoduro de K				21			
Óxido de Zn					73		
Óxido de Mg				60.3			
Proteinato de Zn						15	
Bentonita	0.004364	5.5460	0.463660	0.323757	1.417		0.012
Óxido de calcio	71.47						
Salvado	1.29	0.13	0.13	0.07	1.4	0.26	0.0105

Cuadro 46.3 Ingredientes y contenido de elementos (% o UI/kg para fuentes de vitaminas)

	Cu	Co	I	Fe	Se	S	Vitamina A	Vitamina E
Fosfato mono-cálcico	0.07			0.7	0.00006			
Fosfato dicálcico	0.07			0.7	0.00006			
Fosfato dicálcico	0.08			1	0.00006			
Carbonato de Ca	0.002			0.033	0.00007			
Ácido fosfórico				0.0005				
Tripolifosfato				42				
Roca fosfórica	0.001	0.001		1.68				
Selenito de Na					45.6			
Selenato de Na					41.8			
Sulfato de Mn						42.42		
Sulfato de Zn						17.68		
Sulfato de Cu	25					12.84		
Sulfato de Co	0.003	21		0.001				
Sulfato de K						18.3		
Sulfato de Mg						13		
Sulfato de Mg anhidro						26		
Sulfato ferroso	0.01			21		11		
Carbonato ferroso	0.3			43		0.4		
Carbonato de Co		45						
Yoduro de K			68.17					
Carbonato de Cu	53							
Óxido de Cu	75							
Flor de azufre						85		
Bentonita				2.7451				
Óxido de hierro				34.97				
Premezcla Vitaminas							7500000	16245
Salvado	0.01	0.0121		0.01		0.23	5.2	29.9

Resultados ejercicio 46

Primero es necesario definir el requerimiento objetivo (primera columna del cuadro 46.4); posteriormente estimar la concentración de nutrientes en la ración basal con base en tablas (tercera columna del cuadro 46.4). En este caso, se modificaron los requerimientos del NRC para obtener el 110 % de los valores de Ca, P, S, Zn y Mn del cuadro 34.12.

Cuadro 46.4 Información necesaria para calcular la formulación de bloques minerales para ovinos

Elemento	Requerimiento por kg	Requerimiento diario	Concentración en dieta basal	Consumo del elemento	Deficiencia o exceso	Elementos en premezcla
P (%, g/d)	0.33	3.3	0.11	1.1	2.2	7.33
Ca (%, g/d)	0.66	6.6	0.4	4.0	2.6	0.087
Mg (%, g/d)	0.25	2.5	0.25	2.5	0	0
Na (%, g/d)	0.3	3	0.06	0.6	2.4	0.08
K (%, g/d)	0.95	9.5	1.2	12.0	-2.5	0
Zn (ppm, mg/d)	55	55	18	18	37	123
Mn (ppm, mg/d)	55	55	37	37	18	600
Cu (ppm, mg/d)	5	5	4.1	4.1	0.9	30
Co (ppm, mg/d)	0.4	0.4	0.02	0.02	0.38	12.7
I (ppm, mg/d)	0.5	0.5	0	0	0.5	16.7
Fe (ppm, mg/d)	50	50	129	129	-79	0
S % (%, g/d)	0.2	2	0.11	1.1	0.9	30
Mo (ppm, mg/d)	0.25	0.25	0	0	0.25	8.3
Se (ppm, mg/d)	0.5	0.5	0.04	0.04	0.46	15.3
Vitamina E (UI)	15	15	1	1	9	300
Vitamina A (UI)	1000	1000	1309	1309	309	0

El consumo en gramos o mg se estimó con un consumo de 1000 gramos diarios, por y un consumo de 30 gramos de bloque:

$$\text{Requerimiento de P} = 1000\ \text{g} \times (0.33/100) = 3.3\ \text{g/d}$$

$$\text{Consumo de P} = 1000\ \text{g} \times (0.11/100) = 1.1\ \text{g/d}$$

$$\text{Deficiencia de P} = 3.3 - 1.1 = 2.2\ \text{g}$$

$$\text{Contenido de P en bloque} = (2.2/30) \times 100 = 7.33\%$$

Requerimiento de Zn = 1 kg × (55 mg/kg) = 55 mg/d

Consumo de Zn = 1 kg × (37 mg/kg) = 37 mg/d

Deficiencia de Zn = 55 - 37 = 18 mg

Contenido de Zn en bloque = (18/30) × 1000 = 123 ppm

Existen muchas posibilidades de formular un bloque con esos nutrientes, pero se recomienda usar programación lineal para obtener un bloque con costos económicos. Considerar en las restricciones que el calcio no exceda dos veces la cantidad de fósforo, que los aglutinantes constituyan el 10 %, que las fuentes de sulfatos no sean en cantidades excesivas, y que el hierro esté en cantidades mínimas. En el cuadro 46.5 se presenta una fórmula de bloque que cumple con los nutrientes requeridos.

Cuadro 46.5 Fórmula de bloque mineral.

Compuesto	mg/kg
Fosfato monocálcico	721.6166
Selenato de Na	0.36
Óxido de Mn	1.0
Sulfato de Co	0.006190476
Sulfato de Mn	0.24
Yoduro de K	0.002493766
Óxido de Cu	0.002666642
Cloruro de Na	0.5
Flor de azufre	35.17434
Óxido de calcio	100.0
Premezcla de vitaminas	1.846722
Cloruro de sodio	139.25
Total	999.99

El bloque tiene 11.9 % de calcio, 4.7 % de Na, 1.77 ppm de Zn, 13850 UI de vitamina A y se limitó a 5000 ppm de hierro. Es importante que no se tengan muchas fuentes de sulfatos en el bloque y que se limite la cantidad de sal, en este caso se limitó a un máximo de 10 % y se incluyó el aglutinante a un 10 %.

Se cubren los requerimientos de otros nutrientes. Este bloque se formuló con el *software* Lingo, dado que el programa LINDO presenta problemas para resolver este tipo de situaciones con valores numéricos tan grandes y pequeños.

Formulación de raciones para conejos

En la formulación de raciones para conejos se tienen que considerar varios componentes del alimento. Debido a su tracto gastrointestinal, los conejos pueden tolerar dietas altas en fibra. Se considera que el crecimiento es máximo con niveles de 18 a 21 % de FDA y niveles de ED de 2.3 a 2.4 Mcal/kg (sin grasa dietaría). En dietas con más de 35 % de FDA se reduce la ganancia de peso, el consumo, la eficiencia y pueden incrementar la mortalidad (de Blas y Mateos, 2010).

Las características fisicoquímicas de la pared celular modifican la digestión y el comportamiento de los conejos, sin embargo, la fuente más común es el heno de alfalfa. La inclusión de niveles moderados de fibra soluble (120 g de FDN/kg) en dietas postdestete mejora las condiciones de la mucosa intestinal y reduce la mortalidad, mientras que altos niveles (por ejemplo con pulpa de cítricos) modifica el tiempo de retención afectando negativamente el comportamiento de los conejos en crecimiento o reproductoras (de Blas y Mateos, 2010).

Los niveles de grasas recomendados son máximo 30 g/kg de diferentes fuentes y, generalmente, se incrementa la digestibilidad de la energía, la eficiencia de utilización del alimento y se reduce el consumo. Su nivel dentro de ese límite debe de establecerse por su utilidad en la elaboración de pellets y por costo usando programación lineal (de Blas y Mateos, 2010). Cuando se usan grasas es

recomendable incluir algún antioxidante como el etoxiquina en dosis de 150-250 g por ton o algún otro como BHA (200-300 g/ton), BHT (120-200 g/ton), BHQ (200-250 g/ton) o vitamina E (400 g/ton). Para formular raciones para conejos se recomienda considerar los requerimientos que se encuentran en varios capítulos del libro de Blas y Wiseman (2010), así como las tablas del NRC (1977). Algunos límites de alimentos usados en conejos se presentan en el cuadro 47.1 y los requerimientos para dietas de conejos de engorda en el cuadro 47.2.

Cuadro 47.1 Niveles máximos de alimentos recomendados para conejos

Alimentos	Porcentaje
Granos (cebada, trigo)	10-20
Grasas vegetales o animales	0.5-3.0
Melaza	3.0
Subproductos de cereales (salvados, gluten, granos de destilería)	15-35
Heno de alfalfa	15-30
Subproductos lignocelulósicos (paja de trigo)	5-15
Concentrados proteínicos (soya)	12-22

Cuadro 47.2 Recomendaciones para formular raciones para conejos de engorda (concentración por kg)

Nutriente	Mínimo	Máximo
Proteína %	16	19
FDN %	28	36
Fibra soluble %		20
Ca %	0.4	0.8
P %	0.22	0.8
Na %	0.2	0.7
Lisina %	0.65	
ED Mcal/kg	2.8	

FDN: fibra detergente neutro; ED: energía digestible.

Ejercicio 47

Formulación de raciones para conejos con programación lineal

Formule una ración para conejos con los requerimientos del cuadro 46.3 y considerando un máximo de aceite vegetal 3%, maíz 25%, salvados 25%, sal 0.75% y otras limitantes del cuadro 47.1, usando programación lineal, los alimentos, composición y precios del cuadro 47.3. Calcule el contenido de nutrientes de la ración.

El conocimiento de nutrición en conejos ha avanzado al igual que el mejoramiento genético y con eso las necesidades de nutrientes y la importancia de formular raciones con mayor precisión. Hay razas de conejos con una rápida tasa de crecimiento lo que implica poner atención especial en las necesidades de proteína y de aminoácidos. Los conejos son herbívoros por lo que es importante cubrir los requerimientos de fibra vegetal (FDN, FDA) para mantener un tracto gastrointestinal sano. Estas consideraciones deben de tenerse presente para cuando se diseña la matriz de programación lineal.

Otro aspecto a considerar en la formulación de raciones para conejos son los niveles recomendados de algunos alimentos, en general se recomienda restringir entre 10 a 20% los granos y las grasas y aceites a un máximo de 3%, la melaza máximo 3%, los subproductos de granos de 15 a 35%, las pastas oleaginosas de 12 a 22% y se recomienda incluir harina de alfalfa entre 15 y 30%.

Cuadro 47.3 Composición y precios para formular una ración para conejos (concentración por kg)

Ingrediente	Nutriente								
	Precio $/kg	Proteína %	Lisina %	FDN %	Fibra soluble %	Ca %	P %	Na %	ED Mcal/kg
Sorgo	3.37	8.9	0.27	8	0.1	0.04	0.29	0.03	3.745
Salvado trigo	1.09	17.5	0.6	40	0.1	0.14	1.17	0.1	2.4
Alfalfa	4.01	16	0.73	41.8	18.8	1.4	0.2	0.06	2.47
Salvado maíz	1.66	18	0.6	45	0.1	0.36	0.82	0	2.3
Melaza	4.94	5.8	0	0	13.7	0.68	1.17	0	2
Maíz	3.7	10	0.24	9.5	0.1	0.03	0.2	0.01	3.8
Pasta soya	5.55	45	2.9	12.4	9.9	0.25	0.6	0.04	3.59
Aceite	0.005	0	0	0	0	0	0	0	8.7
Carbonato de Ca	0.5	0	0	0	0	38	0	0.06	0
Fosfato	5.5	0	0	0	0	22	18.5	0.08	0
Fosfato de Ca (mono)	7.25	0	0	0	0	21.58	21.18	0.84	0
Sal	6.02	0	0	0	0	0	0	39.3	0
Premezcla	5	0	0	0	0	0	0	0	0
Lisina sintética	80	0	98	0	0	0	0	0	0

FDN: fibra detergente neutro; ED: energía digestible.

Resultados ejercicio 47

Las ecuaciones para ingresar en cualquier modelo de programación lineal se presentan en el cuadro 47.4. Se puede apreciar que la ecuación de salvados incluye la combinación de ambos. La solución en el cuadro 47.5.

En el cuadro 47.5 se muestran costos y nutrientes. La ración tuvo el mínimo de FDN y poca concentración de fibra soluble. Se usó el máximo nivel de aceite, por lo que la premezcla debería incluir antioxidante.



Cuadro 47.4 Matriz de ingredientes para resolver en programación lineal

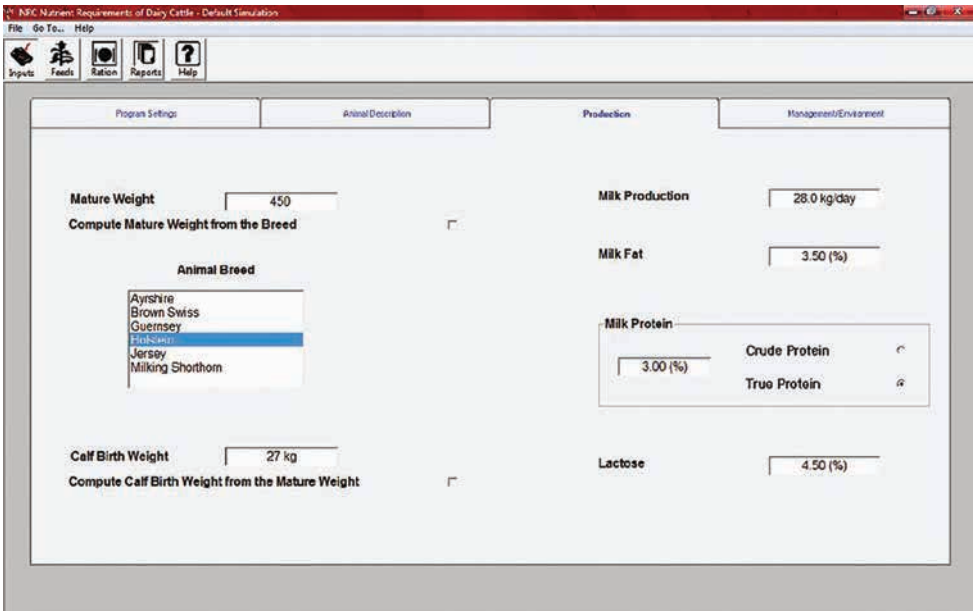
	Sorgo	Salvado trigo	Alfalfa	Salvado maíz	Melaza	Maíz	P. soya	Aceite	Carbonato	Fosfato	Fosfato monocálcico	Sal	Premezcla	Lis sintética	Restricción
Función objetivo	3.37	1.09	4.01	1.66	4.94	3.7	5.55	0.005	0.5	5.5	7.25	6.02	5	80	
Volumen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	= 1
Prem. vitaminas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	=0.0025
Proteína máx.	8.9	17.5	16	18	5.8	10	45	0	0	0	0	0	0	0	<20
Aceite máx.	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	<0.05
Granos máximo	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	<0.25
Salvados máx.	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<0.25
Melaza máx.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	to0	0	0	<0.05
Alfalfa máx.	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<0.3
FDN máx.	8	40	41.8	45	0	9.5	12.4	0	0	0	0	0	0	0	<36
Ca máx.	0.04	0.14	1.4	0.36	0.68	0.03	0.25	0	38	22	21.58	0	0	0	<0.8
P máx.	0.29	1.17	0.2	0.82	1.17	0.2	0.6	0	0	18.5	21.18	0	0	0	<0.8
Na máx.	0.03	0.1	0.06	0	0	0.01	0.04	0	0.06	0.08	0.84	39.3	0	0	<0.7
Sal máx.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	<0.075
Fibra soluble máx.	0.1	0.1	18.8	0.1	13.7	0.1	9.9	0	0	0	0	0	0	0	<12
Proteína mín.	8.9	17.5	16	18	5.8	10	45	0	0	0	0	0	0	0	>16
FDN min	8	40	41.8	45	0	9.5	12.4	0	0	0	0	0	0	0	>29
ED min	3.745	2.4	2.47	2.3	2	3.8	3.59	8.7	0	0	0	0	0	0	>2.8
Ca mín.	0.04	0.14	1.4	0.36	0.68	0.03	0.25	0	38	22	21.58	0	0	0	>0.4
P mín.	0.29	1.17	0.2	0.82	1.17	0.2	0.6	0	0	18.5	21.18	0	0	0	>0.22
Na mín.	0.03	0.1	0.06	0	0	0.01	0.04	0	0.06	0.08	0.84	39.3	0	0	>0.2
Lisina min	0.27	0.6	0.73	0.6	0	0.24	2.9	0	0	0	0	0	0	98	>0.65

Cuadro 47.5 Ración para conejos (ingredientes por kg)

Ingrediente	1 kg	100 kg
Salvado trigo	0.021439	2.144
Alfalfa	0.3	30.000
Salvado maíz	0.228561	22.856
Maíz	0.25	25.000
Pasta de soya	0.15662863	15.663
Aceite	0.03	3.000
Carbonato de Ca	0.00652788	0.653
Sal	0.00434349	0.434
Premezcla	0.0025	0.250
Costo	3.44	344.000
Nutrientes		
Proteína %	18.83	
Fibra Detergente Neutro %	28.0	
Ca %	0.8	
P %	0.41	
Na %	0.2	
Fibra soluble %	7.24	
Energía digestible Mcal/kg	3.091	
Ca %	0.8	
P %	0.41	
Na %	0.2	
Lisina %	0.88	

La revisión final de la ración de conejos debe hacerse considerando que son no rumiantes y herbívoros. Se recomienda que la ración final se prepare en forma de pellet o granulado para lograr que se consuman los nutrientes formulados. Se debe hacer una evaluación económica y considerar la disponibilidad de los alimentos en las diferentes etapas fisiológicas.

Al seleccionar alimentos para conejos, debe tenerse presente que el ciego y el colon tienen una función importante en la digestión y utilización de nutrientes, así como en el control de desórdenes digestivos. En el conejo está presente la cecotrofía que es importante en el aprovechamiento integral de nutrientes por el conejo.


NRC Nutrient Requirements of Dairy Cattle : Default Simulation
File Go To.. Help
Inputs
Feeds
Ration
Reports
Help
Program Settings
Animal Description
Production
Management/Environment
Mature Weight
450
Compute Mature Weight from the Breed
Animal Breed
Ayrshire
Brown Swiss
Guernsey
Holstein
Jersey
Milking Shorthorn
Calf Birth Weight
27 kg
Compute Calf Birth Weight from the Mature Weight
Milk Production
28.0 kg/day
Milk Fat
3.50 (%)
Milk Protein
3.00 (%)
Crude Protein
True Protein
Lactose
4.50 (%)

Uso del Programa NRC *Dairy Cattle Program Computations*

El National Research Council (NRC) de los Estados Unidos ha publicado varios programas y modelos de simulación, los cuales como cualquier modelo que trabaje con sistemas biológicos, no son totalmente exactos ni precisos. Los resultados de cualquier modelo requieren de la interpretación biológica y dependen de las ecuaciones y de los valores de entrada, así como del diseño del modelo.

La labor del consultor profesional de nutrición puede ser apoyada en estos programas, pero debe tenerse presente siempre que los programas de computadora no saben de nutrición, solo dan resultados matemáticos. El programa se puede encontrar en la web fácilmente. Después de instalar en su computadora el programa, este se usa en una forma bastante sencilla de *Visual Basic*, versión 6.0., donde aparecen una pantalla con cuatro cuadros de opciones: *Inputs, Feeds, Rations, Reports, Help*.

Se realizará un ejemplo con los datos del cuadro 48.1, donde tenemos algunos resultados de ejercicios previos. Se entra a la pantalla de *Feeds* y se ve si alguno de los alimentos corresponde a los de la ración que vamos a evaluar. Por ejemplo, podemos usar los valores del heno de leguminosa (para la alfalfa), el del ensilaje de maíz, pasta de soya, grasa protegida (calcium soaps), sal y la premezcla mineral-vitaminas, pero necesitamos remover y añadir otros. Prime-

ro se quitan los alimentos que no están en nuestra ración, la grasa protegida (calcium soaps), el maíz flakeado, la pasta de soya de 48%, harina de sangre, carbonato de Ca y fosfato monosódico con la ventana: *Remove Feeds from ration*.

Después, se incluyen los que nos faltan como el maíz molido (ground corn), melaza de caña, harina de carne, fosfato dicálcico, la pasta de soya de 44% PC; pero nos va a faltar la metionina protegida (lo cual va a subestimar el flujo de metionina) con: *Adds feeds to ration*. Se pasa a la ventana *Input* para darle los parámetros del tipo de animal, ahí ponemos el peso de las vacas (599 kg), la producción de leche (35 kg), y la información que tengamos sobre composición de leche, condición corporal, etc. Posteriormente se pasa a la ventana de *Ration* para poner en porcentaje los alimentos de la ración en base seca, con los siguientes valores porcentuales mostrados en el cuadro 48.1.

Cuadro 48.1 Información para incluir en programa (ventana *Ration*)

Ingrediente	Porcentaje
Heno	28.90
Ensilaje	20.0
Maíz	24.0
Pasta soya	16.0
Melaza	4.83
H. Carne	4.39
Grasa protegida	1.18
NaCl	0.4
Fosfato dicálcico	0.2
Premezcla	0.1
Mepron	0.0
Total	100.0

Le pedimos al programa que estime el consumo y eso da 22.48 kg (aunque en el cuadro nos presenta el valor de 22.27), que ambos son similares al observado 22.09 kg/d. Los resultados del estimador del NRC nos dan un total de 99% y los del consumo y composición de la ración se presentan en el cuadro 48.2, los cuales comparamos con los medidos en el ensayo real. Posteriormente, se pasa a la ventana de Reports donde se pueden analizar los requerimientos y varios nutrientes. Por ejemplo, veamos la comparación de la fracción proteica estimada con la medida en el ensayo (cuadro 48.3).

Cuadro 48.2 Valores de consumo estimados con el programa NRC y observados en el experimento

Alimentos	Consumo de materia seca kg	
	Predicho	Observado
Alfalfa	6.281	6.16
Ensilaje de maíz	4.498	4.41
Maíz grano	5.397	5.30
Pasta soya	3.598	3.53
Melaza	1.086	1.06
Harina de carne	0.987	0.92
Grasa protegida	0.265	0.26
NaCl	0.09	0.08
Fosfato dicálcico	0.045	0.04
Premezcla vitaminas-mineral	0.022	0.02
Mepron	no estimado	0.015
Total	22.27	21.89

Cuadro 48.3 Composición de la fracción proteínica estimada con el programa NRC y calculada en el experimento

	Predicho	Observado
Proteína cruda %	20.7	18.92
RDP %	14.1	12.73
RUP %	6.6	6.19
Flujo lisina g/d	202	107-122
Flujo metionina g/d	56	35-40

RDP: proteína degradable en rumen; RUP: proteína no degradable en rumen.

El reporte del programa da información de otros nutrientes que puede ser de utilidad, siempre y cuando se considere el criterio del nutriólogo y la exactitud y precisión de los datos ingresados. Por ejemplo, se puede identificar si existen deficiencias de proteína no degradable en rumen (RUP), o si existen excesos de proteína degradable (RDP), así como el balance de Ca, P y K. En el reporte se presenta la concentración de FDN, FDA, extracto etéreo, así como la diferencia de cationes aniones. También las concentraciones de EM, ENl, ENg entre otros.

El ingreso de alimentos a la base de datos del programa tiene ciertas limitantes y solo se pueden incluir alimentos similares a los que están ya incluidos. Para esto, se selecciona un alimento, por ejemplo, en *Feeds*, se pone *Forage Hay Mature* para sustituirlo por alfalfa. Primero en *Feed name* se pone el cursor y se cambia el nombre y posteriormente el número internacional (McDowell *et al.*, 1974), por ejemplo, para alfalfa fresca 2-00-196. Se va cambiando el cursor y se modifica solo donde se permite y de acuerdo con el alimento. Por ejemplo, las ecuaciones de predicción corresponden a forrajes, se puede poner alfalfa seca o húmeda (*wet*), se puede poner la materia seca (22.1 %) y algunos otros nutrientes. Los que no se pueden cambiar se dejarán sin cambio. Una vez hechos los cambios usar el cuadro que dice SAVE IN FEED LIBRARY y quedará registrado para su uso. Como cualquier programa, el usuario deberá de explorarlo en todas sus ventanas para conocerlo y lograr las mayores ventajas de su uso.

Existe una versión del programa denominada NASEM Dairy 8 del año 2021 que tiene algunos cambios importantes en los requerimientos de ganado lechero de minerales y vitaminas, que básicamente funciona en la misma forma que el programa descrito previamente. Se recomienda usar las versiones más recientes que están incorporando el conocimiento científico.

Ejercicio 48

Uso del Programa NRC *Dairy Cattle Program Computational*

Evalúe la ración que fue proporcionada a vaquillas de primer parto de raza Holstein (500 kg de peso vivo) en un experimento conducido por Ayala *et al.* (2010) en el Estado de México. La ración (%) en base seca estuvo compuesta por: ensilaje de maíz 31.0; alfalfa fresca 28.0; maíz molido 17.0; pasta de soya (44% proteína) 12.0; melaza de caña 5.0; harina de sangre 4.0; urea 0.5; sal 1.0; premezcla mineral 1.0 y carbonato de calcio 0.5%.

Los investigadores reportan la siguiente composición química: 42.9% MS; 18.3% PC; 12.2% RDP; 6.5% RUP 6.5%; 28.9% FDN y 1.58 Mcal/kg ENl. También reportan que las vacas con esa tuvieron una condición corporal de 2.82, un consumo de 18.5 kg/d de materia seca con una producción de 16.4 kg/d. Indique cómo podría incrementar la producción en 5 kg/d de acuerdo con su diagnóstico, revisite el artículo publicado y compare su conclusión con las alternativas realizadas por los investigadores.

Resultados ejercicio 48

En función de los valores que se ingresen de composición al modelo, se tendrán los resultados del programa. Checar que se haya puesto lactación 1, el peso de 500 kg, la condición corporal y cero días de gestación, la producción de 16.4 kg/d, etc. Es importante que, después de leer el artículo de Ayala *et al.* (2010), se pueda comprender el impacto de suplementar con metionina prote-

gida y/o grasa protegida en la producción de leche. Un ejemplo de resultado se presenta en el cuadro 48.4.

Cuadro 48.4 Valores de consumo estimados con el programa NRC y observados en el experimento

Alimentos	Consumo de materia seca kg	
	Predicho	Observado
Alfalfa fresca	4.181	4.59
Ensilaje de maíz	4.629	5.08
Maíz molido	2.539	2.78
Pasta de soya	1.792	1.96
Melaza de caña	0.747	0.82
Harina de sangre	0.597	0.65
Urea	0.075	0.082
NaCl	0.149	0.164
Carbonato de Ca	0.075	0.082
Premezcla mineral	0.149	0.164
Total	14.93	16.40

Como se puede ver en el cuadro 48.4 se subestimó el consumo. Es interesante observar que el potencial de producción de energía es de 23 kg/d y cuando se suplementó con aminoácidos, Ayala *et al.* (2010) incrementaron la producción de leche en 5 kg/d. El programa estima que por proteína las vacas deberían estar produciendo 26 kg/d, sin embargo, el estudio demostró que estaban limitados por aminoácidos (metionina) y por energía, pues al suplementar con grasa protegida se incrementó la producción. Los modelos tienen limitantes y el criterio del nutriólogo junto con los valores de producción son los que pueden orientar para identificar las limitantes reales para poder tomar las decisiones que permitan incrementar la producción en las unidades.

El modelo NRC 2021 conocido como NASEM *Dairy* 2021 (Academias Nacionales de Ciencias, Ingeniería y Medicina) presenta nuevas ecuaciones para estimar el consumo de materia seca en varias etapas fisiológicas. Se recomienda que el estudiante lo explore pues incluye información actualizada de requerimientos nutricionales.

Cuadro 48.5 Composición de varios nutrientes estimados con el programa NRC y calculados en el experimento

	Predicho	Observado
Proteína cruda %	20.8	18.3
RDP %	13.59	12.2
RUP %	7.26	6.5
Flujo lisina g/d	153	136
Flujo metionina g/d	39	35
Ca %	0.8	0.39
P %	0.3	0.20

RDP: proteína degradable en rumen; RUP: proteína no degradable en rumen.



Digestibilidad

La digestibilidad se define como la cantidad de alimento que es absorbido (desaparece en su trayecto por el tracto digestivo) expresado como porcentaje del alimento consumido y se calcula mediante la relación:

$$\text{Digestibilidad} = 100 \times \frac{\text{nutrientes consumidos - nutrientes en heces}}{\text{nutrientes consumidos}}$$

A esta relación se le denomina digestibilidad aparente dado que en las heces aparece material de origen endógeno (Maynard *et al.*, 1981), aunque en el caso de paredes celulares sería verdadera, pues no existe FDN endógeno. En el estudio de la nutrición animal, la estimación de la digestibilidad es un aspecto fundamental en el conocimiento del valor nutritivo de un alimento. Existen varias metodologías para conocer el valor de digestibilidad de un alimento o ración *in vivo*, los cuales se describen a continuación.

Método de colección de excretas totales

La digestibilidad de la materia seca o de los nutrientes se puede medir en cualquier animal (doméstico o silvestre) siempre y cuando se tenga la información del consumo y producción de heces de nutrientes (materia seca, nitrógeno, FDN, FDA, etc.), por un tiempo que haya permitido un estado de equilibrio en el trac-

to gastrointestinal (de 5 a 7 días) después de haber sido adaptado la dieta. Así se puede determinar la digestibilidad de la materia seca o de los nutrientes. Por ejemplo, se tiene una iguana que consumió 388 mg/d de MS y excretó 187 mg MS/d. Para estimar la digestibilidad aparente se aplican las ecuaciones:

$$\text{Digestibilidad MS \%} = 100 \times \frac{388 - 187}{388} = 51.68\ \%$$

Si la FDN del alimento fue de 43.04% y la de las heces de 50.45%, para determinar la digestibilidad de la fracción de las paredes celulares se usa la siguiente ecuación:

$$\text{Digestibilidad FDN} = 100 \times \frac{\text{FDN consumida - FDN excretada}}{\text{FDN consumida}}$$

$$\text{FDN consumida} = 388(0.4304) = 166.99\ \text{mg/d}$$

$$\text{FDN excretada} = 187(0.5045) = 94.3\ \text{mg/d}$$

$$\text{Dig FDN(\%)} = 100[(166.99 - 94.34)/(166.99)] = 43.50\%$$

Uso de marcadores

Debido a que en ocasiones no es posible colectar las excretas, la digestibilidad se puede estimar con componentes de la dieta que no son degradados en el tracto gastrointestinal conocidos como marcadores internos (Osuji *et al.*, 1993), los cuales se van a concentrar en las heces tales como la lignina (Van Soest, 1994) o las cenizas insolubles en ácido (van Keulen y Young, 1977). Para eso se colectan al menos 5 o 6 días el alimento y las heces del periodo experimental después de la adaptación. Se hacen muestras compuestas por cada animal, se secan a menos de 60 °C y se analiza el marcador interno seleccionado. Como ejemplo, se mide la concentración de cenizas insolubles en ácido (CIA) en dieta y en heces y se usa la siguiente ecuación:

$$\text{Digestibilidad MS} = 100 - \left[\frac{100 \times \text{CIA dieta}}{\text{CIA heces}}\right]$$

La digestibilidad de nutrientes se hace analizando las muestras posteriormente de cada elemento de interés, por ejemplo, FDN, FDA, u otros nutrientes y se aplica la siguiente ecuación con los porcentajes de cada nutriente y marcador, ejemplo para la estimar la digestibilidad de FDN (%):

$$\text{Digestibilidad FDN} = 100 - \left[\frac{100 \times \text{CIA dieta} \times \text{FDN heces}}{\text{CIA heces} \times \text{FDN dieta}}\right]$$

Como ejemplo de cálculo de digestibilidad de materia seca y sus nutrientes y se usan datos de un ensayo de porcinos (Salas, 2008), donde se midió la concentración de cenizas insolubles en ácido en el alimento balanceado (0.69%) mientras que en la de las heces fue de 5.36%. Entonces la digestibilidad de la materia seca sería:

$$\text{Dig MS} = 100 - [(100 \times \text{CIA dieta})/(\text{CIA heces})]$$

$$\text{Dig MS} = 100 - [(100 \times 0.69)/(5.36)]$$

$$\text{Dig MS} = 100 - [(69)/(5.36)] = 100 - 12.87 = 87.12\%$$

Para calcular la digestibilidad de FDN, se usa la información del alimento que fue de 26.34% y la de las heces 47.38%, entonces:

$$\text{Dig FDN} = 100 - [(100 \times \text{CIA dieta} \times \text{FDN heces})/(\text{CIA heces} \times \text{FDN dieta})]$$

$$\text{Dig FDN} = 100 - [(100 \times 0.69 \times 47.38)/(5.36 \times 26.34)]$$

$$\text{Dig FDN} = 100 - [(3269.22)/(141.18)] = 100 - 23.15\%$$

$$\text{Dig FDN} = 76.84\%$$



Ejercicio 49

Estimación de digestibilidad de la materia seca con colección totales de excretas

En un ensayo de alimentación de teporingos, Sánchez *et al.* (2013) alimentaron a cuatro grupos con diferentes niveles de *Muhlenbergia macroura* para saber si se podría incrementar la digestibilidad de la FDN y de la materia seca al aumentarse en la dieta. Con la información del cuadro 49.1, calcule la digestibilidad de la materia seca y de las paredes celulares e indique qué cambios hubo al incrementar el zacatón en la ración de los conejos de los volcanes.

Cuadro 49.1 Información del ensayo de digestibilidad con distintos niveles de *Muhlenbergia macroura* en dietas del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*)

	Nivel de *Muhlenbergia macroura* %			
	0	10	20	30
Peso vivo g	510	545	566	532
Consumo MS g/d	27	25	25	27
Consumo FDN g/d	10.2	9.4	9.6	9.8
Heces g/d	10.84	8.09	8.65	10.18
FDN heces %	69.43	70.53	71.92	72.48

MS: materia seca; FDN: fibra detergente neutro.

Resultados ejercicio 49

Se presenta el ejemplo de cálculo para el tratamiento testigo:

$$\text{Digestibilidad} = 100 \times [(\text{MS g consumidos} - \text{MS g en heces})/\text{MS g consumidos}]$$

$$\text{Digestibilidad(MS)\%} = 100 \times [(27 - 10.84)/27] = 59.85\%$$

Para aplicar la fórmula de digestibilidad de FDN, debemos calcular primero la cantidad de FDN excretado. Para eso se multiplicamos:

$$\text{FDN excretada} = (\text{FDN heces \%}/100) \times \text{heces g/d}$$

$$\text{FDN excretada} = (69.43/100) \times 10.84 = 7.52 \text{ g/d}$$

Entonces aplicamos la ecuación:

$$\text{Dig FDN(\%)} = 100[(\text{FDN consumida} - \text{FDN excretada})/\text{FDN consumida}]$$

$$\text{Dig FDN(\%)} = 100[(10.2 - 7.52)/10.2] = 26.2\%$$

Cuadro 49.2 Resultados de digestibilidad con distintos niveles de *Muhlenbergia macroura* en dietas del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*)

	Nivel de *Muhlenbergia macroura* %				Efecto cuadrático
	0	10	20	30	
Materia seca %	59.85	67.63	64.54	62.27	0.04
FDN %	26.2	39.28	33.58	24.65	0.02
Cambios de peso g/d	0.6	-2.2	-2.8	-0.3	0.01

FDN: fibra detergente neutro.

Los resultados de digestibilidad y el análisis de regresión mostraron un efecto cuadrático, lo cual indicó que se incrementó la digestibilidad de la MS y de la FDN en niveles intermedios, sin embargo, el peso se afectó negativamente, lo cual se debe a que el valor nutritivo de *Muhlenbergia macroura* es muy bajo para compensar el incremento en digestibilidad.

Ejercicio 50

Estimación de digestibilidad con marcador interno

Se colectaron excretas y alimentos de ovinos durante 5 días y se hizo una muestra compuesta por animal. De cada muestra se pesaron alrededor de 5 g de muestra por duplicado y se colocaron en crisoles previamente pesados (cuadro 50.1). Las muestras con los crisoles se introdujeron a la mufla a 450 °C durante 5 horas y se secaron en estufa a 100 °C toda la noche. Se transfirieron las cenizas a un vaso de 600 ml y se añadieron 100 ml de HCL 2 N. Posteriormente, se hirvieron durante 5 minutos y el hidrolizado caliente se filtró a través de un papel filtro (Whatman 541) y se lavó con agua destilada caliente. Se transfirió el papel filtro dentro del crisol y se volvieron a meter los crisoles en la mufla a 450 °C durante 5 horas. Se colocaron los crisoles en una estufa a 100 °C para volverse a secar. Una vez enfriados en el desecador se volvieron a pesar (cuadro 50.1). Para calcular la concentración de cenizas insolubles en ácido (CIA), se usa la siguiente ecuación:

$$\text{CIA}(\%) = [(\text{Peso de crisol + cenizas}) - (\text{peso de crisol})/\text{peso de muestra seca}] \times 100$$

Se seleccionó el marcador de cenizas insolubles en ácido debido a que los reactivos son menos peligrosos que cuando se determina lignina que requiere ácido sulfúrico o permanganato de potasio. Sin embargo es importante evitar contaminaciones de tierra o suelo en las muestras de heces dado que esto podría alterar las estimaciones con el marcador de cenizas insolubles en ácido.

Cuadro 50.1 Información del laboratorio de peso de muestras y crisoles para calcular cenizas insolubles en ácido

Muestra	Peso crisol	Peso de muestra	Peso crisol + muestra	Peso del crisol + cenizas	Peso de cenizas
	Gramos				
Heces 1	31.198	5.0169	36.2149	31.6511	0.4531
Heces 1	32.1093	5.0110	37.1203	32.5646	0.4543
Heces 2	33.6589	5.0213	38.6802	34.0836	0.4247
Heces 2	30.9724	5.0373	36.0097	31.3867	0.4143
Ración	31.9777	5.0670	37.0447	32.1046	0.1269
Ración	31.5011	5.1070	36.6081	31.6461	0.1450

Estime la concentración de cenizas insolubles en ácido en los dos ovinos, en la ración y la digestibilidad de la materia seca, e indique que tipo de ración estaban consumiendo (forrajes, concentrados, esquilmos, etc.).

Resultados ejercicio 50

Se muestra el ejemplo de las heces 1:

$$CIA_{heces1} = [(31.6511 - 31.198)/(5.0169)] \times 100$$

$$CIA_{heces1} = [(0.4531)/(5.0169)] \times 100$$

$$CIA_{heces1} = 9.03\%$$

La segunda repetición es 9.08%, por lo que la media es de 9.05%. Para el cálculo final se usa el promedio.

La media se reporta como resultado de digestibilidad, pero si se está realizando una comparación de raciones o tratamientos nutricionales, es importante que se realice el análisis estadístico con base en la unidad experimental que se haya definido en la evaluación.

Cuadro 50.2 Cálculos de cenizas insolubles en ácido (CIA) de heces y alimento

Muestra	Peso del crisol + cenizas	Peso crisol	Peso de muestra	CIA	
				%	Media
Heces 1	31.6511	31.198	5.0169	9.03	9.05
Heces 1	32.5646	32.1093	5.0110	9.08	
Heces 2	34.0836	33.6589	5.0213	8.45	8.34
Heces 2	31.3867	30.9724	5.0373	8.22	
Ración	32.1046	31.9777	5.0670	2.50	2.67
Ración	31.6461	31.5011	5.1070	2.83	

CIA: cenizas insolubles en ácido

La digestibilidad de la materia seca para los dos ovinos se calcula con las ecuaciones descritas previamente:

$$\text{Dig MS}_{\text{ovino1}} = 100 - [(100 \times \text{CIA dieta})/(\text{CIA heces})]$$

$$\text{Dig MS}_{\text{ovino1}} = 100 - [(100 \times 2.67)/(9.05)]$$

$$\text{Dig MS}_{\text{ovino1}} = 100 - [(267)/(9.05)]$$

$$\text{Dig MS}_{\text{ovino1}} = 100 - [29.50] = 70.49$$

$$\text{Dig MS}_{\text{ovino2}} = 100 - [(100 \times 2.67)/(8.34)]$$

$$\text{Dig MS}_{\text{ovino2}} = 100 - [(267)/(8.34)]$$

$$\text{Dig MS}_{\text{ovino2}} = 100 - [(32.03)] = 67.96\%$$

La media de los dos animales es de 69.23 %, lo cual nos indica que fue una dieta con una alta proporción de granos.

Estimación de digestibilidad en pastoreo con suplementos

Cuando se tienen animales en pastoreo recibiendo suplementos, las excretas (fracción indigestible) proviene de al menos dos alimentos, del forraje consumido y del suplemento, por lo que se requiere utilizar una modificación del uso de marcadores para estimar la digestibilidad. Para esto es indispensable que se mida el consumo individual del suplemento, que se analice la concentración del marcador interno del suplemento, de tal forma que se puede estimar la cantidad del marcador interno en las heces que proviene del suplemento. Con un marcador externo se tiene que estimar la producción total de heces, de tal forma que se puede determinar la producción de heces del pasto y del suplemento con las ecuaciones propuestas por Geerken *et al.* (1987) y por Lippke (1986, 2002):

$$CMSf = [(CIAh \times H) - (CIAs \times CMSs)]/(CIAf)$$

Donde:

CMSf = Consumo de materia seca del forraje g/d
CIAh = cenizas insolubles en ácido de las heces g/kg
H = Producción total de heces obtenida con marcador externo g/d
CIAs = concentración de cenizas insolubles en ácido del suplemento g/kg

CMSs = consumo de materia seca del suplemento g/d
CIAf = concentración de cenizas insolubles en ácido del forraje g/kg

En un experimento realizado por Rojo (1997), en Tabasco con novillos en pastoreo, alimentó con concentrado en forma individual y dosificó óxido de cromo durante 15 días y colectó heces los últimos 5 días. En ese periodo obtuvo muestras de pasto y del suplemento los cuales analizó para cenizas insolubles en ácido. Los resultados son los siguientes:

CIAh = 6.952% = 69.52 g/kg

H = 2414 g/d

CIAs = 0.033% = 0.33 g/kg

CMSs = 1595 g/d

CIAf = 2.273% = 22.73 g/kg

Para determinar el consumo de material seca del forraje (CMSf) y el consumo total de material seca se procede primero a estimar el del forraje:

$$CMSf = [(CIAh \times H) - (CIAs \times CMSs)]/[CIAF]$$

$$CMSf = [(69.52 \times 2414) - (0.33 \times 1595)]/[22.73]$$

$$CMSf = [(167821.28) - (526.35)]/[22.73]$$

$$CMSf = [167294.93]/[22.73] = 7360.09 \text{ g/d}$$

Posteriormente, se suma el del suplemento (CMSs) que se midió diariamente:

CMS total = 7360.09 + 1595 = 8955 g/d





Ejercicio 51

Estimación de digestibilidad en pastoreo con suplementos

En un experimento realizado por Correa *et al.* (2009) con ganado lechero en pastoreo, se proporcionó concentrado diariamente en 5.9 kg de materia seca por vaca. La información del análisis de alimentos y heces se presenta en el cuadro 51.1. Con esa información estime el consumo de forraje y de materia seca de las vacas. Interprete la información en términos biológicos. Considere que los investigadores reportaron valores de consumo de 11.0 y 13.6 kg al usar FDA indigestible como marcador interno (contraste sus resultados).

Cuadro 51.1 Información de producción de leche y composición de forrajes, concentrado y heces de vacas lecheras

Variable	
Producción de leche kg/d	25.2
Consumo de concentrado kg/d	5.9
Peso vivo kg	589
Producción de heces MS kg/d	5.270
Análisis %	
Lignina en heces	9.5
Lignina en concentrado	5.1
Lignina en forraje	3.5

MS: materia seca.

Resultados ejercicio 51

$$CMSf = [(LIGh \times H) - (LIGs \times CMSs)]/[LIGf]$$

Donde:

CMSf = consumo de materia seca del forraje g/d
LIGh = concentración de lignina heces g/kg
H = producción total de heces obtenida con marcador externo g/d
LIGs = concentración de lignina del suplemento g/kg
CMSs = consumo de materia seca del suplemento g/d
LIGf = concentración de lignina del forraje g/kg
CMSf = [(95*5270)-(51*5900])/[35]
CMSf = [(500650)-(300900])/[35]
CMSf = [(199750)]/[35]=5707

Posteriormente, se suma el del suplemento (CMSs) que se midió diariamente:

$$CMS\ total = 5707 + 5900 = 11607\ g/d$$

Expresado como porcentaje del peso vivo es de 1.97%. El valor es similar al estimado por los autores con otro marcador interno.

Cinética de digestión ruminal

Con el desarrollo de las técnicas *in vitro, in situ* y de gas *in vitro* para el estudio de degradación de alimentos en el rumen, así como con el uso de marcadores de alimentos, se comenzó a entender el proceso de digestión de los alimentos como un proceso dinámico que se caracterizaba por la generación de curvas que son interpretadas con constantes matemáticas. Para esto es importante considerar a los alimentos en tres fracciones, una digestible, una potencialmente digestible y una indigestible (Waldo *et al.*, 1972) cuya desaparición puede describirse como una cinética de primer orden. Los principales parámetros que describen la digestión en el rumen son: la fase lag o de retardo, la extensión de la digestión, la tasa de digestión y la tasa de pasaje (Allen y Mertens, 1988).

Fase lag

La fase lag se define como el tiempo (horas) que tarda en iniciar la cinética de primer orden. Representa el tiempo de inicio de digestión, cuando se hidrata el alimento, se inicia el proceso de adherencia microbial, la liberación de enzimas (Allen y Mertens, 1988). Los granos no tienen fase lag (Varga y Hoover, 1985), mientras que los forrajes toscos tienen una fase lag larga (Amjed *et al.*, 1992). La adición de almidón a forrajes incrementa la duración de la fase lag de 1 a 3 horas (Mertens y Loften, 1980) lo cual indicaría que independientemente del efecto del pH el incorporar concentrados a una ración basada en forrajes retra-

sa el inicio de la digestión de los forrajes. Los efectos de tratamientos químicos como el NaOH varían con el tipo de forraje, mientras que la fase lag se reduce drásticamente de 1.4 a 0.1 h en la mayoría de forrajes, en la paja de trigo no hay cambios (Amjed *et al*., 1992).

Para estimar la fase lag es necesario trabajar con la fracción potencialmente digestible y su desaparición en función del tiempo. En un inicio, se parte de un 100 % de fracción potencialmente digestible y se hace una regresión del logaritmo natural *versus* el tiempo de incubación. Si el intercepto es mayor del ln (100) significa que hubo una fase lag dado que no puede existir una fracción potencialmente digestible mayor al 100 %. En la ecuación de regresión se sustituye el ln 100 en Y, se despeja X que es el tiempo en horas que corresponde a la fase lag (Mertens, 1977; Mendoza *et al*., 2000).

Como ejemplos de duración de fase lag, se tienen para alfalfa 1.06 horas y pasto bermuda 2.53 horas (Mertens y Loften, 1980). De otro experimento se reporta para bagazo de caña 0.9 horas; punta de caña 2.0 horas; y paja de trigo 1.4 horas (Amjed *et al*., 1992). Se ha puesto atención a modelos matemáticos que describan la fase lag, pero poco sobre preguntas biológicas de importancia y su posible reducción y el impacto que puede tener en el comportamiento productivo de los rumiantes.

Extensión de la digestión

Para comprender la extensión de la digestión, debemos de entender las fracciones de los alimentos, y particularmente la pared celular, que está conformada por con tres fracciones, la digestible, la potencialmente digestible y la indigestible (Waldo *et al*., 1972; Mendoza *et al*., 2014a). La fracción indigestible se estima al incubar *in vitro* o *in situ* un alimento por más de 72 horas (Mertens, 1993) cuando queda solo la fracción indigestible que por más tiempo que permanezca en el rumen ya no es degradada. La fracción indigestible está relacionada a su lignina y sus enlaces con otros carbohidratos, a las características morfológicas de la planta, a la cristalinidad de la celulosa y puede considerarse como una función intrínseca y limitante biológicas de la digestión (Mertens, 1993). En teoría se puede alterar con tratamientos químicos o biológicos pre-digestión, tal como lo muestran tratamientos con NaOH (Amjed *et al*., 1992).

Para poder hacer las estimaciones de cinética enzimática (fase lag, tasa de digestión), es indispensable hacer la determinación de la fracción indigestible y trabajar con la fracción potencialmente digestible, particularmente en forrajes.

Si la información de la incubación es menor de 72 horas los parámetros estimados no sirven (Mertens, 1993), y hay que tener cuidado con la interpretación de información de la literatura dado que hay muchos reportes de cinética de digestión con malas estimaciones de la extensión de la digestión. Como ejemplo de valores de fracción indigestible (%) de forrajes están: ryegrass 12.8; orchard 28.9; paspalum 21.0-33.0; guinea 35.2; paja de avena 21-36.0; bermuda 43.9; paja de trigo 39.6-49.0; alfalfa 50.8; bagazo de caña 76.8 (Mertens y Loften, 1980; Amjed *et al*., 1992; Van Soest, 1994).

Tasa de digestión

El término de tasa de digestión reportado en la literatura científica como *kd* fue introducido en 1950 y primero se usó para todo el alimento (fracciones digestibles e indigestibles), lo cual era biológicamente incorrecto. Los primeros usos de tasa de digestión se usaron para describir la velocidad de la degradación de la celulosa (Wilkins 1969). Gill *et al*. (1969) proponen el uso de cinética de primer orden en la celulosa potencialmente digestible. Posteriormente Waldo *et al*. (1972) en su modelo reconocen la importancia de remover la fracción indigestible (que no tiene digestión ni debería considerarse en la estimación de *kd*) y proponen la estimación de la *kd* de la fracción potencialmente digestible de la pared celular descrita con una cinética de primer orden (1969). Para esta estimación, Smith *et al*. (1972) usaron 72 h como punto final de digestión para obtener la fracción indigestible. Posteriormente, Mertens (1977) demostró que la estimación de la tasa de digestión se mejora al considerar la fase lag (Mertens, 1977).

El coeficiente de proporcionalidad o de cinética de primer orden (*kd*) se obtiene por regresión (pendiente) y se denomina constante tasa fraccional, en unidades por hora. En nutrición de rumiantes es común que se exprese en %/h. Hay factores extrínsecos e intrínsecos que afectan la tasa de digestión de los forrajes. Por ejemplo, el rango de la *kd* de la FDN varía de 0.02 a 0.190 h^{-1} (o 2 a 19 %/h). Una leguminosa inmadura tiene una *kd* de 0.164 y una madura de 0.068 h^{-1}, mientras que un pasto inmaduro de 0.139 y uno maduro de 0.053 h^{-1} (Mertens, 1993).

La mayoría de los intentos de relacionar la *kd* con la composición química han fracasado. La correlación lignina con *kd* es baja. Sin embargo, hay una relación entre el contenido de lignina y la fracción indigestible de FDN reportada por Smith *et al*. (1972) a 72 h de fermentación (r=0.88). Mertens (1973) analizó

273 forrajes (pastos y leguminosas) y encontró una correlación de 0.89 entre la lignina y la FDN indigestible.

Al remover la lignina de la celulosa, Darcy y Belya (1980) observaron un incremento de la *kd* de 0.13 a 0.19 h^{-1}. El aumentar la temperatura ambiental, reduce en 0.6 unidades de digestibilidad por cada grado Celsius de incremento (Mertens, 1993). Fales (1986) por su parte observó una reducción en la *kd* al aumentar la temperatura de 10 a 27 °C. Ndlovou y Buchanan (1985) suplementaron esquilmos con proteína y observaron un incremento en la *kd* de 0.044 a 0.055 h^{-1}. El suplementar con almidón a diversos forrajes (a un pH constante) reduce la tasa de digestión de la FDN del forraje (Mertens y Loften 1980).

Como se puede apreciar, todos los aditivos, raciones y efectos biológicos, se pueden evaluar e interpretar con cinética enzimática con los tres principales parámetros, fase lag, tasa de digestión y extensión de la digestión (estimación de la fracción indigestible), por lo que a continuación se describe la forma de realizar los cálculos correspondientes. Para realizar los cálculos, lo primero que se requiere es contar con la información de la digestibilidad de FDN o FDA en función del tiempo de incubación. Por ejemplo, usaremos la información del experimento de Plata *et al.* (1994) en el cuadro 52.1.

Cuadro 52.1 Efecto del nivel de paja de avena en la digestibilidad *in situ* de la fibra detergente neutro de dicha paja

Tiempo/Horas	% Paja de avena		
	40	60	80
3	3.64	4.63	5.13
6	7.03	10.90	15.50
12	14.40	14.50	26.50
24	25.70	42.40	52.40
48	34.90	51.00	60.90
72	37.90	58.20	67.60

Fuente: Plata *et al.* (1994).

Para calcular el porcentaje de fracción digestible a diferentes tiempos de incubación se usa la digestibilidad obtenida al último tiempo de incubación, que en este ejemplo es a las 72 horas, como el 100 % entonces, para estimar la FDN potencialmente digestible a las 3 horas del tratamiento con 40 % de paja se hace esta relación y los resultados se ponen en cuadro (cuadro 52.2):

37.9 - 100%

3.64 - X

X = 9.60%

Cuadro 52.2 Cálculo de la fracción digestible de acuerdo con el nivel de paja de avena en la digestibilidad de la fibra detergente neutro

Tiempo/Horas	% Paja de avena		
	40	60	80
3	9.60	7.96	7.59
6	18.55	18.73	22.93
12	37.99	24.91	39.20
24	67.81	72.85	77.51
48	92.08	87.63	90.09
72	100.00	100.00	100.00

Posteriormente se resta 100 de la fracción digestible para conocer la fracción potencialmente digestible (que al tiempo 72 debe ser cero). Así se llena el cuadro correspondiente (cuadro 52.3). Por ejemplo, para las 3 horas de incubación con 40% de paja de avena la fracción de FDN potencialmente digestible presente en la muestra es de 90.40% (100-9.60=90.40).

Cuadro 52.3 Cálculo de la fracción potencialmente digestible de FDN en el residual de la incubación de acuerdo con el nivel de paja de avena

Tiempo/Horas	% Paja de avena		
	40	60	80
3	90.40	92.04	92.41
6	81.45	81.27	77.07
12	62.01	75.09	60.80
24	32.19	27.15	22.49
48	7.92	12.37	9.91
72	0.00	0.00	0.00

Para hacer una estimación de cinética de primer orden, transformamos los valores del cuadro 52.4 en logaritmo natural. Dado que no existe ln de cero, se excluyen los valores de las 72 horas.

Cuadro 52.4 Logaritmo natural de la fracción potencialmente digestible de FDN de acuerdo con el nivel de paja de avena

Tiempo/Horas	% Paja de avena		
	40	60	80
3	4.5041	4.5222	4.5262
6	4.4000	4.3977	4.3447
12	4.1272	4.3186	4.1075
24	3.4716	3.3012	3.1128
48	2.0688	2.5153	2.2936

Posteriormente, se hace una regresión lineal con el tiempo como variable independiente (X) y los valores de ln de la fracción potencialmente digestible como variable dependiente (Y). Los resultados de la ecuación (intercepto y pendiente se presentan en el cuadro 52.5).

Cuadro 52.5 Resultado del análisis de regresión del Logaritmo Natural (ln) de la fracción potencialmente digestible de FDN en función del tiempo

Ítem	% Paja de avena		
	40	60	80
Intercepto (bo)	4.733	4.6816	4.6245
Pendiente (kd)	-0.054	-0.0468	-0.0509

La pendiente es la tasa de digestión o *kd* que también se expresa como %/h que para 40% de paja de avena sería 5.54 (la pendiente es -0.054). Posteriormente se hace la estimación de la fase lag. Para eso, debemos checar si el intercepto es mayor a ln de 100 (4.605), de tal forma que eso gráficamente significaría que se inició con más del 100% de fracción potencialmente digestible, lo cual biológicamente no tiene sentido. Entonces significa que hubo una fase lag y que después de ese tiempo se inició la digestión. Por ejemplo, para darse una idea podemos hacer la función exponencial de base e del intercepto (e=2.7182818284), del valor 4.733 sería 113.3% (cuadro 52.6). Para estimar la fase lag, se sustituye en la ecuación de regresión en Y con 4.605 (ln de 100) y se

despeja el valor de X (horas) que representa la fase lag. Por ejemplo, para 40 % paja de avena:

Ecuación Y = b0 - b1 X

Ecuación Y = 4.733 - 0.054 X

La ecuación expresando la FDN potencialmente digestible residual es:

4.6051 = 4.733 - 0.054 tiempo

Despejando X

4.6051 = 4.733 - 0.054 tiempo

4.6051 - 4.733 = - 0.054 tiempo

-0.128 = - 0.054 tiempo

-0.128/ - 0.054 = tiempo

+2.63 = tiempo

Lag = 2.36 horas

La fase lag corresponde al tiempo que Y es ln 100, es decir, el tiempo que tarda en iniciar la degradación de la paja de avena que fue de 2.36 horas. Los resultados completos de la cinética, *kd*, extensión de la digestión (digestibilidad al último tiempo de incubación), fracción indigestible (100-digestibilidad a 72 h) y fase lag se presentan en el cuadro 52.7.

Cuadro 52.6 Resultados de la función exponencial natural del intercepto de los resultados de regresión

Ítem	% Paja de avena		
	40	60	80
ln (100)	4.6051	4.6051	4.6051
Intercepto (bo)	4.733	4.6816	4.6245
Exp (bo)	113.63	107.94	101.95

Eso permite hacer la interpretación biológica del fenómeno estudiado, por ejemplo, en dietas con más paja y menos concentrado, se reduce la fase lag, lo cual indica que el pH ácido en dietas con más concentrado la prolonga. Por otro lado, la extensión de la digestión se aumenta con mayor nivel de paja, lo cual refleja una mayor actividad celulolítica, pero sin modificar la velocidad de degradación (*kd*).

Cuadro 52.7 Parámetros de cinética de digestión de la FDN de la paja de avena

Ítem	% Paja de avena		
	40	60	80
Kd	-0.054	-0.0468	-0.0509
Lag	2.36	1.63	0.37
Extensión digestión, %	37.9	58.2	67.6
Fracción indigestible, %	62.1	41.8	32.4

FDN: fibra detergente neutro; Lag: fase lag; kd: tasa de digestión.

Ejercicio 52

Cálculo de parámetros de cinética de digestión ruminal

Con el objeto de evaluar el efecto del *Saccharomyces cerevisiae* en la digestión FDN, Plata *et al.* (1994) incubaron paja de cebada en rumiantes que estaban recibiendo o no la levadura. Los resultados de digestibilidad *in situ* se presentan en el cuadro 52.8. Calcular los parámetros de cinética de digestión y haga la interpretación biológica del resultado.

Cuadro 52.8 Digestibilidad *in situ* de la FDN de paja de cebada con o sin levadura

Tiempo (h)	Testigo	Cultivo de levadura
3	4.51	4.44
6	8.17	14.10
12	20.20	28.60
24	36.90	43.40
48	45.30	52.50
72	48.60	60.40

FDN: fibra detergente neutro.

Observe que la adición de levadura incrementó la digestibilidad de las paredes celulares en el rumen a partir de las 6 horas y la mayor actividad fibrolítica se mantuvo hasta las 72 horas. Los parámetros de cinética de digestión deberían de detectar las diferencias observadas.

Resultados ejercicio 52

Cuadro 52.9 Cálculo de la fracción digestible por efecto de la levadura en la digestibilidad de la FDN

Tiempo (h)	Testigo	Cultivo levadura
3	9.27	7.35
6	16.81	23.34
12	41.56	47.35
24	75.92	71.85
48	93.20	86.92
72	100.00	100.00

FDN: fibra detergente neutro.

Cuadro 52.10 Cálculo de la fracción potencialmente digestible de FDN en el residual de la incubación de acuerdo con el nivel de paja de avena

Tiempo (h)	Testigo	Cultivo levadura
3	90.72	92.64
6	83.18	76.65
12	58.43	52.64
24	24.07	28.12
48	6.79	13.07
72	0.00	0.00

FDN: fibra detergente neutro.

Cuadro 52.11 Logaritmo natural de la fracción potencialmente digestible de FDN con o sin levadura de la FDN de paja de avena

Tiempo (h)	Testigo	Cultivo levadura
3	4.5077	4.5288
6	4.4211	4.3393
12	4.0679	3.9636
24	3.1811	3.3373
48	1.9154	2.5710

FDN: fibra detergente neutro.

Cuadro 52.12 Resultados de análisis de regresión del Logaritmo Natural de la fracción potencialmente digestible de FDN en función del tiempo

Parámetro	Testigo	Cultivo levadura
Intercepto (bo)	4.721	4.551
Pendiente (kd)	-0.0592	-0.0432

FDN: fibra detergente neutro; kd: tasa de digestión.

Cuadro 52.13 Resumen de parámetros de la cinética de digestión de FDN con y sin levadura

Parámetro	Testigo	Cultivo levadura
Kd	-0.0592	-0.0432
Lag	1.95	-1.23 (No hubo fase lag)
Extensión de digestión, %	48.60	60.40
Fracción indigestible, %	51.40	39.60

FDN: fibra detergente neutro; Lag: fase lag; kd: tasa de digestión.

Como se puede apreciar en el cuadro 52.13, la adición de *Saccharomyces cerevisiae* no modificó la velocidad de la degradación (*kd*), pero sí redujo la fase lag, indicando que cuando se adiciona levadura se favorece el inicio de la digestión. Otro aspecto importante es que se incrementa la extensión de la digestión con la levadura. Dado que la fracción indigestible no debería haber cambiado, esto sugiere que los resultados se interpreten con precaución y que se consideren incubaciones con más de 100 horas para asegurarse de que la fracción indigestible sea similar dado que, biológicamente, no se puede modificar dentro del rumen.

Debe tenerse presente que los parámetros de cinética de digestión son estimados por regresión y esto tiene la desventaja que en algunos casos pueden existir diferencias de importancia biológica en algunas horas de la degradación de los alimentos, pero que al ser ajustados por la regresión no logran impactar los parámetros, por lo que el investigador debe de analizar los valores de digestión en secciones de tiempo y en su caso presentar los valores originales además de los parámetros estimados.



Tasa de digestión del almidón

A diferencia de la pared celular y sus componentes, el almidón no presenta fracción indigestible por lo que la dinámica de su degradación en el rumen se puede describir con una cinética de primer orden (Mendoza *et al*., 2000). La comparación entre fuentes de almidón es de gran importancia pues aquellos granos de velocidad rápida de degradación están asociados a problemas de acidosis ruminal (Britton y Stock, 1987), mientras que los de menor fermentación requieren de procesos que incrementen su tasa de degradación para mejorar su valor nutritivo. La tasa de fermentación del almidón comparada entre granos de más rápida a más lenta es: trigo > cebada > maíz hojueleado a vapor > maíz rolado > maíz > sorgo rolado > sorgo (Britton y Stock, 1987). La recopilación de Knowles (2011) confirma esta relación e incluye otras fuentes de almidón que se pueden usar en la alimentación de rumiantes (cuadro 53.1).

Los valores de tasa de digestión pueden modificarse por la microbiota (particularmente la población de protozoarios), por la disponibilidad de nitrógeno degradable en rumen y se presentan variaciones en las técnicas usadas para su estimación (*in vitro*, *in situ*) por lo que no se pueden considerar como valores absolutos, pero permiten hacer comparaciones relativas entre ingredientes para predecir los efectos de su inclusión en la fermentación ruminal.

Cuadro 53.1 Comparación ente tasas de degradación (*kd*) de almidón en varios experimentos

	kd %/h
Experimento 1	
Maíz	0.059
Trigo	0.329
Yuca	0.139
Papa	0.091
Cebada	0.350
Sorgo	0.024
Experimento 2	
Maíz	0.020
Trigo	0.320
Yuca	0.090
Papa	0.050
Experimento 3	
Cebada peletizada	0.206
Maíz peletizado	0.048
Experimento 4	
Maíz	0.050
Cebada	0.450
Experimento 5	
Papa cruda	0.038
Papa cocida	0.197
Cebada	0.112
Trigo	0.101

Fuentes: Knowles (2011).

Existen factores intrínsecos y extrínsecos que modifican la tasa de degradación del almidón, por ejemplo, las diferencias entre variedades y dentro de variedades de granos (Duran *et al.*, 2004; Calderón *et al.*, 2011), entre tipos de almidón (Knowles, 2011). Los efectos que pueden tener otros ingredientes como la grasa que reduce la tasa de digestión (Krehbiel *et al.*, 1995), la presencia de protozoarios que también retrasa la velocidad de digestión (Mendoza *et al.*, 1993) entre otros.

El cálculo de la tasa de digestión es más sencillo que el de las fracciones de las paredes celulares. Para eso ejemplificaremos con los valores reportados por Tovar (1990) en el cuadro 53.2. Se recomienda usar incubaciones hasta las 12 o 24 horas dado que es donde se tienen los mayores cambios de digestión del almidón (Mendoza *et al.*, 2000) y si se usan valores de 72 horas las diferencias entre granos no se detectan en la *kd*.

Cuadro 53.2 Desaparición in situ (%) del almidón de cuatro ingredientes energéticos

Tiempo (h)	Cebada	Sorgo	Salvado de trigo	Salvado de maíz
2	40.30	15.80	31.20	52.90
4	60.60	19.80	29.70	55.50
6	66.10	27.90	37.10	56.80
12	86.70	41.40	65.20	75.10

Fuente: Tovar (1990).

Primero se estima el residual de la digestión por tiempo restando 100 menos la digestibilidad. Se muestra el ejemplo con los datos del grano de cebada donde el residual a las 2 horas es 100-40.30=59.70. Como segundo paso, se saca el logaritmo natural a ese valor que en este caso ln (59.70)=4.089 y se llena el cuadro 53.3.

Cuadro 53.3 Valor residual in situ del almidón de cebaba y Logaritmo Natural del residual

Tiempo (h)	Cebada	ln residual
2	59.70	4.089
4	39.40	3.673
6	33.90	3.523
12	13.30	2.587

Posteriormente se hace una regresión lineal con el tiempo como variable independiente (X) y el ln del residual como variable dependiente (Y). La ecuación sería:

$$Y = 4.344 - 0.1460\ X$$

La tasa de fermentación del almidón (*kd*) de la cebada es de 14.6%/h y dado que el intercepto es menor que logaritmo natural de 100 (4.605) no hay fase lag.



Ejercicio 53

Cálculo de la tasa de digestión del almidón

Estime la tasa de fermentación (*kd*) del almidón de los granos del cuadro 53.2 (cebada, sorgo, salvados de trigo y de maíz), interprete los resultados e indique si hay presencia de fase lag.

Resultados del ejercicio 53

Cuadro 53.4 Valores de residual *in situ* del almidón de cuatro ingredientes energéticos

Tiempo (h)	Cebada	Sorgo	Salvado de trigo	Salvado de maíz
2	59.70	84.20	68.80	47.10
4	39.40	80.20	70.30	44.50
6	33.90	72.10	62.90	43.20
12	13.30	58.60	34.80	24.90

Cuadro 53.5 Valor de Logaritmo Natural del residual *in situ* del almidón de cuatro granos

Tiempo (h)	Cebada	Sorgo	Salvado de trigo	Salvado de maíz
2	4.089	4.433	4.231	3.852
4	3.673	4.384	4.252	3.795
6	3.523	4.278	4.141	3.765
12	2.587	4.070	3.549	3.214

Cuadro 53.6 Ecuaciones de regresión usando tiempo y valor de Logaritmo Natural del residual *in situ* del almidón de cuatro granos

Ítems	Cebada	Sorgo	Salvado de trigo	Salvado de maíz
Intercepto	4.344	4.514	4.486	4.054
Pendiente	-0.1460	-0.0370	-0.0737	-0.066

Las tasas de fermentación o de degradación (*kd*) son la más rápida la de cebada 14.6%/h, seguida por la de sorgo la más lenta de 3.7%/h y las de los salvados intermedias (7.37%/h y 6.6%/h para trigo y maíz respectivamente). Dado que ningún intercepto es mayor que ln de 100, no hay fase lag, lo cual se debe a que el almidón se degrada rápidamente por los microrganismos del rumen.

Cinética de degradación por medio de la técnica de gas *in vitro*

Esta técnica fue desarrollada por Theodorou *et al.* (1994) y se basa en la medición del volumen de gases producidos al incubar los alimentos con bacterias ruminales en un sistema *in vitro*. A diferencia de las técnicas anteriores, no permite hacer la estimación de extensión de digestión ni la separación de las fracciones potencialmente digestible e indigestible, sin embargo, es muy usada dado que se pueden separar alimentos, fracciones, incluir aditivos, evaluar inóculos (Camacho *et al.*, 2010ab), al evaluar nuevos ingredientes potenciales como glicerol, propilen glicol (Ferraro *et al.*, 2009) o simplemente comparar ingredientes (Hernández *et al.*, 2010). Se usa frecuentemente para estimar el valor nutritivo de especies forrajeras no convencionales consumidas por rumiantes, pues se puede predecir el contenido de energía metabolizable a partir de los parámetros de esta técnica y de la composición química (Menke *et al.*, 1979; Camacho *et al.*, 2010a). No obstante, debe tenerse precaución al usar las ecuaciones para estimar EM pues en ocasiones subestiman los valores de ingredientes no convencionales, por lo que el criterio del nutriólogo debe ser siempre importante en la decisión definitiva de aceptar un valor. Las curvas de producción de gas producen poca variación en comparación con otras técnicas que se basan en residuos de digestión. Las mediciones de presión de gas se

transforman en unidades de volumen y estos valores se ajustan a un modelo de regresión no lineal logístico (Menke y Steingass, 1988):

$$Y = \frac{v}{1 + \exp(2 - 4 \times s \times (t - L))}$$

Donde:

Y: total de volumen de gas producido ml
v = volumen máximo ml
s = tasa de producción de gas h-1
t = tiempo h
L = tiempo lag h

Con esta técnica se estima el potencial de digestión con v, la tasa de degradación con s y la fase lag con L. La estimación de los parámetros del modelo se hace con el *software* SAS o con otro programa de regresión no lineal. Por ejemplo, se usarán los valores del pasto kilkuyo de Bolívar y Sánchez (2005) con 18.6% de PC, 63.03% FDN, 26.4% FDA y 9.2% de ceniza. En el cuadro 54.1, se presenta la producción de gas (volumen) y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

Cuadro 54.1 Valores de volumen acumulado de gas (ml) y de digestibilidad *in vitro* del pasto kikuyo

Horas	Kikuyo	Digestibilidad *in vitro* %
2	15.79	
4	28.50	
6	41.06	48.30
8	53.31	
10	66.78	
12	77.64	48.81
15	91.42	
19	105.71	
24	118.96	59.24
30	131.35	
36	139.76	
48	148.38	59.39
72	157.43	77.05
96	160.73	81.26

Fuente: Bolívar y Sánchez (2005).

Para estimar los valores de v, s y L, se usa el modelo del cuadro 54.2 para el programa SAS. En este modelo se pueden incluir más alimentos y sus repeticiones.

Cuadro 54.2 Modelo para estimar parámetros de cinética de gas *in vitro*

Data a;			
Input trat $ rep $ t Y;			
rt=sqrt (t);			
cards;			
Kikuyu	1	2	15.79
Kikuyu	1	4	28.5
Kikuyu	1	6	41.06
Kikuyo	1	8	53.31
Kikuyo	1	10	66.78
Kikuyo	1	12	77.64
Kikuyo	1	15	91.42
Kikuyo	1	19	105.71
Kikuyo	1	24	118.96
Kikuyo	1	30	131.35
Kikuyo	1	36	139.76
Kikuyo	1	48	148.38
Kikuyo	1	72	157.43
Kikuyo	1	96	160.73
proc sort; by trat rep;			
proc nlin best = 3 data = a; by trat rep;			
parms v = 0 to 320 by 50 s=.05 to .06 by 0.01 L=0.1 to 8 by 0.3;			
model Y=v/(1+ exp (2-4*s*(t-L)));			
run;			

De la salida del SAS, se selecciona la parte donde están los parámetros (cuadro 54.3) donde se obtiene un volumen máximo de 152 ml, una tasa de producción de gas de 0.034/h y, en este caso, no hubo fase lag (-1.66 horas, biológicamente cero).

Los parámetros de gas *in vitro* son estimadores de la degradación ruminal, pero debe de tenerse presente que cualquier sistema *in vitro* tiene limitantes y que deberán complementarse con evaluaciones con animales.

Cuadro 54.3 Resultados del procedimiento de regresión no lineal

Parámetro	Estimación	Error estándar	Intervalos de confianza (95 %)	
v	152.0	3.6832	143.9	160.1
s	0.0342	0.00330	0.0269	0.0415
L	-1.6622	1.2557	-4.4261	1.1016

De la salida del SAS también se puede calcular el r^2 del modelo dividiendo la suma de cuadrados del modelo entre la suma de cuadrados total (Draper y Smith, 1981). Se recomienda considerar el valor de F del modelo, para saber si el modelo fue el adecuado (Tedeschi, 2006), o si necesitamos usar otro modelo no lineal, por ejemplo, en la salida del SAS (cuadro 54.4) se puede calcular el r^2 del modelo dividiendo la suma de cuadrados del modelo entre la total, 1528663/159181=0.99, que en este caso, tuvo un valor de P significativo, lo cual indica que el modelo se ajustó correctamente.

Cuadro 54.4 Salida de análisis de varianza de la regresión

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Valor de P
Modelo	3	158663	52887.6	1121.87	<.0001
Error	11	518.6	47.1425		
Total no correcto	14	159181			

Para estimar la energía metabolizable, Menke y Steingass (1988) presentan ecuaciones para dos grupos de alimentos. Se presenta la ecuación modificada para obtener el resultado en megacalorías (cuadro 54.5).

Cuadro 54.5 Ecuaciones de predicción de energía metabolizable y digestibilidad de la materia orgánica a partir de gas *in vitro* a las 24 horas

Alimento	Ecuación de predicción de EM Mcal/kg
Cereales y subproductos	EM=[1.06+0.1570 Gas+0.0084 PC+0.0022 EE-0.0081 ceniza]/4.184
Forrajes y pajas	EM=2.20+0.1357 Gas+0.0057 PC+0.0002859 EE

EM: energía metabolizable; PC: proteína cruda; EE: extracto etéreo.

En este caso, no se tiene el porcentaje de grasa, pero se puede aplicar la ecuación, dado que el coeficiente de extracto etéreo (EE) es muy pequeño. Como

ejemplo, se usan las ecuaciones de Menke y Steingass (1988) para estimar la EM usando la producción de gas a las 24 horas y el porcentaje de proteína cruda.

$$EM(Mcal/kg\,MS) = [2.2 + 0.136\,Gas + 0.057\,PC]/4.184$$

Donde:

Gas: ml gas.
PC: proteína cruda %

$$EM = [2.2 + 0.136\,gas + 0.057\,PC]/4.184$$

$$EM = [2.2 + 0.136(118.96) + 0.057(18.6)]/4.184$$

$$EM = [2.2 + 16.17 + 1.06]/4.184$$

$$EM = [19.43]/4.184$$

$$EM = 4.64$$

La EM se sobreestimó en este caso. Esto se confirma al estimar la EM con base en la digestibilidad con la ecuación, usando la digestibilidad a las 24 h:

$$EM = 3.62 \times (DIVMS/100)$$

$$EM = 3.62 \times (59.39/100)$$

$$EM = 2.15\,Mcal/kg$$

Como se indicó anteriormente, la aplicación del criterio en la interpretación de resultados es muy importante.


0218
PSI
BAR
kPA

Ejercicio 54

Cálculo de parámetros de cinética de degradación de resultados de gas *in vitro*

En el cuadro 54.6 se presenta la producción de gas *in vitro* del pasto guinea y de tres arbóreas consumidas por las cabras en la mixteca poblana (Hernández *et al*., 2010). Dado que tres arbóreas no son forrajes convencionales se decidió hacer un estudio de producción de gas *in vitro* para conocer los parámetros de cinética de digestión y poder hacer un uso más eficiente de estos recursos desde el punto de vista nutricional. Con el uso del SAS o algún otro programa de regresión no lineal estime los parámetros de *v, s* y *L* e interprete los resultados. Calcule los valores de r^2 del modelo para cada forraje y repetición, así como el valor de probabilidad de ajuste del modelo e intérprete los resultados.

La técnica de gas *in vitro* es útil, sencilla y repetible, que permite obtener información inicial de la fermentación ruminal de sustratos en un tiempo corto. Sin embargo, al finalizar los cálculos de cualquier incubación, deben tenerse presente las limitaciones del procedimiento: a) durante el procedimiento *in vitro* no sobreviven los protozoarios que representan alrededor de la mitad de la biomasa microbiana; b) no existe información de consumo ni de tasa de pasaje. Por lo anterior, las evaluaciones nutricionales deben de complementarse con ensayos con animales.

Cuadro 54.6 Producción de gas *in vitro* de arbóreas consumidas por cabras en la mixteca en México

Tiempo de incubación, horas	Arbóreas			
	Guinea	Brasil	Tehuistle	Barba de chivo
3	0.3	0.3	0.7	2.0
3	0.1	0.3	0.7	2.0
6	1.8	1.8	2.2	2.8
6	0.8	1.8	1.2	2.8
12	4.7	8.2	6.8	5.0
12	3.7	7.2	3.8	6.5
24	15.8	16.8	8.8	10.7
24	14.8	16.8	4.8	11.2
48	28.5	24.8	12.8	13.7
48	27.5	22.8	8.8	14.3
72	34.2	30.2	13.0	16.5
72	33.2	29.2	9.0	16.0

Pithecellobium acatlense (Barba de Chivo), *Haemotoxylum brasiletto* (Palo de Brasil), *Acacia bilimekii* (Tehuistle), *Panicum maximun* (Pasto guinea).
Fuente: Hernández *et al.* (2010).

Resultados ejercicio 54

En el cuadro 54.7, se presenta el modelo del SAS y posteriormente la salida de los parámetros.

Cuadro 54.7 Modelo para estimar parámetros de cinética de gas *in vitro* de los forrajes

Data a;			
Input trat $ rep $ t Y;			
rt=sqrt (t);			
cards;			
Guinea	1	3	0.3
Guinea	2	3	0.1
Guinea	1	6	1.8
Guinea	2	6	0.8
Guinea	1	12	4.7
Guinea	2	12	3.7

Guinea	1	24	15.8
Guinea	2	24	14.8
Guinea	1	48	28.5
Guinea	2	48	27.5
Guinea	1	72	34.2
Guinea	2	72	33.2
Brasil	1	3	0.3
Brasil	2	3	0.3
Brasil	1	6	1.8
Brasil	2	6	1.8
Brasil	1	12	8.2
Brasil	2	12	7.2
Brasil	1	24	16.8
Brasil	2	24	16.8
Brasil	1	48	24.8
Brasil	2	48	22.8
Brasil	1	72	30.2
Brasil	2	72	29.2
Tehuistle	1	3	0.7
Tehuistle	2	3	0.7
Tehuistle	1	6	2.2
Tehuistle	2	6	1.2
Tehuistle	1	12	6.8
Tehuistle	2	12	3.8
Tehuistle	1	24	8.8
Tehuistle	2	24	4.8
Tehuistle	1	48	12.8
Tehuistle	2	48	8.8
Tehuistle	1	72	13
Tehuistle	2	72	9
Barba	1	3	2
Barba	2	3	2
Barba	1	6	2.8
Barba	2	6	2.8
Barba	1	12	5

Barba	2	12	6.5
Barba	1	24	10.7
Barba	2	24	11.2
Barba	1	48	13.7
Barba	2	48	14.3
Barba	1	72	16.5
Barba	2	72	16
proc sort; by trat rep;			
proc nlin best = 3 data = a; by trat rep;			
parms v = 0 to 320 by 50 s=.05 to .06 by 0.01 L=0.1 to 8 by 0.3;			
model Y=v/(1+ exp (2-4*s*(t-L)));			
run;			

Los resultados de la salida se resumen en el cuadro 54.8 por repetición, y los coeficientes de determinación del modelo y su probabilidad en el cuadro 54.9.

Cuadro 54.8 Parámetros de la cinética de producción de gas *in vitro* de hojas de diferentes arbustivas y del pasto guinea

Especie	Repetición	Volumen máximo (v) ml	Tasa de producción de gas (s) h-1	Tiempo lag h
Guinea	1	31.06	0.0366	11.64
	2	32.33	0.0329	10.01
Brasil	1	27.92	0.0344	6.43
	2	26.28	0.0375	6.91
Tehuistle	1	9.15	0.0250	1.24
	2	12.78	0.0340	0.80
Barba de chivo	1	15.40	0.0303	1.52
	2	15.23	0.0334	0.78

Como se puede apreciar, existen diferencias importantes entre las características fermentativas de las plantas consumidas por las cabras, y el modelo ajustó bien los datos (cuadro 54.9). Si tomamos al pasto guinea como referencia, se puede identificar a la hoja de Brasil como una buena planta forrajera energética y proteínica, mientras que el resto tiene poco valor energético representado por su volumen máximo. Las tasas de fermentación son similares, pero la extensión es distinta y la fase lag sugiere que algunas de estas se inicia la degradación

rápidamente (< de 2 horas), mientras que la hoja del Brasil tarda en iniciarse el proceso, pero tiene más nutrientes. Una interpretación más completa requiere de la composición química, así como del porcentaje de inclusión en la ración y la presencia de factores antinutricionales.

Cuadro 54.9 Valores de r^2 por repetición y probabilidad de ajuste del modelo

Especie	Repetición	r^2	P
Guinea	1	0.99	0.0007
	2	0.99	0.0009
Brasil	1	0.98	0.0019
	2	0.96	0.0026
Tehuistle	1	0.98	0.0028
	2	0.98	0.002
Barba de chivo	1	0.99	0.0006
	2	0.99	0.003

Para más información de dichas plantas, revise el documento de Hernández *et al.* (2010).



Tasa de pasaje en el rumen

La tasa de pasaje es el parámetro de cinética de digestión que estima la velocidad proporcional de paso en el rumen. Debemos tener presente que los alimentos que entran al rumen solo pueden salir por dos mecanismos, desaparición por digestión (*kd*) o por paso (*kp*) y los dos compiten uno con otro (Allen y Mertens, 1988). Los componentes del contenido celular se degradan 3 a 10 veces más rápido que su tasa de pasaje, que se denomina *kp*. La tasa de digestión o *kd* de la FDN es similar a la *kp* (Mertens, 1993). La tasa de pasaje de la fracción afecta la digestibilidad, el consumo de alimento, los productos finales de la fermentación y la eficiencia de síntesis de proteína microbiana. La extensión de digestión en el rumen está en función de la relación entre *kd* y *kp*. Allen y Mertens (1988) presentan estas ecuaciones que lo muestran en forma clara:

$$\%\ \text{de digestión en rumen} = \frac{kd}{(kp + kd)}$$

Existen factores del alimento, del animal y del ambiente que pueden modificar la tasa de pasaje. Por ejemplo, aquellos factores que modifiquen la resistencia a la reducción del tamaño de partícula pueden alterar la *kp* como la composición química, la anatomía de la planta, morfología, el grosor de la pared celular. Se ha demostrado que la tasa de ruptura está inversamente relacionada a la concentración de FDN y a la de lignina (Spalinger *et al.*, 1986; Poppi *et al.*, 1981;

Poppi *et al.*, 1985). Los pastos tropicales tienen una *kp* más lenta que pastos templados. La energía para moler un forraje esta correlacionada (r=0.91) con la FDN (Paul y Mika, 1981).

Se ha encontrado que las partículas de la FDN se fracturan en formas diferentes, por ejemplo, las formas filamentosas (gramíneas elongadas) resisten más al escape del rumen que las formas cuboidales (leguminosas). Se estima que del 14 al 20% de la reducción de partícula se puede atribuir a la *kd* (McLeod y Minson, 1988), y el resto a la masticación y reducción física. Dado que en el rumen hay una fracción sólida y una líquida, se pueden estimar las tasas de pasajes de ambas fracciones. En el caso de los nutrientes se puede estimar el pasaje de cada nutriente en particular. Si se desea estimar el porcentaje de pasaje de un nutriente, se puede expresar con la relación:

$$\%\ \text{pasaje de nutriente} = \frac{kp}{(kd + kp)}$$

La estimación de la tasa de pasaje se hace con marcadores indigestibles (internos o externos). Para que pase un alimento del rumen es necesario que su tamaño de partícula se reduzca a 1.8 mm (Poppi *et al.*, 1981; Poppi *et al.*, 1985) por rumia y digestión microbiana. En ocasiones se pueden encontrar partículas de mayor tamaño en heces de animales con consumos elevados. Algunos factores que afectan el pasaje son la gravedad específica de la partícula, la cual debe de incrementarse hasta 1.2 para caer de la capa de fibra que se forma en el rumen (*mat layer*, en inglés). La gravedad específica se incrementa por hidratación de los espacios de las partículas. La densidad específica está correlacionada positivamente con el pasaje (r=0.83). La tasa de pasaje es mayor en animales de menor tamaño como rumiantes selectores de plantas nutritivas (cabras, venados) en comparación de bovinos.

La tasa de pasaje (de la fracción sólida o líquida) se puede expresar en forma fraccional con una cinética de primer orden. En la fase sólida representa la fracción de alimento que pasa del rumen por hora. La fracción líquida varía de 4 a 10%/h, los concentrados de 2 a 7%/h y los forrajes de 1 a 6%/h, dependiendo del consumo, peso vivo, porcentaje de forraje, nivel de FDN, marcador usado, entre otros. El tiempo de retención se define como el tiempo medio que permanece una particular en el rumen y se calcula como el reciproco de la tasa de pasaje, por ejemplo, si *kp*=0.04/h, el tiempo de retención sería 1/0.04=25 horas.

Los procesos físicos que afectan tamaño de partícula modifican la tasa de pasaje (*kp*), por ejemplo, el molido aumenta *kp*. Las dietas altas en concentrado tienen una menor *kp* que las altas en forraje, pues reducen la motilidad. El porcentaje de forraje juega un papel importante (Evans, 1981). Aquellos factores que modifiquen el consumo tendrán mayor impacto en la *kp*. Los efectos ambientales que modifiquen el consumo como el frío aumentan la *kp*, mientras que el estrés calórico reduce la *kp* (Mendoza *et al*., 2003). Estados fisiológicos que incrementen el consumo también tendrán un efecto en la tasa de pasaje (Mendoza *et al*., 1986). Deficiencias de nutrientes que reduzcan el consumo también afectarían la *kp*. El uso de ionóforos que reducen el consumo también pueden reducir la *kp* (Mendoza *et al*., 2008). Debe tenerse presente que la tasa de pasaje está inversamente relacionada al volumen ruminal a cierto nivel de consumo. La capacidad ruminal es una función lineal del peso vivo y el requerimiento de ENm es una función del peso metabólico, la capacidad de digestión de FDN tiende a incrementarse con el peso vivo debido a que se reduce la *kp*, relativa a la demanda de energía (Allen y Mertens, 1988). Es importante reconocer las interacciones dietarias como afectan la tasa de pasaje, por ejemplo, el uso de grasas en raciones altas en granos incrementan la tasa de pasaje del almidón (Krehbiel *et al*., 1995). Estudios de Blaxter *et al*. (1956) demostraron el efecto del tamaño de partícula de los forrajes en la tasa de pasaje.

Los marcadores se pueden usar de dos formas para estimar la tasa de pasaje: en dosis continua o en una dosis única. Un ejemplo de uso de forma continua es la estimación de consumo al proporcionar el marcador externo en el alimento en una dosis conocida, como se explicó previamente. Para dar una dosis única es necesario usar un marcador externo que puede ser de fase solida o líquida. El más común es el óxido de cromo para estimar la tasa de pasaje de la fase sólida, pero también hay otros como el cromo mordantado a la fibra, los elementos de tierras raras (Ru, Sm, La, Ce, y Yb). Para la fase líquida se usa el polietilen glicol o se preparan soluciones de Cr-EDTA o Co-EDTA, estos dos últimos son preferibles por su fácíl análisis (Uden *et al*., 1982; Van Soest, 1994).

Para ejemplificar la estimación de la tasa de pasaje y el volumen del rumen usaremos datos de un borrego de 50 kg de peso, al cual se le dio una dosis de una solución con 20 gramos de polietilenglicol (PEG, marcador de la fase líquida). Posterior a la dosis, se tomaron muestras de líquido ruminal y se determinó en el laboratorio, con espectrofotómetro, la concentración de PEG, la cual se muestra en el cuadro 55.1.

Cuadro 55.1 Concentración de polietilenglicol en líquido ruminal, después de dosificar

Tiempo (horas)	Polietilenglicol mg/ml
1	3.2
2	2.0
4	1.5
6	1.2
12	0.8

Como es una cinética de primer orden, se obtiene el logaritmo natural de la concentración de PEG y posteriormente se hace una regresión con el tiempo como variable independiente y el logaritmo natural de PEG como variable dependiente, usando *Excel* o algún otro programa estadístico (cuadro 55.2).

Cuadro 55.2 Valores requeridos para estimar tasa de pasaje y volumen ruminal

Tiempo (horas)	PEG mg/ml	ln [PEG]
1	3.2	1.16315081
2	2.0	0.69314718
4	1.5	0.40546511
6	1.2	0.18232156
12	0.8	-0.22314355

PEG: polietilenglicol.

La ecuación de regresión es: ln [PEG]=1.004529878-0.112068331 Tiempo

Entonces la tasa de pasaje de la fracción líquida es 0.11/h o 11.20%/h. Para estimar el volumen del rumen, tenemos que calcular la función exponencial f(x)=ex o exp(x) del intercepto con alguna calculadora científica 1.0045 ex=2.73, lo cual representaría la concentración teórica a tiempo cero (si el PEG estuviera distribuido al inicio en estado de equilibrio). El volumen en este caso del rumen (si fuera marcador solido sería el tamaño o contenido de la digesta en rumen) se obtiene con esta ecuación:

$$\text{Volumen} = \frac{\text{dosis}}{\text{concentración a tiempo cero}}$$

Dado que la dosis estaba en gramos y la concentración de PEG fue en mg por ml, ponemos en las mismas unidades:

Volumen = (20,000 mg/2.73 mg/ml) = 7326 ml = 7.23 litros



Ejercicio 55

Cálculo de la tasa de pasaje de la fracción sólida en el rumen

Se dosificó con 5 gramos equivalente de cromo (7.308 g óxido de cromo) a un bovino canulado, alimentado con una dieta alta en granos y se tomaron muestras de digesta ruminal, las cuales fueron procesadas de acuerdo con las recomendaciones de Uden *et al.* (1982). Se determinó la concentración de cromo en espectrofotómetro de absorción atómica (cuadro 55.3). Estime la tasa de pasaje de la fracción sólida y el tamaño del pool de la materia seca en el rumen.

Cuadro 55.3 Concentración de cromo en digesta ruminal después de dosificar cinco gramos de cromo

Tiempo (horas)	Cr ppm
3	586
6	548
9	500
12	375
24	160
48	45
72	16

Resultados ejercicio 55

En el cuadro 55.4 se presenta el ln de la concentración de cromo (Y) con los que se hace la regresión lineal en función del tiempo (X).

Cuadro 55.4 Valores requeridos para estimar la tasa de pasaje de la digesta

Tiempo (h)	[Cr ppm]	ln [Cr]
3	586	6.37331979
6	548	6.30627529
9	500	6.2146081
12	375	5.92692603
24	160	5.07517382
48	45	3.80666249
72	16	2.77258872

La ecuación resultante es: ln [Cr]=6.565711079-0.05450818 Tiempo

Entonces la tasa de pasaje es 5.45%/h o -0.545/h. Para estimar el volumen estimamos la función exponencial f(x)=ex o exp(x) del intercepto 6.5657 con calculadora científica 6.5657 e^x=710 que sería la concentración teórica en inicio.

El volumen sería entonces:

$$\text{Volumen} = (5000\ \text{mg})/(710\ \text{mg/kg}) = 7.04\ \text{kg MS}$$

Estimación de producción de metano en rumiantes

El metano se forma en la fermentación ruminal y se considera que el ganado doméstico contribuye con una tercera parte del metano producido a nivel mundial (IPCC, 2007). La medición de CH_4 en animales requiere equipos complejos y costos, por lo que se han desarrollado ecuaciones de predicción y modelos de simulación para predecir las emisiones de metano (Storm *et al.*, 2012). La digestión anaerobia en el rumen es una de las principales fuentes de emisiones de metano y también hay contribución menor de la fermentación en caballos, conejos, cerdos, aves (Moss *et al.*, 2000), animales silvestres y humanos (Crutzen *et al.*, 1986). El CH_4 es producido por las bacterias anaerobias metanógenicas a partir de H_2 y el CO_2 (Carmona *et al.*, 2005), particularmente en el proceso de digestión de la fibra.

La producción de metano está en función de la cantidad y calidad del alimento consumido, siendo la digestibilidad uno de los principales factores, por lo que generalmente hay una correlación negativa entre la digestibilidad y la emisión de metano (Cambra *et al.*, 2008). La emisión de CH_4 depende de factores del animal (peso, edad y especie), así como del alimento, principalmente asociado al contenido de energía (Cambra *et al.*, 2008). La reducción de CO_2 a CH_4 se da según la siguiente ecuación:

$$CO_2 + 4\,H_2 \longrightarrow CH_4 + 2\,H_2O$$

La producción de metano es indispensable en el rumen para evitar la acumulación de hidrógeno lo que inhibiría la fermentación. La fermentación es un proceso oxidante, durante el cual los reducidos (NADH, NADPH) se reoxidan (NAD, NADP) a través de reacciones de deshidrogenación liberando hidrógeno en el rumen. El patrón de fermentación modifica la cantidad de metano producido, y mientras que el propionato captura hidrógeno en su formación, la formación de acetato y butirato están asociadas a mayor contribución de metano. De esta forma la producción de CH_4 se puede calcular estequiométricamente a partir de la formación de ácidos grasos volátiles (Martin *et al.*, 2009).

La producción de metano representa una pérdida de energía para el animal (se estima alrededor del 7% de la energía bruta consumida, pero puede llegar a ser hasta el 12%). Si se considera la población de rumiantes, el volumen de gas producido (400 a 600 litros/día de metano y 600 a 900 litros día de CO_2 en una vaca lechera; Martin *et al.*, 2007), se entiende el porqué los rumiantes contribuyen a un porcentaje importante de la producción de metano mundial (Sosa *et al.*, 2007).

La manipulación de la relación forraje: concentrado de los rumiantes es una alternativa viable para disminuir la producción de CH_4 reducir las pérdidas de energía metabolizable. El mejorar la digestibilidad, incrementar la proporción de propionato, la suplementación, son prácticas que pueden disminuir las emisiones de CH_4 (Carmona *et al.*, 2005). La producción de CH_4 estará asociada al consumo de energía y nivel de alimentación (Cambra *et al.*, 2008). El contenido de almidón también tendrá un impacto en la producción de propiónico y metano (Galindo *et al.*, 2009). Se estima que incrementar el consumo de concentrados puede reducir la producción de CH_4 de 9 a 5% de la energía bruta (EB) y en dietas altas en granos las pérdidas pueden representar del 2 al 3% de la EB consumida (Boadi *et al.*, 2004). Todos los factores relacionados a la cinética ruminal, la cantidad y tipo de carbohidratos fermentados (tasa de digestión y pasaje) tendrán impacto en el patrón de fermentación y en el metano producido (Johnson y Johnson, 1995). Otras alternativas que se usan para la reducción de metano incluyen los ionóforos, que pueden reducir la producción de metano en un 10% (Kobayashi, 2010). También se han incluido lípidos con altos niveles de ácidos grasos insaturados logrando reducir en un 27 a 37% la producción de metano (Martin *et al.*, 2007).

Ecuaciones de predicción

Debido a la naturaleza del fenómeno, se han desarrollado muchas ecuaciones y modelos. En el cuadro 56.1 se presentan algunas de las ecuaciones compiladas por Ellis *et al.* (2009), donde se puede apreciar que la mayoría de producción de metano está relacionada al consumo de materia seca (CMS), de energía metabolizable (CEM), porcentaje de forraje o de su composición (FDN, FDA, hemicelulosa y lignina) e inversamente relacionada a porcentaje de concentrado (almidón, azúcares, carbohidratos no estructurales).

Cuadro 56.1 Ecuaciones de predicción de metano para bovinos

CH_4 (MJ/d)=4.38+0.0586×CEM (MJ/d)
CH_4 (MJ/d)=3.96+0.561×CMS (kg/d)
CH_4 (MJ/d)=5.263+6.93×Lignina (kg/d)
CH_4 (MJ/d)=5.58+0.848×FDN (kg/d)
CH_4 (MJ/d)=5.70+1.41×FDA (kg/d)
CH_4 (MJ/d)=3.05+0.0371×CEM (MJ/d)+0.801×FDN (kg/d)
CH_4 (MJ/d)=3.31+0.0382×CEM (MJ/d)+1.05×FDA (kg/d)
CH_4 (MJ/d)=0.357+0.0591×CEM (MJ/d)+0.0500×Forraje (%)
CH_4 (MJ/d)=−1.02+0.681×CMS (kg/d)+0.0481×Forraje (%)
CH_4 (MJ/d)=2.30+1.12×CMS (kg/d)−6.26×Lignina (kg/d)
CH_4 (MJ/d)=2.70+1.16×CMS (kg/d)−15.8×EE (kg/d)
CH_4 (MJ/d)=0.183+0.0433×CEM (MJ/d)+0.647×FDN (kg/d)+0.0372xForraje (%)
CH_4 (MJ/d)=2.94+0.0585×CEM (MJ/d)+1.44×FDA (kg/d)−4.16xLignina (kg/d)
CH_4 (MJ/d)=−2.07+2.636×CMS (kg/d)−0.105×CMS (kg/d)^2
CH_4 (MJ/d)=0.341+0.511×NSC (kg/d)+1.74×HC (kg/d)+2.652×CEL (kg/d)
CH_4 (MJ/d)=5.93+0.92×CMS (kg/d)
CH_4 (MJ/d)=8.25+0.07×CEM (MJ/d)
CH_4 (MJ/d)=1.06+10.27×proporción de forraje+0.87×CMS (kg/d)
CH_4 (MJ/d)=56.27-(56.27+0)×e[−0.028×CMS (kg/d)]
CH_4 (MJ/d)=45.98-(45.98+0)×e[−0.003×CEM (MJ/d)]
CH4 (MJ/d)=45.98-(45.98+0)×e{−[−0.0011×(almidón: FDA)+0.0045]×CEM (MJ/d)}

HC=hemicelulosa; CEL=celulosa, CMS=consumo de materia seca, FDN=fibra detergente neutro, FDA=Fibra detergente ácido, CEM=consumo de energía metabolizable.

Fuente: Elllis *et al.* (2009).

Uno de los modelos y ecuaciones más usadas son las del IPCC (2006), donde estiman el CH_4 procedente de la fermentación de los rumiantes multiplicando el número de animales por un factor de emisión anual (FE) para el ganado bovino y ovino. El FE estima kilos de CH_4 por cabeza y año, y están en función de la EB y un factor de conversión (Ym) de metano:

$$FE = [EB \times (Ym/100)]/[55.65\ MJ/kg\ CH_4]$$

Donde

FE = Factor de emisión de metano kg CH_4 cabeza/día
EB = Energía bruta ingerida (MJ/cabeza)
Ym = Fracción (%) de la EB del alimento que se transforma en CH_4

Para estimar la EB consumida, se estiman los requerimientos de EN de los animales de acuerdo con su estado fisiológico y factores que la modifican (peso, producción, digestibilidad), pero para Ym es más complicado, pues se basan en rangos de digestibilidad y calidad de las raciones (Cambra *et al.*, 2008). El valor de Ym para ganado bovino varia de 2 a 7.5% para alimentos con digestibilidades entre 45 y 85% y para los ovinos los valores van de 3.5 a 7.5% (IPCC, 2006). Para ovinos se sugieren ajustar por edad (3.5 a 4.5% menores de un año; 5.5-7.5% para adultos) y para caprinos, se recomienda un valor de Ym del 5% (Cambra *et al.*, 2008). Cambra *et al.* (2008) reportan las ecuaciones de regresión para estimar el Ym para bovinos, ovinos y caprinos (cuadro 56.2)

Cuadro 56.2 Ecuaciones por especie de rumiante para estimar el porcentaje de energía bruta que se transforma a metano

Especie	Ecuación
Bovinos	$Ym=-0.0038\ DMS^2+0.3501\ DMS-0.8111$
Ovinos	$Ym=-0.0038\ DMS^2+0.4178\ DMS-4.3133$
Caprinos	$Ym=0.151\ DMS - 2.58$

Ym: porcentaje de la energía bruta transformada a metano; DMS: digestibilidad de la materia seca (%). Fuente: Cambra *et al.* (2008).

La ecuación lineal de caprinos debería ser usada con precaución y quizás reevaluada en caso de que se alimenten con dietas muy digestibles (cuadro 56.3).

Cuadro 56.3 Cambios en Ym de acuerdo con la digestibilidad en rumiantes domésticos

Digestibilidad %	Bovinos	Ovinos	Caprinos
45	7.2	6.8	4.2
55	6.9	7.2	5.7
60	6.5	7.1	6.5
65	5.9	6.8	7.2
70	5.1	6.3	8.0
75	4.1	5.6	8.7
80	2.9	4.8	9.5
85	1.5	3.7	10.3

Fuente: Estimados con las ecuaciones de Cambra *et al.* (2008).

Para estimar la EB consumida, la IPCC (2006) indica que se necesita estimar el requerimiento de EN y, a partir de ahí, estimar el consumo de EB. Una alternativa más directa es medir el consumo de alimento y medir la EB en bomba calorimétrica o estimarla con valores medios de alimentos (cuadro 56.4). Otra posibilidad es estimar la EB a partir del valor calórico de carbohidratos (4.15 kcal/g), grasas (9.40 kcal/g) y proteínas (5.65 kcal/g) como se ha descrito previamente (Pagan, 1998). Por ejemplo, considere que un ovino consumió 1.01 kg/d de materia seca de una dieta con 4.38 Mcal/kg MS (18.32 MJ/kg MS) donde la ración tuvo una digestibilidad de 80 %. Primero se estima el consumo de EB:

$$\text{Consumo EB} = 1.01 \times 18.32 = 18.51\,\text{MJ/d}$$

Los valores del cuadro 56.4 muestran que la EB de todos los alimentos es de 4.697 Mcal/kg (19.635 MJ/kg) con el valor más bajo para la cascarilla de soya y el más alto para la grasa animal. Si se separan las grasas y los aceites, la media sería de 4.433 Mcal/kg (18.53 MJ/kg). La mayoría de los alimentos no lipídicos tienen valores de EB alrededor de esa media. El valor de EB dependerá del contenido de materia orgánica y de las proporciones de carbohidratos (simples o complejos), proteína y lípidos.

Cuadro 56.4 Valores de EB de diversos alimentos

Alimentos	Mcal/kg	MJ/kg	
Hojas	4.229	17.68	Golley (1961)
Tallos	4.267	17.84	
Raíces	4.720	19.73	
Semillas	5.065	21.17	
Sorgo	4.321	18.06	Petrie *et al.* (1997)
Maíz	4.409	18.43	
Maíz	4.490	18.77	Diggs *et al.* (1965)
Avena	4.610	19.27	
Trigo	4.530	18.94	
Harina de alfalfa	4.330	18.10	
Salvado de trigo	4.570	19.10	
Avena rolada	4.740	19.81	
Suero deshidratado	3.760	15.72	
Harina de carne	4.140	17.31	
Pasta de soya	4.660	19.48	
Harina de pescado	4.800	20.06	
Aceite de maíz	9.410	39.33	
Sebo	9.440	39.46	
Ensilaje de maíz	3.880	16.22	Antonio *et al.* (2012)
Alfalfa fresca	3.770	15.76	
Pollinaza	6.820	28.51	
Rastrojo de maíz	3.860	16.13	
Maíz molido	4.060	16.97	
Sorgo	3.850	16.09	
Cascarilla de maíz	3.590	15.01	
Concentrado comercial bovino	4.000	16.72	
Granza	3.880	16.22	
Salvado de trigo	4.010	16.76	
Heno de Timothy	4.510	18.85	Pagan (1998)
Paja de cebada	4.430	18.52	
Avena grano	4.680	19.56	
Maíz	4.430	18.52	
Maíz grano	4.550	19.02	McDowell *et al.* (1974)

Salvado de trigo	4.540	18.98	
Pasta de soya	4.720	19.73	
Soya integral	5.520	23.07	
Ryegrass	4.540	18.98	
Heno de alfalfa	4.370	18.27	

Posteriormente, estimamos el factor de pérdidas de EB en metano en función de la digestibilidad con la ecuación de ovinos:

$$Ym = - 0.0038\ DMS^2 + 0.4178\ DMS - 4.3133$$

$$Ym = 4.8\%$$

Posteriormente se estima la emisión:

$$FE = [EB \times (Ym/100)]/[55.65\ MJ/kg\ CH_4]$$

$$FE = [21.90 \times (4.8/100)]/[55.65.] = 0.018\ kg/d\ CH_4$$

Al año, serían 6.88 kg de metano que está dentro de lo esperado a una dieta alta en granos y sería comparable al estimado por el IPCC de 8 kg CH_4 por ovino al año o las medidas por Dengel *et al.* (2011) de 7.4 kg/año en pastoreo. El IPCC (2006) estima primero el requerimiento de EN dando coeficientes y ecuaciones para digestibilidad, así como de eficiencia de utilización de la energía y, posteriormente, se estima la producción de metano. Por ejemplo, para el caso del ovino, nosotros hemos estimado un requerimiento de ENm de 1.85 Mcal/d (7.72 MJ/d) y de ENg de 1.197 Mcal/d (5.00 MJ/d). La eficiencia de utilización de la energía para mantenimiento en rumiantes es de 0.7, para la ganancia de peso varía en función de la composición del tejido, pero en promedio podemos usar 0.45, para producción de leche 0.60 y para gestación 0.13 (NRC, 2000). Entonces podemos estimar la EM consumida por el ovino del ejemplo:

$$EM(MJ/d) = [ENm/0.7] + [ENg/0.45]$$

$$EM = [7.72/0.7] + [5/0.45] = 11.04 + 11.11 = 22.16\ MJ/d$$

Para estimar la ED podemos usar un promedio de 18% de pérdidas en gases y orina (NRC 2000).

$$ED(MJ/d) = [ED\ MJ/d\ consumida/0.82]$$

$$ED = [22.16/0.82] = 27.03\ MJ/d$$

La energía bruta dependerá de la digestibilidad de la energía, que dependerá de la calidad de la ración, el IPPC (2006) recomienda usar de 75-85% para dietas altas en granos, de 55-75% para forrajes de buena calidad y de 45 a 55% para forrajes de baja calidad. En este caso, se conoce la digestibilidad de 80%, con lo que se estima la EB consumida:

$$EB(MJ/d) = [EM\ MJ/(digestibilidad/100)]$$

$$EB = [27.03/0.80] = 33.78\ MJ/d$$

Es importante observar que con la metodología del IPPC (2006), se podría sobreestimar ligeramente el consumo de EB (el medido en el borrego fue de 22.12 MJ/d) y eso implicaría una mayor emisión de metano producido. Si se aplican de nuevo las ecuaciones de emisión:

$$FE = [EB \times (Ym/100)]/[55.65\ MJ/kg\ CH_4]$$

$$FE = [33.78 \times (4.8/100)]/[55.65] = 0.029\ kg/d\ CH_4$$

Esto llevaría a una estimación de 10.69 kg de metano anuales que para el tipo de dieta (alta en grano) es poco probable que ocurra. En conclusión, es preferible medir a estimar las perdidas, pero en términos de estimaciones globales de poblaciones a nivel regional es necesario usar los modelos como el del IPPC (2006) que además también consideran la producción de metano asociada a las excretas.

Ejercicio 56

Estimación de producción de metano en rumiantes

Usando la información del cuadro 56.5 de una ración de vacas lecheras Holstein que consumieron 22 kg MS/d, estime la producción de metano con base en la EB consumida y posteriormente con base en el contenido de FDN, FDA y EM, usando las primeras cuatro ecuaciones presentadas en el cuadro 56.1 Discuta ventajas y desventajas de las distintas formas de estimación de metano y compare con los valores reportados en la literatura. Considere que el TND es un estimador de la digestibilidad.

La estimación de metano entérico es un aspecto fundamental debido a las implicaciones que tienen las emisiones de gases de efecto invernadero. Al analizar una ración como la presentada en el cuadro 56.5 es importante identificar la relación forraje: concentrado, así como los ingredientes o aditivos que pueden reducir la emisión de metano (las grasas o aceites vegetales pueden reducir metano, la inclusión dietaria de propionato de calcio puede capturar iones hidrogeno). Se sugiere que al final del ejercicio, utilice el programa NASEM 2021 del NRC (2021) de ganado lechero para comparar sus resultados obtenidos.

Se recomienda al estudiante que busque literatura donde se hayan realizado mediciones de metano *in vivo* y que reporten información de comportamiento productivo, consumo, digestibilidad de nutrientes, fermentación ruminal, excreción urinaria y fecal (Orzuna *et al.* 2021), para que pueda comparar sus estimaciones con mediciones reales.

Cuadro 56.5 Composición de la ración e ingredientes consumidos por vaca lechera para estimar la producción de metano

Alimento	% ración BS	EB Mcal/kg	TND %	FDN %	FDA %	EM Mcal/kg
Heno alfalfa	24.18	4.33	58	51	41	2.18
Ensilaje de maíz	28.81	3.88	55	53	30	2.31
Grano de maíz	20.53	4.43	80	9	3	3.12
Pasta de soya	11.15	4.72	78	8	6	3.29
Salvado trigo	10.31	4.57	62	51	15	2.67
Gluten maíz	0.92	4.22	75	37	9	2.12
Harina de sangre	1.11	5.95	66	0	0	2.49
Metionina protegida	0.47	3.00	0	0	0	0
Minerales	1.85	0	0	0	0	0
Vitaminas	0.18	0	0	0	0	0
Sal	0.49	0	0	0	0	0
Total	100					

BS: base seca; EB: energía bruta; TND: total de nutrientes digestibles; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; EM: energía metabolizable.

Resultados ejercicio 56

Para poder estimar la producción de metano debemos de estimar el contenido de EB de la ración, así como su digestibilidad (TND) y los aportes de FDN, FDA y EM. Para eso multiplicamos la proporción en 1 kg y sumar su aporte. Por ejemplo, para el aporte de EB del heno de alfalfa que tiene 24.18% en la dieta con 4.33 Mcal/kg, entonces su aporte es: 0.2418x4.33=1.04. Así sucesivamente se hace con cada fracción para obtener los aportes de EB, EM, FDN, FDA (cuadro 56.6).

Los nutrientes que aporte la ración tendrán un impacto en las emisiones de metano, en función de la energía consumida, la digestibilidad y la relación forraje: concentrado. Además de formular raciones que cubran los requerimientos nutricionales, se deben de considerar las emisiones de metano para poder revisar programas de alimentación que disminuyan las emisiones netas de gases de efecto invernadero.

Cuadro 56.6 Aporte de nutrientes para estimar producción de metano de una ración de ganado lechero

Alimento	% ración BS	Aporte				
		EB	Digestibilidad	FDN	FDA	EM
Heno alfalfa	0.2418	1.047	14.02	12.33	9.91	0.527
Ensilaje de maíz	0.2881	1.118	15.85	15.27	8.64	0.666
Grano de maíz	0.2053	0.909	16.42	1.85	0.62	0.641
Pasta de soya	0.1115	0.526	8.70	0.89	0.67	0.367
Salvado trigo	0.1031	0.471	6.39	5.26	1.55	0.275
Gluten maíz	0.0092	0.039	0.69	0.34	0.08	0.020
Harina de sangre	0.0111	0.066	0.73	-	-	0.028
Metionina	0.0047	0.014	-	-	-	-
Minerales	0.0185	-	-	-	-	-
Vitaminas	0.0018	-	-	-	-	-
Sal	0.0049	-	-	-	-	-
Total	100	4.191	62.81	35.94	21.47	2.522

EB: energía bruta; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; EM: energía metabolizable.

Primero se estima con base en el consumo de EB. Se transforma a MJ las Mcal (multiplicando por 4.18) y se estima el Ym de acuerdo con la digestibilidad y finalmente se calcula con la ecuación el FE de la producción de metano:

CMS = 22 kg/d

EB = 4.190 Mcal/kg

EB = 17.517 MJ/kg

CEB = 385.37 MJ/d

Digestibilidad ración = 62.801%

Usando la ecuación para bovinos:

$Ym = - 0.0038\ DMS^2 + 0.3501\ DMS - 0.8111$

$$Ym = -0.0038(62.81)^2 + 0.3501(62.81) - 0.8111$$

$$Ym = 6.2\%$$

Esto indica que de la EB se pierde 6.25 en forma de metano. Estimando el factor de emisión:

$$FE = [EB \times (Ym/100)]/[55.65\ MJ/kg\ CH_4]$$

$$FE = [385.37 \times (6.27/100)]/[55.65\ MJ/kg\ CH_4]$$

$$FE = 0.428\ kg\ metano$$

$$Emisión\ anual = 156.40$$

Si comparamos esta estimación con lo que reporta el IPPC (2006) para vacas de Norteamérica, el valor estimado es de 128 kg de metano por cabeza al año para una vaca de 8400 kg de leche/año que corresponde al tipo de vaca evaluada. El valor es mayor que el estimado para vacas neozelandesas en pastoreo que son de menor productividad de 74.7 kg de metano por vaca al año (Waghorn y Woodward, 2004). Es importante mencionar que las primeras estimaciones de metano para ganado lechero estaban alrededor de 95 kg por vaca (Crutzen *et al.*, 1986). Otras estimaciones en función de fertilidad en vacas lecheras usan producciones con un valor 39.72 kg por vaca (Garnsworthy, 2004). La predicción con base en el consumo de materia seca se hace con la ecuación:

$$CH_4\ (MJ/d) = 3.96 + 0.561 \times CMS(kg/d)$$

$$CMS = 22\ kg/d$$

$$Producción\ de\ metano = 16.302\ MJ/d$$

$$Factor\ de\ conversión = 1\,MJ\ 55.65$$

$$kg\ de\ metano/d = 16.302/55.65 = 0.292$$

$$Emisión\ anual\ de\ kg\ CH_4/vaca = 365 \times 0.292 = 106.92$$

Se puede apreciar la estimación es inferior al estimado con el consumo de EB y al reportado para este tipo de ganado. Para hacer la predicción con base en la concentración dietaria de FDN se procede con los siguientes cálculos:

Contenido de FDN = 35.94%

FDN = 0.3594 kg/kg

Consumo FDN = (0.3594) CMS = 0.3594 × 22 = 7.90 kg/d

Usando la ecuación:

$CH_4(MJ/d) = 5.58 + 0.848 \times FDN(kg/d)$

Metano = 12.28 MJ/d

Metano = 0.220 kg/d

Emisión anual de metano = 80.57 kg/vaca

En forma similar se realiza la predicción con base en la concentración dietaria de FDA con la ecuación correspondiente:

Contenido de FDA % = 21.47%

FDA = 0.2147 kg/kg

Consumo FDA = (0.2147)CMS = 0.2147 × 22 = 4.72 kg/d

Usando la ecuación:

$CH_4(MJ/d) = 5.70 + 1.41 \times FDA(kg/d)$

Metano = 9.585 MJ/d

Metano = 0.172 kg/d

Emisión anual de metano = 62.87 kg/vaca

Para hacer la estimación con base en el consumo de EM y contenido de FDN se usa la ecuación que incluye ambos componentes:

Contenido de EM = 2.522 Mcal/kg

Contenido de EM = 10.54374068 MJ/kg

Contenido de EM = CMS × 10.543 = 22 × 10.543 = 231.96 MJ/d

Contenido FDN = (0.3594)CMS = 0.3594 × 22 = 7.90 kg/d

Usando la ecuación:

$CH_4(MJ/d) = 3.05 + 0.0371 \times CEM(MJ/d) + 0.801 \times FDN(kg/d)$

$CH_4 = 3.05 + 0.0371 \times 2.3196 + 0.801 \times 7.90 = 17.98$ MJ/d

Metano = 17.989 MJ/d

Metano = 0.323 kg/d

Emisión anual de kg CH_4/vaca = 117.987

Estimación de metano por estequiometría de la fermentación ruminal

Basados en las leyes de química, se puede establecer un balance de la fermentación ruminal con la ecuación general (Van Soest, 1994):

$C_6H_{12}O_6 + NH_3 \rightarrow$ microorganismos + ácidos grasos volátiles + $CH_4 + CO_2$

Las ecuaciones de la fermentación fueron descritas por Baldwin (1970):

Glucosa $\rightarrow$ 2 acetatos + 2 CO_2 + 8H

Glucosa $\rightarrow$ 1 butírico + 2 CO_2 + 4 H

Glucosa + 4 H $\rightarrow$ 2 propionato

$CO_2 + 8\ H \rightarrow CH_4 + 2\ H_2O$

Como se puede apreciar, la formación de propionato captura hidrógeno y la formación de acetato y butirato resultan asociados a la formación de metano.

Wolin (1960) calculó el estado de oxidación (número de átomos de oxígeno menos la mitad de átomos de hidrógeno) con lo cual se puede estimar la formación de metano a partir de conocer los productos de la fermentación ruminal (ácidos grasos volátiles).

Cuadro 57.1 Equivalentes de oxidación de compuestos orgánicos de la fermentación ruminal

Compuesto	Fórmula	Equivalente neto de oxidación por mol
Glucosa	$C_6H_{12}O_6$	0
Acetato	$C_2H_4O_2$	0
Propionato	$C_3H_6O_2$	-1
Butirato	$C_4H_8O_2$	-2
Dióxido de carbono	CO_2	2
Metano	CH_4	-2

Fuente: Modificado de Van Soest (1994).

La descripción de los cálculos para estimar el metano y el CO_2 se describen ampliamente en la referencia original de Wolin (1960) y Van Soest (1994) ha presentado una forma resumida que se basa en el establecimiento de dos ecuaciones algebraicas.

Usando el ejemplo original de Wolin (1960), se tiene un patrón molar de fermentación de 65 moles de acetato, 20 de propionato y 15 de butirato. Nótese que la suma de los tres da 100. Algunos investigadores han criticado este modelo, dado que no considera la fermentación de la proteína (Moss *et al.*, 2000). La ecuación estequiométrica se puede presentar como:

$$X\ \text{glucosa(6C)} \longrightarrow 65\ \text{acetato(2C)} + 20\ \text{propionato(3C)} + 15\ \text{butirato (4C)} + Y\ CO_2 + Z(CH_4)$$

La ecuación balanceada en equivalentes netos de oxidación sería equivalente a cero:

$$Y + Z + \text{moles de acetato} + \text{moles de propionato} + \text{moles de butirato} = 0$$

Se establece una ecuación de incógnitas de Y Z basadas en los ácidos que contribuyen a su formación:

$Y\ CO_2 + Z\ CH_4 = 65$ acetato $+ (2 \times 15$ butirato 4C)

Sumando los carbonos del acetato son 65 y los correspondientes del butirato:

$Y\ CO_2 + Z\ CH_4 = 65$ acetato $+ 30$

$Y + Z = 95$

Posteriormente, se calcula el estado de oxidación del sustrato multiplicando el equivalente neto de oxidación (cuadro 57.2):

$Y + Z +$ moles de acetato + moles de propionato + moles de butirato $= 0$

$(65)(0) + (20)(-1) + (15)(-2) + (Y)(+2) + (Z)(-2)$

$Y - Z = 25$

Entonces se tienen ya dos ecuaciones con Y Z que se pueden resolver en forma algebraica:

$Y + Z = 25$

$\underline{Y + Z = 25}$

$2Y = 120 = 60$

Despejando Z en otra ecuación se tiene:

$Z = 35$

Entonces son 60 moles de CO_2 y 35 de CH_4.

Los moles de glucosa de cada ácido graso volátil se estiman a partir de los que se forman a partir de cada mol de glucosa:

Acético ⟶ 2 moles = $65/2$ = 32.5

Propiónico ⟶ 2 moles = $20/2$ = 10

Butírico ⟶ 1 moles = $15/1$ = 15

Total = 57.5 moles de glucosa

Los moles de agua son equivalentes a la resta de los de acetato menos los de butirato. Por lo que la ecuación general de la fermentación quedaría:

57.5 de glucosa = 65 acetato + 20 propionato + 15 butirato + 60 CO_2 + 35 CH_4 + 25 H_2O

Ecuación simplificada de Van Soest

La producción de CO_2 y CH_4 se pueden estimar a partir de la proporción molar de ácidos grasos volátiles con estas ecuaciones resumidas por Van Soest (1994):

CO_2 = (acetato/2) + (propionato/4) + (1.5 butirato)

CH_4 = acetato + 2 butirato - CO_2

Usando los datos de Wolin (1960) usamos las ecuaciones:

CO_2 = (65/2) + (20/4) + 1.5(15) = 60

CH_4 = 65 + 2(15) - 60 = 35

Si consideramos los moles de hexosas consumidas divididas por su peso molecular polimerizado y las proporciones de dióxido de carbono y metano, se pueden estimar los moles emitidos diariamente de CO_2 y de CH_4 y si se desea obtener las cantidades en gramos se hace a partir de los pesos moleculares de cada gas.

Estimación de eficiencia de la fermentación

El conocimiento de los productos de la fermentación permite conocer la energía de los productos fermentados cuanto se queda en compuestos utilizables por el rumiante y los que no se consideran pérdidas (Riquelme, 1983). Para esto se multiplican los moles de la fermentación de la ecuación estequiométrica por su calor de combustión y basados en la relación de:

Calor producido = calor sustratos - calor en productos

Se puede obtener el total del calor de los sustratos (glucosa x 680 kcal/mol), el de los productos (cada ácido y metano por su correspondiente calor de combustión) y entonces se procede a estimar el metano del total como porcentaje y el total de la energía en ácidos grasos para conocer la eficiencia de la fermentación ruminal (cuadro 57.2).

Cuadro 57.2 Cálculo de calor de la fermentación ruminal

	Moles	Calor de combustión kcal/mol	Producto
Sustratos			
Glucosa	57.5	686	39445
Productos			
Acetato	65	209	13585
Propionato	20	367	7340
Butirato	15	524	7860
Metano	35	211	7385
Calor en productos kcal			36170
Calor producido kcal			3275
Calor como % del sustrato			8.30
Metano como % sustrato			18.72
Eficiencia de la fermentación % (energía en ácidos grasos volátiles)			72.98


39
38
37
36

Ejercicio 57

Estimación de pérdidas de metano en ovinos

Se ha estimado que el uso de ionóforos pueden reducir la producción de metano en un 10% asociado a una mayor producción de propionato (Kobayashi, 2010), sin embargo, debe considerarse que su uso generalmente reduce el consumo de alimento sin modificar la ganancia de peso (Plata *et al.*, 2004), lo cual no se ha considerado en las estimaciones además de que se puede modificar la digestibilidad de la materia seca (Gonzáles *et al.*, 2009). Considerando la información de un experimento realizado en ovinos por García *et al.* (2000a) presentada en el cuadro 57.3, estime la producción de metano anual esperada con base en el consumo de energía bruta y además estime las pérdidas de metano en la fermentación ruminal, basados en la estequiometría de la fermentación y la eficiencia de la fermentación ruminal. Considere que la pérdida de metano estimada por consumo de EB, debe ajustarse con base en los efectos en la fermentación.

Los ionóforos han sido de los aditivos más usados en alimentación de rumiantes por sus efectos benéficos en el animal y además reducían metano, pero por cambios en la legislación del uso de antibióticos están prohibidos en varios países y en el futuro no estarán disponibles, por lo que es importante buscar alternativas entre los fitobióticos, algunos ácidos grasos el alga roja *Asparagopsis taxiformis*, así como inhibidores de metano (metabióticos como el 3-NOP), que reduzcan el metano sin afectar negativamente la producción animal.

Cuadro 57.3 Información para estimar el efecto de ionóforos en la producción de metano

	Testigo	Ionóforo
Consumo de MS kg/d	1.296	1.275
EB MJ/kg MS	17.34	17.34
Digestibilidad de la MS %	72	72
Ácidos grasos volátiles rumen % molar		
Acetato	71.6	66.7
Propionato	18.9	24.4
Butirato	9.5	8.9

MS: materia seca; EB: energía bruta.

Resultados ejercicio 57

Aplicando el factor de pérdidas de metano con la ecuación para ovinos se tiene un Ym de 6.1% y multiplicando la EB por el consumo de MS, se estima el consumo de energía bruta (CEB). Usando la fórmula de FE se obtiene la producción de metano basada en consumo de energía bruta.

Cuadro 57.4 Cálculo de metano basado en consumo de energía bruta

	Testigo	Ionóforo
Ym	6.1	6.1
CEB MJ/d	22.47	22.11
FE kg metano/d	0.025	0.024
Anual de kg CH_4/borrego	8.95	8.80

Ym=facción (%) de la EB del alimento que se transforma en metano; CEB: consumo de energía bruta; FE: factor de emisión de metano.

Con base solo en el efecto del ionóforo en el consumo, se tendría una reducción de metano del 1.67%.

Con base en el patrón de fermentación de cada tratamiento, se procede a calcular los moles de cada ácido graso volátil. Por ejemplo, para el acetato del grupo testigo: 71.6/2=35.8.

Cuadro 57.5 Cálculo de moles de glucosa producidos basados en patrón de fermentación

	Moles/mol glucosa	Testigo	Ionóforo
Acético	2	35.8	33.35
Propiónico	2	9.45	12.2
Butírico	1	9.5	8.9
Total moles de glucosa		54.75	54.45

Con las ecuaciones simplificadas, se sustituyen los moles del cuadro 57.3 de AGV y se estiman los moles de CO_2 y CH_4, por ejemplo, para el testigo:

$$CO_2 = (\text{acetato}/2) + (\text{propionato}/4) + 1.5(\text{butirato})$$

$$CO_2 = (71.6/2) + (18.9/4) + 1.5(9.5) = 54.77$$

Cuadro 57.6 Estimación de metano y CO_2 con la ecuación simplificada

	Testigo	Ionóforo
Moles de CO_2	54.77	52.8
Moles de CH_4	35.82	31.7

Se procede a multiplicar los moles de sustratos y productos, por ejemplo, para la glucosa testigo 54.75x680=37230 kcal, acetato testigo 71.6x209=14964, CH_4 testigo 35.82x211=7559, etc. (cuadro 57.7).

Los valores del cuadro 57.7 y los principios de termodinámica permiten explicar porque del patrón de fermentación ruminal (acético, propiónico y butírico), determinan el calor de fermentación y la formación de los gases de efecto invernadero (CO_2 y CH_4), que son la base para que en las unidades de producción se definan prácticas de alimentación que reduzcan el metano entérico, CO_2 (y óxido nitroso) así como el uso de aditivos cuyo respaldo científico permita la reducción de esos gases (probióticos, fitobióticos y metabióticos).

La estimación de gases de efecto invernadero será una necesidad en los próximos años debido a que las granjas ganaderas estarán bajo presión para reducir sus emisiones y para cumplir con regulaciones ambientales que se están implementando en varios países.

Cuadro 57.7 Estimación de calor de fermentación y eficiencia de los tratamientos

	Calor de combustión kcal/mol	Testigo	Ionóforo
Sustratos			
Glucosa	680	37230	37026
Productos			
Acetato	209	14964.4	13940.3
Propionato	367	6936.3	8954.8
Butirato	524	4978	4663.6
Metano	211	7559.0	6688.7
Total		34437.7	34247.4
Calor producido		2792.2	2778.6
% del sustrato		7.50	7.50
Metano % sustrato		20.30	18.06
Eficiencia de la fermentación (Energía en AGV %)		72.20	74.43

Así se puede estimar la eficiencia de la fermentación y el porcentaje de pérdidas en metano y se puede observar que el ionóforo reduce las pérdidas en un 11.5% basados en los moles producidos. Se procede a ajustar el efecto del ionóforo en la producción de metano, basados en la reducción del 11.5%.

Cuadro 57.8 Estimación de la producción ajustada de metano con ionóforo.

	Testigo	Sin ajuste	Ajustado
FE kg metano/d	0.025	0.024	0.021
Anual de kg CH_4/borrego	8.95	8.80	7.787

FE: factor de emisión de metano.

Finalmente, podemos considerar que el ionóforo permite reducir las pérdidas de metano en un 12.95% anual, una parte por su efecto en la fermentación y otra por la reducción de consumo, aspectos que las ecuaciones del IPPC no consideran en sus estimaciones.

Ejercicio 58

Comparación de metano producido en ganado productor de leche

Los diferentes sistemas de producción de leche pueden resultar en distintos grados de emisión de metano. Estime la producción de metano de las vacas de doble propósito con la ecuación: CH_4 (MJ/d)=3.05+0.0371 CEM (MJ/d) x CFDN (kg/d); donde CEM es el consumo de EM y CFDN kg/d representa el consumo de paredes celulares. Posteriormente, estime la cantidad de kg de metano producidas por kg de leche al día. Compare ese valor con el que obtiene con ganado Holstein especializado estimado con la misma ecuación en el ejercicio 56. Considere que la vaca Holstein produce 35 kg de leche al día y compare que sistema de producción es más contaminante para producir la misma cantidad de leche.

Este tipo de comparaciones permite comparar sistemas de producción, así como identificar tecnologías que puedan ser implementadas con beneficios económicos para los ganaderos y ecológicos para la protección del ambiente. Tenga presente que se estima que los rumiantes emiten alrededor del 20% de las emisiones mundiales de metano por lo que la investigación y tecnologías para su reducción es urgente como el uso de aditivos y estrategias de manejo zootécnico.

Cuadro 58.1 Información de consumo y producción de vacas de doble propósito

Consumo concentrado MS kg/d	1.3	
Consumo forraje MS kg/d	8.5	
Consumo total	9.8	
Producción de leche kg/d	4.2	
Composición (base seca)	Forraje	Concentrado
Proteína cruda %	6.1	15.79
FDN %	77.2	25.37
FDA %	45.8	11.28

FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido.
Fuente: Garduza *et al.* (2013).

Resultados ejercicio 58

Primero se estima el consumo de EM y de FDN (cuadro 58.2). Posteriormente, se sustituyen los totales en la ecuación.

Cuadro 58.2 Cálculo de consumo de EM y FDN de las vacas de doble propósito

	kg/d	EM MJ/kg	Aporte EM	FDN kg/kg	Aporte FDN
Concentrado	1.3	15.29	19.87	0.253	0.329
Forraje	8.5	8.58	72.93	0.772	6.562
Total	9.8		92.80		6.891

EM: energía metabolizable; FDN: fibra detergente neutro.

$$CH_4(MJ/d) = 3.05 + 0.0371 \times CEM(MJ/d) + 0.801 \times CFDN(kg/d)$$

$$CH_4(MJ/d) = 3.05 + 0.0371 \times 92.80(MJ/d) + 0.801 \times 6.89(kg/d)$$

$$CH_4(MJ/d) = 12.011\,MJ/d$$

$$CH_4 = (CH_4\,MJ/d)/55.65 = 0.215\,kg/d$$

Para estimar los kg de metano producidos por kg de leche, se divide el último valor por los kg de leche producida que fueron 4 kg/d.

kg metano por kg de leche/día = 0.215/4 = 0.053

Para comparar la eficiencia, vemos los resultados del cuadro 58.3, donde se puede apreciar que la producción extensiva emite 5.8 veces más de metano que la producción especializada para producir la misma cantidad de leche. Se debería hacer un ajuste en el sistema especializado por la producción de metano asociado a las excretas y otro ajuste de captura de carbono en el pasto en el sistema extensivo para poder hacer un balance de carbono en ambos sistemas. Sin embargo, los sistemas extensivos o los que se denominan orgánicos pueden contribuir con mucho metano debido a la baja productividad por animal.

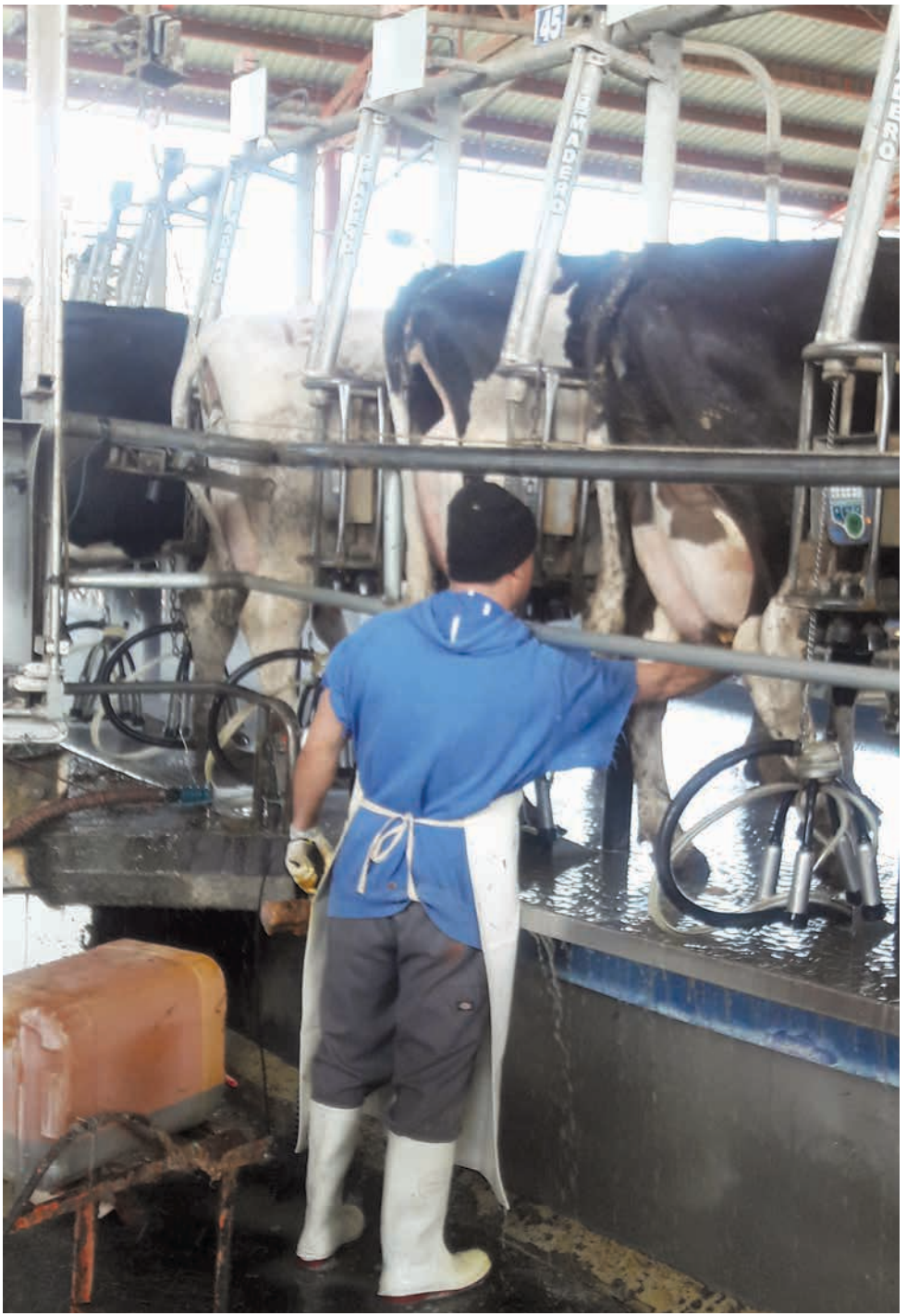
Cuadro 58.3 Comparación de metano producido en vacas lecheras en dos sistemas de producción

	Especializado	Doble propósito
kg leche/d	35	4
CEM MJ/d	231.96	92.80
CFDN kg/d	7.90	6.89
CH_4 MJ/d	17.98	12.01
CH_4 kg/d	0.323	0.215
kg CH_4/kg leche producida	0.0092	0.0537

CEM=consumo de energía metabolizable, CFDN=consumo de fibra detergente neutro.

El problema del cambio climático es grave, pero desde el sector pecuario podemos reducir las emisiones con programas de alimentación y aditivos. Debemos elaborar programas de manejos nutricionales que además de cubrir los requerimientos del ganado, reduzcan el metano y dióxido de carbono, así como la cantidad de elementos excretados y que mejore los ingresos netos de las granjas. Se recomienda revisar artículos científicos del enzimático 3-NOP, de *Asparagopsis taxiformis* (alga roja), extractos de plantas (zanahoria silvestre y aceite de semilla de cilantro) y los fitobióticos comerciales para considerar su uso para la reducción de gases de efecto invernadero.

México esta entre los primeros paises productores de alimentos balanceados para animales. Es urgente promover normas de regulación en los alimentos balanceados de rumiantes para que se incluyan en forma obligatoria compuestos que hayan demostrado su efectividad para reducir las emisiones de metano en rumiantes y de esta forma reducir a corto plazo las emisones de gases de efecto invernadero.



Estimaciones nutricionales en animales silvestres

Estimación de dieta de carnívoros

En ciertas ocasiones, es importante determinar la dieta de los carnívoros, como pumas, jaguares, coyotes, para conocer, no solo las presas, sino el número de especies domésticas que consumen. Para conocer la dieta se requiere colectar e identificar las excretas, para lo cual es necesario un entrenamiento de identificación de los indicios (Aranda, 2000). Las heces se pueden congelar y después se procesan para su identificación. Para esto se remojan 24 a 48 horas en una solución de agua y jabón (3 litros de agua y 40 ml de jabón líquido). Después se tamizan y se enjuagan con agua corriente y se separan los restos sólidos de la parte orgánica de la excreta. Los componentes que incluyen pelos, huesos, dientes, mandíbulas, escamas, pezuñas y vegetación se separaran y se identifican. Con base en las características macroscópicas se identifican taxonómicamente por orden, familia, género y especie. Los pelos se analizan microscópicamente con preparaciones fijas de pelo; y los restos de huesos, pezuñas, garras y dientes se comparan con las colecciones de referencia para su identificación. De cada alimento se registra la frecuencia de aparición (número de veces que fue registrado) y la frecuencia de ocurrencia (número de veces que aparece en porcentaje). La frecuencia de aparición se define como el porcentaje

de todas las excretas en las cuales un ítem fue encontrado. La frecuencia de ocurrencia como el número de veces que un ítem específico fue encontrado como porcentaje de todos los ítems encontrados.

Los cálculos para estimar la biomasa relativa han sido descritos por Ackerman *et al.* (1984). A continuación, mostramos un ejemplo de cómo hacer los cálculos de frecuencia y biomasa relativa. Se colectaron y procesaron 23 excretas de jaguar en San Luis Potosí (Rueda, 2010; Rueda *et al.*, 2013) y después de identificar las presas se obtuvieron los siguientes resultados del cuadro 59.1.

Cuadro 59.1 Resultados de las excretas encontradas en la dieta del jaguar en San Luis Potosí

Especie	Nombre científico	Número de excretas
Pecarí de collar	*Pecari tajacu*	8
Venado cola blanca	*Odocoileus virginianus*	1
Armadillo	*Dasypus novemcinctus*	1
Mapache	*Procyon lotor*	2
Paca o tuza real	*Cuniculus paca*	2
Coatí	*Nasua narica*	3
Lagartija	*Sceloporus*	1
Zorrillo	*Mephitis macroura*	1
Tlacuache	*Didelphis virginianus*	4
Total (n)		23

Número de alimentos=9

Las ecuaciones para estimar frecuencia de aparición y de ocurrencia son:

$$\text{Frecuencia de aparición}(\%) = \frac{\text{número de excretas}}{\text{total de número de excretas de especies}} \times 100$$

$$\text{Frecuencia de ocurrencia}(\%) = \frac{\text{número de excretas}}{\text{número de alimentos}} \times 100$$

La frecuencia de aparición (FA) en porcentaje se obtiene para cada presa considerando la relación con el total. Por ejemplo, para el caso del pecarí se encontraron 8 restos en 23 excretas:

$$FA = 100 \times (8/23) = 34.78\%$$

Para estimar la frecuencia de ocurrencia (FO) para pecarí, se usa como referencia el total de alimentos (en este caso 9):

$$FO = 100 \times (8/9) = 88.88\%$$

Esta información nos da un panorama diferente de la dieta. Aparece el pecarí con una frecuencia total del 34%, pero está en la mayoría de las heces del jaguar, lo que tiene una frecuencia de ocurrencia del 88%. Por eso el total de la frecuencia de ocurrencia no es del 100% (cuadro 59.2).

Cuadro 59.2 Resultados de la frecuencia de aparición y frecuencia de ocurrencia de la dieta del jaguar en San Luis Potosí

Especie	Frecuencia de aparición %	Frecuencia de ocurrencia %
Pecarí de collar	34.783	88.889
Venado cola blanca	4.348	11.111
Armadillo	4.347	11.111
Mapache	8.696	22.222
Paca o tuza real	8.696	22.222
Coatí	13.043	33.333
Lagartija	4.348	11.111
Zorrillo	4.348	11.111
Tlacuache	17.391	44.444
Total (n)	100	No se suma

Para estimar la biomasa y el número relativo de individuos, se calcula a partir de la frecuencia de ocurrencia. Para esto, se obtiene el peso medio de las presas. La información se puede obtener de Leopold (1959). Los datos se presentan en el cuadro 59.3. Debido a que existe una gran variación en el peso de las presas de los carnívoros, los métodos basados en frecuencias y en porcentajes, pueden llevar a errores, por lo que Ackerman *et al.* (1984) proponen un factor de ajuste con la siguiente ecuación de regresión para estimar la producción de excretas:

$$Y = 1.98 + 0.035\ X$$

Donde:

Y: peso de las excretas de la presa consumida
X: peso vivo de la presa kg

Esta ecuación de factor de corrección se aplica solo cuando las presas pesan más de 1 kg (Ackerman *et al.*, 1984), es decir, solo se estima para animales que pesen más de ese valor, por ejemplo, para el venado de 60 kg:

$$Y = 1.98 + 0.035 \times (60) = 4.08$$

Los resultados se presentan en el cuadro 59.4. Nótese que los animales menores a 1 kg el valor por kg de excreta es igual al del peso de la presa (columna C), como en la lagartija.

Cuadro 59.3 Frecuencia de ocurrencia y peso medio de las presas del jaguar

Especie	Frecuencia de ocurrencia %	Peso promedio kg
Pecarí de collar	88.889	19
Venado cola blanca	11.111	60
Armadillo	11.111	4.8
Mapache	22.222	5.5
Paca o tuza real	22.222	13.0
Coatí	33.333	4.87
Lagartija	11.111	0.015
Zorrillo	11.111	1.725
Tlacuache	44.444	2.47
Total (n)		23

Los factores de corrección son necesarios para evitar un sesgo en la estimación de las presas consumidas debido a que la proporción de materia digerible a no digerible aumenta con la masa corporal de la presa (Wachter *et al.*, 2012). Sería deseable que los zoológicos apoyaran en la realización de estos experimentos de alimentación con presas de varias masas corporales con diferentes carnívoros para poder tener las ecuaciones de regresión entre la masa de la presa consumida requerida para una excreta o para ajustar cuando no se consume la presa completa.

Watcher *et al.* (2012) evaluaron y propusieron dos factores de corrección basados en ensayos de alimentación, el primero con presas de varias masas corporales ajustando una regresión entre la masa de presa consumida para defecar un excremento y la masa corporal de presa. El segundo cuando las presas no

son consumidas en su totalidad y se controla la masa real de cada presa consumida por el carnívoro.

Cuadro 59.4 Uso del factor de corrección para estimar excretas colectables en animales mayores a 1 kg

Especie	Frecuencia de ocurrencia %	Peso vivo, kg	Peso corregido/kg de excretas
	A	B	C
Pecarí de collar	88.889	19	2.645
Venado cola blanca	11.111	60	4.08
Armadillo	11.111	4.8	2.148
Mapache	22.222	5.5	2.1725
Paca o tuza real	22.222	13.0	2.435
Coatí	33.333	4.87	2.15045
Lagartija	11.111	0.015	0.015
Zorrillo	11.111	1.725	2.040375
Tlacuache	44.444	2.47	2.06645

Para los cálculos de la biomasa relativa (%) y el número de individuos (cuadro 59.5), aplicamos las fórmulas de Ackerman *et al.* (1984) que, para facilitarse, se realizan en hoja de cálculo en forma de columnas:

$$\text{Biomasa relativa \%} = \text{columna D} = 100 \times [(A \times C)/\sum(A \times C)]$$

$$\text{Número relativo de individuos \%} = \text{columna E} = 100 \times [(D/B)/\sum(D/B)]$$

Como ejemplo, se usan los valores del pecarí y los cálculos generales se presentan en el cuadro 59.5:

$$D = 100 \times [235.111/593.061] = 39.64\% \text{ biomasa relativa del pecarí}$$

$$E = 100 \times [(2.086)/(18.075)] = 11.54\% \text{ número relativo de individuos de pecarí}$$

Es importante interpretar los resultados de las presas considerando las características del carnívoro, como el tamaño de las presas, las características fisiológicas generales del sistema digestivo, sus hábitos de caza y el uso de hábitat.

Cuadro 59.5 Biomasa relativa y número relativo de individuos consumidos por el jaguar

Especie	FO %	PV kg	PPEC/kg de excreta	FO x PPE	BR %	BR / PPE	NRI
	A	B	C	A x C	D	D / B	E
Pecarí de collar	88.889	19	2.645	235.111	39.64	2.086	11.54
Venado cola blanca	11.111	60	4.080	45.333	7.64	0.127	0.70
Armadillo	11.111	4.8	2.148	23.866	4.02	0.838	4.63
Mapache	22.222	5.5	2.172	48.277	8.14	1.480	8.18
Paca o tuza real	22.222	13.0	2.435	54.111	9.12	0.701	3.88
Coatí	33.333	4.87	2.150	71.681	12.08	2.481	13.73
Lagartija	11.111	0.015	0.015	0.166	0.028	1.873	10.36
Zorrillo	11.111	1.725	2.040	22.670	3.82	2.216	12.26
Tlacuache	44.444	2.47	2.066	91.842	15.48	6.269	34.68
Σ				593.061		18.075	

FO: frecuencia de ocurrencia; PV: peso vivo promedio; PPEC: peso promedio de excretas corregido; BR: biomasa relativa; NRI: número relativo de individuos.

Los resultados de la dieta se pueden expresar en términos de biomasa relativa, número relativo de individuos, frecuencia de aparición y frecuencia de ocurrencia, para dar una mayor información de la dieta del carnívoro. A partir de estos datos, se puede estimar el número de individuos consumidos.

Ejercicio 59

Estimación de dieta de carnívoros

En el estudio de San Luis Potosí que realizó Rueda (2010), también colectó muestras de excretas de puma, las cuales diferenció de las de jaguar por medio de técnicas de biología molecular. Los resultados de las muestras del puma se presentan en el cuadro 59.6. A partir de estos valores, estime la biomasa relativa, número relativo de individuos, frecuencia de aparición y frecuencia de ocurrencia. Compare la dieta del puma con la del jaguar e indique si hay competencia por los recursos alimenticios. Comente la importancia del puma en el consumo de ganado doméstico.

La estimación de la dieta de un carnívoro tiene importancia para conocer la ecología del depredador, pero cuando involucra el consumo de ganado repercute en los conflictos con los ganaderos. No todos entienden la importancia de la presencia de depredadores en la salud de los hábitats y en muchos casos no se tiene una estimación real del impacto en la ganadería, lo que ha llevado a la disminución de poblaciones de grandes carnívoros en todo el mundo llevando algunas especies al riesgo de extinción en vida libre. Estos cálculos permiten estimar en forma objetiva el impacto y deben de acompañarse de medidas de manejo zootécnico que reduzcan las pérdidas ganaderas con manejo zootécnico.

La estimación de presas consumidas por carnívoros requiere que se tengan presente todas las limitantes metodológicas de los procedimientos para entender que se realizan estimaciones que solo podrán mejorase en la medida de que se realice más investigación con los carnívoros que se quieren estudiar.

Cuadro 59.6 Resultados de las excretas encontradas en la dieta del puma en San Luis Potosí y peso de las presas

Especie	Nombre científico	Número de excretas	Peso kg
Temazate	*Mazama temama*	3	12
Pecarí de collar	*Pecari tajacu*	12	19
Venado cola blanca	*Odocoileus virginianus*	1	60
Armadillo	*Dasypus novemcinctus*	1	4.8
Mapache	*Procyon lotor*	2	5.5
Cabra	*Capra hircus*	2	20
Conejo castellano	*Sylvilagus floridanus*	1	1.35
Coatí	*Nasua narica*	1	4.87
Zorrillo	*Mephitis macroura*	1	1.725
Tlacuache	*Didelphis virginianus*	4	2.47
Tlacuache de cuatro ojos	*Philander oposum*	1	1.2
Martucha	*Potos flavus*	1	4.5
Total (n)			30

Número de alimentos=12

Resultados ejercicio 59

A partir del número de excretas se calcula la frecuencia de aparición y de ocurrencia con las ecuaciones presentadas en la página 444 y se obtienen los valores que se presentan en el cuadro 59.7. Este método se ha usado para estudiar la ecología de para aportar información sobre las relaciones con las presas consumidas por los carnívoros, basado en la frecuencia con la que los restos de presas consumidas se encuentran en las excretas (Wachter *et al.*, 2012; Rueda *et al.*, 2013).

Debe tenerse presente que la estimación de número de presas consumidas está establecida con base en el peso o la masa corporal medio de la presa. Estos cálculos asumen pesos medios en el que los carnívoros consumen las presas completamente cuando en muchos casos solo consumen su parcialidad, lo que resulta en la subestimación del número de presas grandes consumidas. Se han hecho factores de corrección considerando además si son carnívoros solitarios o si son carnívoros alimentándose en grupos (Watcher *et al.*, 2012) pero falta mucha información para felinos que se encuentran en México.

Cuadro 59.7 Resultados de las excretas encontradas en la dieta del puma en San Luis Potosí y peso de las presas

Especie	Frecuencia aparición	Porcentaje de ocurrencia
Temazate	10.00	25.00
Pecarí de collar	40.00	100.00
Venado cola blanca	3.333	8.333
Armadillo	3.333	8.333
Mapache	6.667	16.667
Cabra	6.667	16.667
Conejo castellano	3.333	8.333
Coatí	3.333	8.333
Zorrillo	3.333	8.333
Tlacuache	13.333	33.333
Tlacuache de cuatro ojos	3.333	8.333
Martucha	3.333	8.333
Total	100.00	

Las presas compartidas por el jaguar y el puma en la zona de Tamasopo en San Luis Potosí fueron el pecarí de collar, venado cola blanca, mapache, coatí, zorrillo y tlacuache. De acuerdo con el índice de Pianka (1973) calculado por Rueda (2010), la dieta que tienen el jaguar y el puma en la zona de estudio tienen un alto grado de superposición (80.29 %). La importancia de animales domésticos en la dieta del puma es limitada y no parece ser de conflicto en la zona.

Es importante destacar que con estos cálculos se estima el número relativo de individuos y una estimación más precisa requiere estimar los requerimientos energéticos de los predadores. También se debe tener presente que en los carnívoros en vida libre el consumo, la digesta y la excreción fecal no se encuentran en un estado de equilibrio (*steady state*) como en los estudios de nutrición de otros animales domésticos y esto afecta la producción de heces además de los efectos del tamaño de presa.

Es clara la necesidad de hacer trabajos de investigación en felinos silvestres para determinar el número promedio de excrementos colectables (derivados de las presas consumidas) y establecer las ecuaciones que relacionen el peso corporal promedio de la presa para los diferentes carnívoros que hay en México.

Cuadro 59.8 Biomasa relativa y número relativo de individuos consumidos por el puma

Especie	FO %	PV kg	PPEC/kg de excreta	FO x PPE	BR %	BR/ PPE	NRI
	A	B	C	A x C	D	D / B	E
Temazate	25.00	12	2.4	60	10.381	0.865	4.99
Pecarí de collar	100.00	19	2.645	264.5	45.763	2.408	13.91
Venado cola blanca	8.333	60	4.08	34	5.882	0.098	0.56
Armadillo	8.333	4.8	2.148	17.9	3.097	0.645	3.72
Mapache	16.667	5.5	2.1725	36.20	6.264	1.139	6.58
Cabra	16.667	20	2.68	44.66	7.278	0.386	2.23
Conejo castellano	8.333	1.35	2.0272	16.89	2.922	2.165	12.51
Coatí	8.333	4.87	2.1504	17.92	3.100	0.636	3.67
Zorrillo	8.333	1.725	2.0403	17.00	2.941	1.705	9.85
Tlacuache	33.333	2.47	2.0664	68.88	11.917	4.825	27.88
Tlacuache de 4 ojos	8.333	1.2	2.022	16.85	2.915	2.429	14.03
Martucha	8.333	4.5	2.1375	17.81	3.081	0.684	3.95
Σ				577.973		17.304	

FO: frecuencia de ocurrencia; PV: peso vivo promedio; PPEC: peso promedio de excretas corregido; BR: biomasa relativa; NRI: número relativo de individuos.

Estimación del número de presas consumidas de carnívoros con base en las excretas

Un aspecto importante es la estimación del número de individuos consumidos por los carnívoros, particularmente cuando hay quejas de los ganaderos o aun de propietarios de ranchos cinegéticos que quieren eliminar los predadores. Es importante tener presente que los predadores son parte de la cadena alimenticia y que juegan un papel en la selección de animales, por ejemplo, al cazar venados débiles se seleccionan venados de mayor talla. Por otro lado, hay evidencia de que se mueren más bovinos por deficiencias de manejo que por ataques de puma o jaguar (Rosas *et al.*, 2003; 2008), y se puede aprovechar la presencia de indicios de jaguar para hacer ecoturismo, como se ha hecho en otros países, en lugar de controlar sus poblaciones.

Básicamente se pueden estimar los números de las presas por dos formas, una es sencilla y se basa en las excretas (Floyd *et al.*, 1978; Pacheco *et al.*, 2004) y la segunda se basa en el requerimiento de energía del carnívoro en vida libre y el contenido de energía de las presas.

Estimación con base en las excretas

Después de haber realizado los cálculos de Ackerman *et al.* (1984), y de haber obtenido los pesos promedio de las presas (Leopold, 1959), se compila la siguiente información, por ejemplo, tomaremos los valores del temazate de la dieta del puma para estimar cuántos individuos consumieron los pumas:

Del cuadro 60.1 el n=3

Del cuadro 60.1 el peso promedio del temazate 12 kg

Del cuadro 59.8, la columna C, que representa el número de excretas colectables por presa el valor de C=2.4.

Para hacer el cálculo se usa la ecuación:

$$\text{Número de individuos} = (C \times n)/(\text{peso promedio presa})$$

$$\text{Número de individuos} = (3 \times 2.4)/(12) = (7.2)/(12) = 0.6$$

La población de pumas de SLP consumió 0.6 temazates (básicamente un temazate dado que no hay fracción de animal) en el periodo de muestreo. Al respecto, es importante que los estudios y los muestreos de excretas sean lo más largos posibles para que se pueda extrapolar el valor de individuos en función del tiempo.

Es importante tener presente que hay muchos reportes en la literatura con información de biomasa relativa que han sido útiles para el estudio de ecología pero desde el punto de vista nutrición animal es importante tratar de generar información lo más cuantitativa posible para poder evaluar el impacto de depredadores en diferentes especies así como en ganado doméstico.

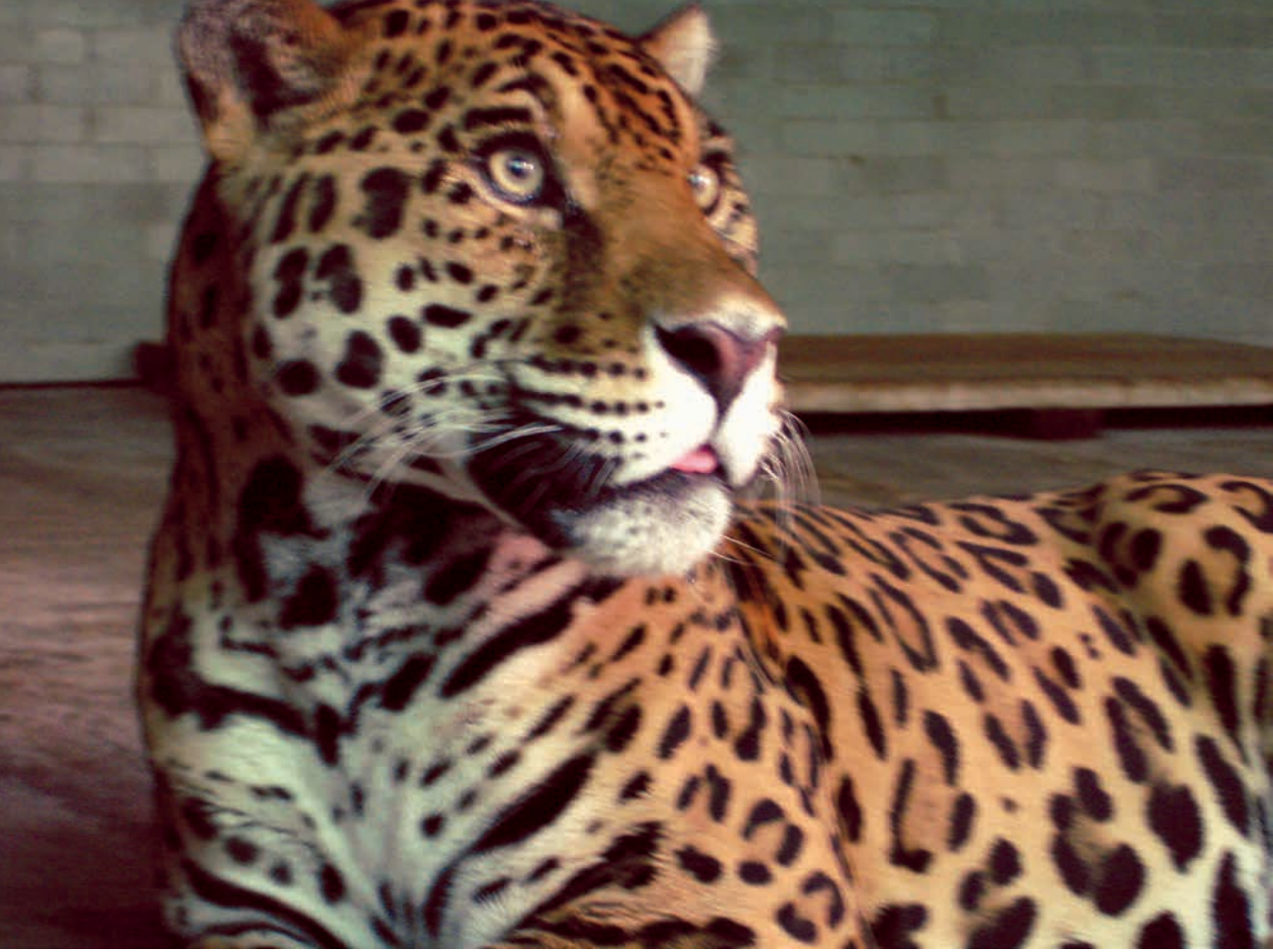
El estudio de dietas de carnívoros presenta retos metodológicos que podrán irse resolviendo con el uso de técnicas moleculares y con experimentos en cautiverio con carnívoros de diferente tamaño, que aporten información sobre la digestibilidad de las presas y su relación con el tamaño, para contar con factores de corrección más precisos que permitan lograr mejores estimaciones del número de individuos consumidos y con eso el impacto de depredadores en las poblaciones.

Cuadro 60.1 Biomasa relativa y número relativo de individuos consumidos por el puma

Especie	FO %	PV kg	PPEC/kg de excreta	FO x PPE	BR %	BR/ PPE	NRI
	A	B	C	A x C	D	D / B	E
Temazate	25.00	12	2.4	60	10.381	0.865	4.99
Pecarí de collar	100.00	19	2.645	264.5	45.763	2.408	13.91
Venado cola blanca	8.333	60	4.08	34	5.882	0.098	0.56
Armadillo	8.333	4.8	2.148	17.9	3.097	0.645	3.72
Mapache	16.667	5.5	2.1725	36.20	6.264	1.139	6.58
Cabra	16.667	20	2.68	44.66	7.278	0.386	2.23
Conejo castellano	8.333	1.35	2.0272	16.89	2.922	2.165	12.51
Coatí	8.333	4.87	2.1504	17.92	3.100	0.636	3.67
Zorrillo	8.333	1.725	2.0403	17.00	2.941	1.705	9.85
Tlacuache	33.333	2.47	2.0664	68.88	11.917	4.825	27.88
Tlacuache de cuatro ojos	8.333	1.2	2.022	16.85	2.915	2.429	14.03
Martucha	8.333	4.5	2.1375	17.81	3.081	0.684	3.95
Σ				577.973		17.304	

FO: frecuencia de ocurrencia; PV: peso vivo promedio; PPEC: peso promedio de excretas corregido; BR: biomasa relativa; NRI: número relativo de individuos.

Podemos encontrar estudios de dieta de jaguares (*Panthera onca*) y de pumas (*Puma concolor*) que son los grandes felinos de importancia desde el norte de México hasta Argentina. El conocimiento de sus presas es importante para apoyar los programas de conservación dado que las poblaciones globales de estos felinos están disminuyendo debido a la pérdida y fragmentación del hábitat y por los conflictos con los ganaderos, por lo que el estimar el número de individuos que consumen es de gran importancia. En muchas áreas del país los dos felinos consumen presas como pecaríes de collar y labios blancos, venado temazate (*Mazama temama*) y venado cola blanca y el impacto en las poblaciones dependería de la disponibilidad y la abundancia de presas. La información de dietas complementa la del uso de hábitat, así como la del aprovechamiento de las presas por las comunidades rurales (Ávila *et al.*, 2018; Ávila–Nájera *et al.*, 2018) por lo que el estudio de nutrición forma parte la conservación de estas especies.



Ejercicio 60

Estimación del número de presas consumidas con base en las excretas

En el estudio de San Luis Potosí que realizó Rueda (2010), estime el número de individuos que consumieron los jaguares y los pumas, e indique si considera que ambos felinos son una amenaza para la población de venados y de ganado doméstico. La información para hacer este ejercicio se presenta en los cuadros 60.1 y 60.2.

Resultados ejercicio 60

Para realizar este ejercicio se requiere contar con el peso medio estimado de las presas (cuadros 60.1 y 60.2). Con esa información es sencillo hacer una hoja de cálculo en *Excel* para realizar las operaciones secuenciales a partir de la información de las excretas para obtener los resultados de ambos felinos (cuadros 60.3 y 60.4) para poder hacer la interpretación biológica.

Al analizar las dietas de los felinos es útil considerar los modelos de alimentación de depredadores propuestos por Griffiths (1975) uno en función del tamaño (energía obtenida y energía gastada en su captura) y el otro en la abundancia de las presas para maximizar su consumo de energía (ganancia energética neta). A medida que aumenta el peso de la presa la ganancia energética neta es cuadrática debido a los gastos de energía.

Cuadro 60.1 Información para cálculo de individuos consumidos por la población de pumas en San Luis Potosí

Especie	Número de excretas	Peso vivo kg	Excretas colectadas
Temazate	3	12	7.2
Pecarí de collar	12	19	31.74
Venado cola blanca	1	60	4.08
Armadillo	1	4.8	2.14
Mapache	2	5.5	4.34
Cabra	2	20	5.36
Conejo castellano	1	1.35	2.02
Coatí	3	4.87	2.15
Zorrillo	1	1.725	2.04
Tlacuache	4	2.47	8.26
Tlacuache de cuatro ojos	1	1.2	2.02
Martucha	1	4.5	2.13

Cuadro 60.2 Información para el cálculo de individuos consumidos por la población de jaguar en San Luis Potosí

Especie	Número de excretas	Peso vivo kg	Excretas colectadas
Pecarí de collar	8	19	21.16
Venado cola blanca	1	60	4.08
Armadillo	1	4.8	2.14
Mapache	2	5.5	4.345
Paca o tuza real	2	5.5	4.345
Coatí	3	4.87	6.451
Lagartija	1	0.015	0.015
Zorrillo	1	1.725	2.04
Tlacuache	4	2.47	8.26

Cuadro 60.3 Resultados del número de individuos consumidos por la población de pumas en San Luis Potosí

Especie	Número de excretas	Peso vivo kg	Excretas colectadas	Núm. individuos
Temazate	3	12	7.2	0.6
Pecarí de collar	12	19	31.74	1.75
Venado cola blanca	1	60	4.08	0.06
Armadillo	1	4.8	2.14	0.44
Mapache	2	5.5	4.34	0.79
Cabra	2	20	5.36	0.26
Conejo castellano	1	1.35	2.02	1.50
Coatí	3	4.87	2.15	0.44
Zorrillo	1	1.725	2.04	1.18
Tlacuache	4	2.47	8.26	3.34
Tlacuache de cuatro ojos	1	1.2	2.02	1.68
Martucha	1	4.5	2.13	0.47

Cuadro 60.4 Resultados del número de individuos consumidos por la población de jaguar en San Luis Potosí

Especie	Número de excretas	Peso vivo kg	Excretas colectadas	Núm. individuos
Pecarí de collar	8	19	21.16	1.11
Venado cola blanca	1	60	4.08	*0.06*
Armadillo	1	4.8	2.14	0.44
Mapache	2	5.5	4.345	0.79
Paca o tuza real	2	5.5	4.345	0.37
Coatí	3	4.87	6.451	1.32
Lagartija	1	0.015	0.015	1.00
Zorrillo	1	1.725	2.04	1.18
Tlacuache	4	2.47	8.26	3.34

El número de venados cola blanca fue básicamente uno por la población de pumas y otro por la de jaguares y solamente una cabra, por lo que se considera de poco impacto en los ranchos cinegéticos de la región y en la ganadería doméstica. El número de excretas es pequeño, por lo que se requieren estudios con más muestras para tener una mejor apreciación de los predadores en la población de sus presas.

Estimación de número de individuos consumidos con base en el requerimiento de energía

La estimación basada en excretas es imprecisa, pues el número de individuos depende de la cantidad de excretas colectadas, por lo que Gómez-Ortiz *et al.* (2011) modificaron la ecuación de Laundré (2005) basada en pumas para estimar el número de presas consumidas anualmente:

$$\text{Número de presa año}^{-1} = \frac{(DE \times 365) \times P}{\frac{EN}{PV\ presa \times 0.79}}$$

Donde:

DE: requerimiento de energía neta en vida libre del puma kcal/d
P: proporción de la presa en la dieta en fracción (frecuencia de aparición, FA/100)
EN: energía neta de la presa kcal/kg presa en base húmeda
PVpresa: peso medio vivo de la presa kg
0.79: fracción comestible de la canal

Como ejemplo, realizaremos el cálculo de consumo de número de venados consumidos por puma considerando el requerimiento energético del puma. Laundré (2005) estimó la demanda energética para machos de 3143 kcal por día y para

hembras con crías de 2705 kcal diarios. Se recomienda usar el valor mayor de ED=3143 kcal/d. Como ejemplo, considere que la frecuencia de aparición de venado en la dieta del puma fue de 8.2%, es decir, en fracción para usar la fórmula P=0.082.

Gómez-Ortiz (2008) determinó la energía bruta (EB) de la carne de venado (2165 kcal/kg, base húmeda), y considerando los trabajos de Kurt y Atkinson (1983), se usa la constante de 0.91 para estimar la energía digestible. No se tiene información de las pérdidas en gases en felinos, pero se toman las más bajas reportadas en cerdos (0.1 a 3%), así como las de orina también (2-3%), por lo que se propone una ecuación empírica de EM=ED x 0.98 y para estimar la EN, se considera una eficiencia de utilización de la energía (k) de 0.599 que tienen los no rumiantes reportada por Noblet *et al.* (2008) (aunque puede ser mayor en los felinos):

$$ED(kcal/kg) = EB(0.91)$$

$$EM(kcal/kg) = ED(0.98)$$

$$EN(kcal/kg) = EM(0.599)$$

Basándose en la energía bruta determinada en carne de venado por Gómez-Ortiz (2008) (kcal/kg del venado) se sustituye y se estima el contenido de EN:

$$ED = 2165 \times 0.91 \text{ kcal/kg}$$

$$EM = 1970 \times 0.98 = 1930 \text{ kcal/kg}$$

$$EN = 1930 \times 0.599 = 1156 \text{ kcal/kg}$$

Nótese que la ecuación se puede simplificar a EN (kcal/kg)=0.5341 x EB. Para el ejemplo, se estima cuantos venados de 60 kg consume el puma al año en la región con los siguientes datos:

$$EN = 1156 \text{ kcal/kg}$$

$$P = 0.082$$

PVp = 60 kg

$$\text{Número de presa año}^{-1} = \frac{\frac{(DE \times 365) \times P}{EN}}{PV\ presa \times 0.79}$$

$$\text{Número de presa año}^{-1} = \frac{\frac{(3143 \times 365) \times 0.082}{1156}}{60 \times 0.79} = \frac{\frac{94069.99}{1156}}{47.4} = \frac{81.37}{47.4} = 1.71$$

Se estima que cada puma consume 1.71 venados al año. Para estimar el número de venados al año que son consumidos, se requiere conocer la densidad poblacional del puma. Considere que se tienen 3 individuos por 100 km^2, por lo que se requieren alrededor de 5.13 venados para mantener la población de esos pumas en esa región anualmente (Soria-Díaz *et al.*, 2010), de acuerdo con la dieta encontrada en las excretas. Vale la pena mencionar que la frecuencia de aparición fue muy baja en las excretas en este estudio, por lo que la estimación de las presas es muy baja. Debido a que la frecuencia de aparición puede sobreestimar la contribución de presas de tamaño pequeño, la estimación de individuos se puede realizar con los valores de biomasa relativa obtenidas con los cálculos de Ackerman *et al.* (1984), lo cual permite obtener valores biológicos más adecuados.



Ejercicio 61

Estimación de número de individuos consumidos con base en el requerimiento de energía

Estime el número de venados consumidos anualmente en Tamasopo por el puma, de acuerdo con la frecuencia de aparición reportada por Rueda (2010) de 3.3%, considerando el requerimiento del puma en vida libre de 3143 kcal/d, una energía neta de la carne de venado de 1351 kcal/kg en base fresca. Compare el resultado con el obtenido con base en las excretas (cuadro 60.4) de número de venados consumidos. Considere un peso vivo de venado de 60 kg.

Resultados ejercicio 61

Se muestra el ejemplo de cómo hacer el cálculo para obtener el número de venados:

Requerimiento de ED = 3143 kcal/d

EN = 721.56 kcal/kg

FA = 3.3%

P = 0.03

PVp = 60 kg

$$= \frac{\frac{(3143 \times 365) \times 0.082}{721.56}}{60 \times 0.79} = \frac{\frac{3785.4}{721.56}}{47.4} = \frac{32.74}{47.4} = 0.69$$

De acuerdo con la demanda energética del puma, se consumió 0.69 venados al año por puma en Tamasopo, S.L.P., lo cual contrasta mucho con la estimación de las excretas de 0.06 individuos. Se puede apreciar que es mejor hacer la estimación con base en el requerimiento energético, pues la de las excretas está en función del número de muestras colectadas.

Ejercicio 62

Estimación de presas consumidas por jaguar

Estime el número de presas consumidas por el jaguar de acuerdo con la frecuencia de aparición del cuadro 59.2 y compare los resultados con el método de estimación basado en las excretas (cuadro 60.5). Considere la siguiente información:

Para convertir el gasto energético de oxígeno, 4.8 kcal son equivalentes a un litro de oxígeno. McNab (2000) reporta el metabolismo basal del jaguar en 0.222 cm^3 O_2 (g·h). Considere un peso medio de 89 kg del jaguar y asuma que el gasto en vida libre incrementa 60% sobre metabolismo basal (Robbins, 1993). Estime el valor energético en base húmeda de las presas del cuadro 62.1 Para casos donde no se conoce el valor energético, use el valor de otros mamíferos o de la especie más parecida. Considere un consumo diario del 10% del peso vivo.

Es importante tener presente que el conocimiento es dinámico y que el estudiante debe considerar que se pueden publicar valores actualizados de gasto de oxígeno para diferentes especies. El estudio de la relación entre la tasa metabólica basal de los mamíferos medida en gasto de oxígeno (ml de O_2 por h) y la masa corporal sigue siendo objeto de publicaciones desde hace más de un siglo (White y Seymour, 2003).

Cuadro 62.1 Contenido de y energía en base seca y humedad de las presas comunes de carnívoros

Especie	Calor de combustión kcal/g	Materia seca %	Base húmeda
Lagomorfos	4.54	27	1.225
Roedores	5.29	29.8	1.576
Venado cola blanca	5.867	36.9	2.164
Ovinos	4.05	35	1.411
Bovinos	3.58	48.7	1.749
Perros	1.84	29.3	0.539
Otros mamíferos	5.54	33.3	1.844
Aves	6.79	34.6	2.349
Reptiles	6.51	28	1.822
Armadillo	5.328	45	2.397
Coatí	5.00	44.5	2.225

Elaborado con información de USDA (2000); Gutiérrez (1986); Zinn (1990); Dierenfeld y Kreger (1992); Fergusson y Pacheco (1981), y Gómez-Ortiz (2008).

Resultados ejercicio 62

Primero se estima la demanda energética del jaguar.

$$\text{Metabolismo basal} = 0.222\ \text{cm}^3\ O_2(\text{g} \cdot \text{h})$$

$$0.222\ \text{cm}^3 = 0.000222\ \text{litros}$$

$$89\ \text{kg} = 89000\ \text{g}$$

$$\text{Metabolismo basal} = 0.0000222 \times 89000 \times 24 = 474.192$$

$$\text{Metabolismo basal} = 474.192 \times 4.8 = 2276.1216\ \text{kcal/d}$$

$$\text{Demanda energética(ajustada por actividad)} = 1.6 \times 2276 = 3641\ \text{kcal/d}$$

Después se estima la energía neta de cada presa (kcal/kg de presa en base húmeda). Por ejemplo, para la estimar la EN a partir de la EB del pecarí en base

húmeda, usando la ecuación simplificada (EN (kcal/kg)=0.5341 × EB) la EN de esa presa sería 1155 (cuadro 62.2), pero si se quieren ver las pérdidas energéticas se pueden hacer las ecuaciones secuenciales.

Cuadro 62.2 Cálculos para estimar la energía neta de la presa en base húmeda

Especie	Base seca				Base húmeda kcal/kg	
	EB kcal/kg	MS %	EB	ED	EM	EN
Pecarí	5867	36.9	2164	1970	1930	1155
Venado	5867	36.9	2164	1970	1930	1155
Armadillo	5328	45.0	2397	2181	2138	1280
Mapache	5540	33.3	1844	1678	1645	984
Paca	5540	33.3	1844	1678	1645	984
Coatí	5000	44.5	2225	2024	1984	1188
Lagartija	6500	28.0	1820	1656	1623	972
Zorrillo	5540	33.3	1844	1678	1645	984
Tlacuache	5540	33.3	1844	1678	1645	984

EB: energía bruta; MS: materia seca; ED: energía digestible; EM: energía metabolizable; EN: energía neta.

Se muestra como ejemplo el cálculo de cuántos individuos de pecarí se consumen al año:

Requerimiento de ED del jaguar kcal/d

Contenido de energía neta de la presa en base húmeda EN = 1155 kcal/kg

FA = 37.783%

P = 0.34783

Peso vivo de la presa PVp = 19 kg

$$\text{Número de presa año}^{-1} = \frac{\frac{(DE \times 365) \times P}{EN}}{PV\ \text{presa} \times 0.79}$$

$$\text{Número de presa año}^{-1} = \frac{(3641 \times 365) \times 0.34783}{19 \times 0.79} = \frac{\frac{46253.89}{1155.98}}{\frac{1156}{15.01}} \frac{399.87}{15.01} = 26.64$$

Cuadro 62.3 Presas consumidas por el jaguar en SLP con los dos métodos

Especie	P	Núm. individuos. por demanda energética	Estimados con excretas
Pecarí	34.783	26.64	1.11
Venado	4.348	1.05	0.06
Armadillo	4.347	11.90	0.44
Mapache	8.696	27.27	0.79
Paca	8.696	11.53	0.37
Coatí	13.043	37.91	1.32
Lagartija	4.348	Valor no biológico	1.0
Zorrillo	4.348	43.47	1.18
Tlacuache	17.391	121.45	3.34

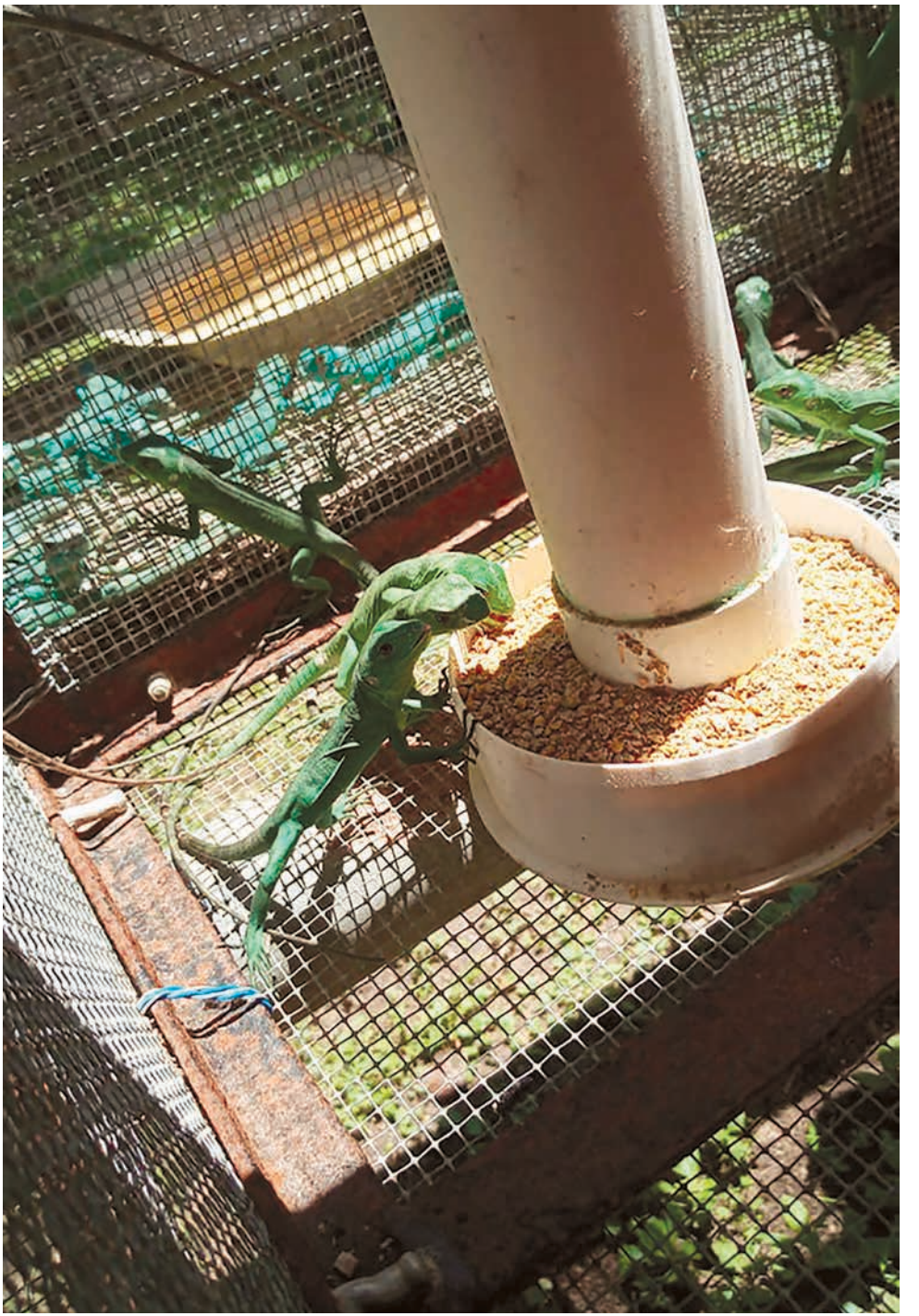
P: frecuencia de aparición.

Cuadro 62.4 Presas estimadas usando la biomasa relativa para estimar la composición de la dieta

Especie	Biomasa relativa consumida %	Núm. individuos
Pecarí	39.64	47.9
Venado	7.64	2.9
Armadillo	4.02	17.4
Mapache	8.14	40.3
Paca	9.12	19.1
Coatí	12.08	55.5
Lagartija	0.028	51.1
Zorrillo	3.82	60.3
Tlacuache	15.48	170.8

Como se puede apreciar, el método basado en excretas es poco preciso y no permitiría estimar los efectos en la población de las presas, mientras que el basado en demanda energética, permite estimar un número más real de los individuos consumidos de talla grande y media, pero sobre estima el de presas pequeñas como los reptiles, por lo que no se recomienda para presas muy pequeñas. Si consideramos el número de individuos, sería un total de 281 presas anuales por jaguar (cuadro 62.3). La estimación se mejora al usar la biomasa relativa consumida con un total de 465 presas anuales y el valor de los reptiles es biológicamente correcto, por lo que se sugiere usar ese valor para estimar el número de individuos (cuadro 62.4).





Estimaciones del metabolismo energético en iguanas

Es importante poder estimar el contenido de energía de alimentos de iguanas (negra o verde), en cautiverio o en vida libre, para evaluación nutricional del hábitat, y para estimar el consumo, ya sea para sus programas de alimentación o para estimar la capacidad de carga de hábitats en planes de manejo. La concentración de energía de los alimentos de la iguana negra se estima usando valores determinados en ensayos de digestibilidad de alimentos consumidos por la iguana, ya sea por colección total de heces o estimada por marcadores internos como la lignina o cenizas insolubles en ácido (Arcos *et al*., 2007; Rueda *et al*., 2010), tal como lo muestran Zurita *et al.* (2009).

Lo primero que se necesita es conocer la composición de la dieta, como ejemplo, Vélez (1997) estimó la composición de la dieta de la iguana negra en Morelos), en grupos de frutos, hojas, rebrotes y flores (cuadro 63.1). La digestibilidad de los frutos fue de 67.26 % y la de los otros componentes se muestran en el cuadro 59.1. Para estimar que porcentaje se metaboliza (debido a que las iguanas excretan orina y heces en la cloaca, no es posible determinar el valor de energía digestible), se usa la ecuación de Van Marken (1992) para iguana verde:

$$\% \text{ EM} = -13.199 + 1.055 \text{ digestibilidad}$$

Por ejemplo, para los frutos:

$$\%\,EM = -13.199 + 1.055(67.26\%) = 57.76$$

Esto significa que de la energía bruta (EB) del alimento, el 57.76 % se va a destinar como energía metabolizable (EM) en la iguana. Los resultados del resto de la dieta se muestran en el cuadro 59.6. Se recomienda que los valores de energía bruta se determinen en una bomba adiabática, sin embargo, en caso de que no se cuente con dicha información, se pueden usar el contenido medio energético de plantas. Los valores medios (Golley, 1961) para algunos alimentos consumidos para la iguana se presentan en el cuadro 63.1 y otros se pueden obtener en tablas de composición de alimentos de zoológicos u otras (Dierenfeld y Kreger, 1992; McDowell *et al.*, 1974). Para estimar la EM se utiliza el porcentaje estimado con base en la digestibilidad, por ejemplo, para los frutos:

$$EM(Mcal/kg) = EB \times (\%\ metabolizable/100)$$

$$EM = 5.065 \times (57.76/100) = 2.925\ Mcal/kg$$

El aporte de cada ingrediente se hace de acuerdo con lo que aporta cada alimento en 1 kg de dieta, por ejemplo, para los frutos:

$$EM_{frutos} = 0.635 \times 2.925 = 1.857\ Mcal$$

Se hace esto con cada alimento y se suma para obtener la EM de la ración de la iguana en Morelos (cuadro 63.1). Para poder interpretarse, podemos comparar con estimaciones de otros autores, Zurita *et al.* (2009) encontraron que la iguana negra consumió una dieta con 2.703 Mcal/kg, y existen trabajos en cautiverio de Arcos *et al.* (2007) donde la EM varía de 2.613 a 3.255 Mcal/kg. De esta forma podemos concluir que la energía no es limitante en la ración de Morelos evaluada por Vélez (1997).

La información nutricional permite apoyar conocimiento para manejo nutricional en cautiverio o para identificar problemas en vida libre. En especies como las iguanas, en vida libre se han identificado problemas como destrucción de sus hábitats, la cacería excesiva y no regulada por parte de los integrantes de las comunidades rurales, la falta de programas de aprovechamiento sustentable y de conocimiento científico, lo cual ha afectado el tamaño de sus poblaciones.

Cuadro 63.1 Estimación del contenido de energía metabolizable para dietas de la iguana negra

Dieta	Dieta[a]	Digestibilidad MS		kcal/g		Aporte en dieta
	%	%	% EM/EB	EB	EM	EM
Frutos	63.5	67.26	57.76	5.065	2.925	1.857
Hojas	30.9	39.00	27.94	4.229	1.181	0.365
Rebrotes	2.9	67.26	57.76	4.229	2.442	0.219
Flores	2.7	68.85	59.43	4.310	2.561	0.069
Total						2.511

MS: materia seca; EM: energía metabolizable; EB: energía bruta.
Fuente: Velez (1997); Van Marken (1992); Golley (1961).



Estimación de consumo y balance de energía en iguanas

Para estimar el consumo de alimento de las iguanas, se divide el requerimiento energético entre el contenido de la ración, pero para esto es necesario tener el requerimiento y la concentración de energía de la dieta en el mismo tipo de energía (EM). Primero se estima el requerimiento energético de las iguanas con alguna de las dos ecuaciones publicadas en la literatura. Los autores Van Marken *et al.* (1993) proponen el cálculo de energía de existencia para iguana verde (que sería el equivalente a la EN de mantenimiento) con el peso vivo (PV) expresado en kilogramos:

$$\text{Energía de existencia}(\text{kcal/d}) = 17.14(\text{kg PV})$$

Otra opción es usar la relación de Nagy (1982) basada en peso vivo (PV) expresado en gramos para *iguanidae*, estimadas con iguana verde y con iguana de Darwin:

$$\text{Energía de existencia}(\text{kcal/d}) = 0.224\ \text{PV}^{0.80}$$

Las estimaciones de Van Marken son similares a las reportadas por Troyer (1984). Por ejemplo, asuma que se quiere conocer el requerimiento energético

de mantenimiento (energía de existencia) de un macho adulto de 1 kg (1000 gramos), usando las dos ecuaciones tendríamos:

$$\text{Energía de existencia}_{\text{Van marken}} = 17.14(1.0) = 17.14 \text{ kcal/d}$$

$$\text{Energía de existencia}_{\text{Nagy}} = .0224\ PV^{0.80} = 0.224(1000)^{0.80} = 0.224(251)$$

$$\text{Energía de existencia}_{\text{Nagy}} = 56.26 \text{ kcal/d}$$

Para expresar en términos de EM necesitamos conocer la eficiencia de utilización de la EM a energía neta (k), valor que no ha sido determinado para iguanas, pero que Mendoza *et al.* (2004) proponen usar 0.724 basado en rumiantes y en la relación de EM/EB de las dietas de iguanas. Entonces los requerimientos de EM para las dos estimaciones serían de:

$$EM_{\text{Van Marken}} = 17.14/0.724 = 23.66 \text{ kcal/d}$$

$$EM_{\text{Nagy}} = 56.26/0.724 = 77.77 \text{ kcal/d}$$

El consumo de alimento estimado para cada ecuación del alimento con 2.511 Mcal/kg o 2.511 kcal/g sería:

$$\text{Consumo}_{\text{Van Marken}} = (23.66/2.511) = 9.42 \text{ g/d}$$

$$\text{Consumo}_{\text{Nagy}} = (77.77 \text{ kcal/d EM}/2.511 \text{ kcal/g}) = 30.9 \text{ g/d}$$

Como se puede apreciar, la selección de ecuación tiene un impacto fuerte en la estimación del alimento consumido. Como porcentaje del peso vivo, el primero representa el 0.9 %, mientras que el segundo el 3.09 % de su peso vivo. Una recomendación sería usar la ecuación de Nagy (1982), pues en vida libre los requerimientos para no subestimar el consumo. Por otro lado, los experimentos en cautiverio indican que el consumo ha variado de 1.5 % (Rueda *et al.*, 2010) hasta 3.8 % del peso vivo (Arcos *et al.*, 2007). Esta variación indica que existen factores y preguntas biológicas sobre el consumo voluntario en iguanas que no han sido respondidas, como el nivel de FDN, almidón o aminoácidos.


EN MEXICO



Ejercicio 63

Estimación de requerimiento de energía y consumo de alimento en iguanas

Estime el consumo de alimento de iguanas negras alimentadas con dietas comerciales para pollo y conejo con la información del cuadro 63.2. Estime los requerimientos de energía y valores de consumo con base en las dos ecuaciones (Van Marken, 1992; Nagy, 1982) y discuta sus resultados.

Cuadro 63.2 Información de digestibilidad y pesos de iguanas negras alimentadas con dietas comerciales para conejo y para pollo

Alimento comercial	Dieta[a]	Digestibilidad MS	EB	Peso vivo	Consumo observado
	%	%	kcal/g	g	mg/d
Conejos	100	41.47	4.15	20	524
Pollos	100	59.89	4.32	20	551

MS: materia seca; EB: energía bruta.
Fuente: Rueda *et al.* (2010)

Las iguanas tuvieron ganancias de peso de 121 mg/d y 154 mg/d para los alimentos de pollo y conejo respectivamente.

Resultados ejercicio 63

Primero se estima con la ecuación de Van Marken (1992) el porcentaje de la energía bruta que es metabolizable. Posteriormente, con la EB, se puede estimar la EM (cuadro 63.3). En el cuadro 63.4, se muestran los resultados de usar las dos ecuaciones de estimación de requerimientos de energía de existencia, su equivalencia en energía metabolizable y al dividir requerimiento entre energía de cada alimento el consumo esperado.

Cuadro 63.3 Resultados de estimación de energía metabolizable de los alimentos

Alimento comercial	Dieta	Digestibilidad MS	EB	EM	EM
	%	%	kcal/g	%	kcal/g
Conejos	100	41.47	4.15	30.55	1.267
Pollo	100	59.89	4.32	49.98	2.159

MS: materia seca; EB: energía bruta; EM: energía metabolizable.
Fuente: Rueda *et al.* (2010).

Cuadro 63.4 Resultados de las estimaciones de requerimientos de energía y consumo de alimento de la iguana negra

Dieta	$EE_{van\ Marken}$	EE_{Nagy}	$EM_{van\ Marken}$	EM_{Nagy}	$CMS_{van\ Marken}$	CMS_{Nagy}
	kcal/d				gramos/día	
Conejos	0.343	2.46	0.473	3.398	0.373	2.682
Pollo	0.343	2.46	0.473	3.398	0.219	1.574

EE: energía de existencia; EM: energía metabolizable; CMS: consumo de materia seca.

En consumo estimado de alimento para conejos fue de 0.551 g/d y el de alimento para pollo 0.524 g/d, por lo que la ecuación de Van Marken dio una estimación más cercana al valor real. En este caso en particular, los valores de EM de los alimentos fueron muy bajos lo cual llevó a una sobreestimación del consumo de las ecuaciones de Nagy. En esta área de la nutrición es posible desarrollar modelos de simulación para predecir consumo y comportamiento productivo en iguanas.





Energética de las codornices silvestres

Con base en los contenidos del buche, esófago y proventrículo, se puede estimar la composición de la dieta de diversas aves silvestres como las codornices (frecuencia de ocurrencia, frecuencia de aparición de alimentos). A partir de la dieta se puede hacer un diagnóstico del contenido de nutrientes como proteína, Ca, P (usando análisis o valores de tablas) y los valores de energía se pueden estimar. El contenido de nutrientes de la dieta de las codornices permite hacer un diagnóstico de calidad nutricional del hábitat, se puede estimar el consumo basado en el contenido de energía y la capacidad de carga para conocer si existen limitantes de disponibilidad de alimentos, lo cual es importante en planes de manejo de estas especies. Los valores medios de calor de combustión (EB) son bastantes útiles en caso de que no se cuente con bomba calorimétrica en la estimación (Robbins, 1993; Golley, 1961; Ramos *et al.*, 1998b), en el cuadro 64.1 se presenta una recopilación de valores que pueden ser útiles en estas estimaciones.

Para evaluar nutricionalmente el hábitat de la codorniz Moctezuma se puede comparar la estimación nutricional de lugares donde se hayan reportado densidades poblacionales consideradas ideales. Podemos comparar la dieta estimada en el estado de México con la estimada de lugares reportados por Stromberg (2001); en un hábitat de Arizona la concentración de proteína de la dieta es de 17.9 % lo que es mayor a las estimados en las dietas del Estado de México (11.9 a 15.3 %).

Cuadro 64.1 Valores de energía bruta de vegetales e insectos

Ingredientes	kcal/g
Semillas de pastos	4.5-5.0
Semillas de coníferas	6.1
Arbustos (hojas)	4.229
Hierbas	4.177
Pastos	3.905
Plantas árticas o alpinas	5.4
Plantas tropicales	3.8
Coníferas	5.4
Insectos	4.04-6.14

Se han reportado valores de energía metabolizable (EM) de codornices silvestres (cuadro 64.2), los cuales nos dan información sobre la relación EB/EM que nos permite estimar la concentración de energía de alimentos similares, en casos donde no se conozcan los valores. Para estimar el contenido de la dieta de la codorniz Moctezuma, suponga que la dieta fue de bulbos de *Oxalis* (67%), semillas (5%) leguminosas (4%), granos de maíz (22%), insectos (1%), pastos (0.5%) y hojas (0.5%). Para estimar el valor energético, ponemos la EB de tablas, la eficiencia de utilización de EB/EM del cuadro 64.2 del alimento o de alguno similar, multiplicamos y obtenemos la EM de cada alimento. El aporte se calcula al multiplicar por la fracción de cada alimento de la dieta (cuadro 64.3). Los cálculos muestran que la dieta tendría 2.9 kcal/g.

Una forma de evaluar nutricionalmente el hábitat de especies como la codorniz Moctezuma, es comparando la estimación nutricional que se obtuvo con la de lugares donde se hayan reportado poblaciones con densidades mayores a las observadas. Por ejemplo si revisamos trabajos recopilados por Stromberg (2001) donde se han reportado indicadores adecuados de codorniz Moctezuma, podremos comparar y analizar si la dieta estimada en el estado de México es inferior en algún nutriente. Por ejemplo, en un estudio en Arizona la concentración de proteína de la dieta es de 17.9% lo que es mayor a los estimados en los estudios realizados en el Estado de México (11.9 a 15.3%).

Cuadro 64.2 Valores de energía metabolizable y bruta de alimentos para aves silvestres

Alimento	EB kcal/g	EM	EB/EM	Ave
Sorgo	4.304	3.705	0.861	*Colinus virginianus*
Maíz	4.511	3.861	0.856	Codorniz común
Bellota	5.199	2.979	0.573	
Lespedeza	5.025	2.699	0.536	
Pasto switchgrass	4.529	1.867	0.411	
Bucbrush (arbusto)		1.405	0.187	*Tympanuchus cupido*
Switchgrass		2.055	0.420	Faisán
Amaranto		2.622	0.422	
Trigo		2.754	0.983	
Lespedeza		3.053	0.596	
Soya		3.002	0.635	
Maíz		3.297	0.784	
Sorgo		3.328	0.790	
Girasol		5.507	0.783	
Hierba (*Ambrosia trífida*)		4.32		
Hierba (*Ambrosia psilostachya*)		3.88		
Maíz		3.87		
Soya		3.87		
Girasol		3.65		
Sorgo		3.59		
Flor (*Cornus*)		3.54		
Lespedeza		3.42		
Trigo		3.06		
Flor (Asetracea)		2.70		
Switchgrass		1.86		
Oxalis sp.	4.72	2.69	0.57	*Cyrtonyx montezumae*
Semillas leguminosas	5.065	2.71	0.536	
Insectos		4.882		
Pastos		1.753		
Hojas		1.738		

EB: energía bruta; EM: energía metabolizable.

Fuente: Elaborado con datos de Robel *et al.* (1979[a] y b); Hernández *et al.* (2004); Heffron y Parrish (2005); Browning y Robel (1981), y Golley (1961).

Cuadro 64.3 Estimación de la EM de alimentos para codorniz con base en el calor de combustión

Alimento	EB kcal/g	Eficiencia	EM	kg/kg dieta	Aporte
Oxalis sp.	4.72	0.57	2.690	0.67	1.80
Semillas	5.0	0.536	2.680	0.04	0.10
Leguminosas	5.0	0.536	2.680	0.05	0.13
Maíz	4.511	0.856	3.861	0.22	0.84
Insectos	5.0	0.50	2.5	0.01	0.02
Pastos	3.9	0.41	1.599	0.005	0.007
Hojas	4.17	0.41	1.709	0.005	0.008
Total					2.905

EB: energía bruta; EM: energía metabolizable.

Requerimiento y consumo de alimento

Para estimar el requerimiento de energía de existencia (EE) de la codorniz Moctezuma para hembras, considerando que la energía se puede estimar con el peso vivo (PV) como 231.8 PV 0.6 kcal/día para aves de agostadero en vida libre propuesto por Robbins (1993), con los pesos reportados de codorniz Moctezuma por Stromberg (2001): hembras 176 g y machos 195 g) y el peso vivo en kg:

$$EE(kcal/d) = 231.8\ PV^{0.66}$$

$$EE_{Hembras} = (231.8) \times (0.176)^{0.66} = 73.64\ kcal/d$$

$$EE_{Machos} = (231.8) \times (0.195)^{0.66} = 78.80\ kcal/d$$

La media de energía de existencia sería de 76.22 kcal/d. Asumiendo una eficiencia de utilización de la energía neta a EM de 0.75, el requerimiento estimado de EM sería:

$$EM = EE/0.75 = 101.6\ kcal/d$$

Para estimar el consumo de alimento necesario para cubrir el requerimiento de energía (Massé *et al.*, 2001), dividimos el requerimiento de EM en la concentración de la dieta estimada (2.905 kcal/g):

Consumo = 101.6/2.90 = 35.0 g/d

La estimación de la capacidad de carga de la codorniz Moctezuma, se hace con base en el alimento principal que son los bulbos de *Oxalis*, para eso, si consideramos que representan el 70% de la dieta, podemos estimar un consumo de 24.5 g/d de bulbos de *Oxalis* (0.70x35.0=24.5). La metodología para medir la disponibilidad de bulbos de *Oxalis* ha sido descrita por Hernández *et al.* (2004). Suponga que se tiene una superficie de muestreo de 1150 ha y una disponibilidad media de bulbos de *Oxalis* de 2.4 g de MS por m^2 en la época de invierno (90 días), estime la capacidad nutricional de carga del hábitat referido para la codorniz Moctezuma. Primero se convierten los 2.4 g de MS por m^2 a su equivalente por hectárea:

Gramos de *oxalis* por ha = $(2.4\ g\ MS/(m^2))(10000\ m^2/ha) = 24000\ g\ MS/ha$

Entonces se considera el total de superficie (1150 ha) y se obtiene el total de gramos de *Oxalis*:

Gramos de *oxalis* = $(1150\ ha)(24000\ g\ MS/ha) = 27\ 600\ 000\ g\ MS$

La estimación de capacidad de carga requiere el uso de un coeficiente de utilización del recurso que no sea del 100% para poder mantener la sustentabilidad del recurso. Dado que en codornices no hay estudios, se puede considerar 35% de aprovechamiento del bulbo disponible, dado que esta codorniz tiene que excavar para obtener su alimento:

Oxalis utilizable = $0.35 \times (27600000\ g\ MS/90d) = 10733.33\ g\ MS/día$

La biomasa del bulbo disponible se divide entre el consumo estimado (24.5 g) y se obtiene el total de codornices que se pueden alimentar:

Codornices = 10733.33/24.5 = 438.09

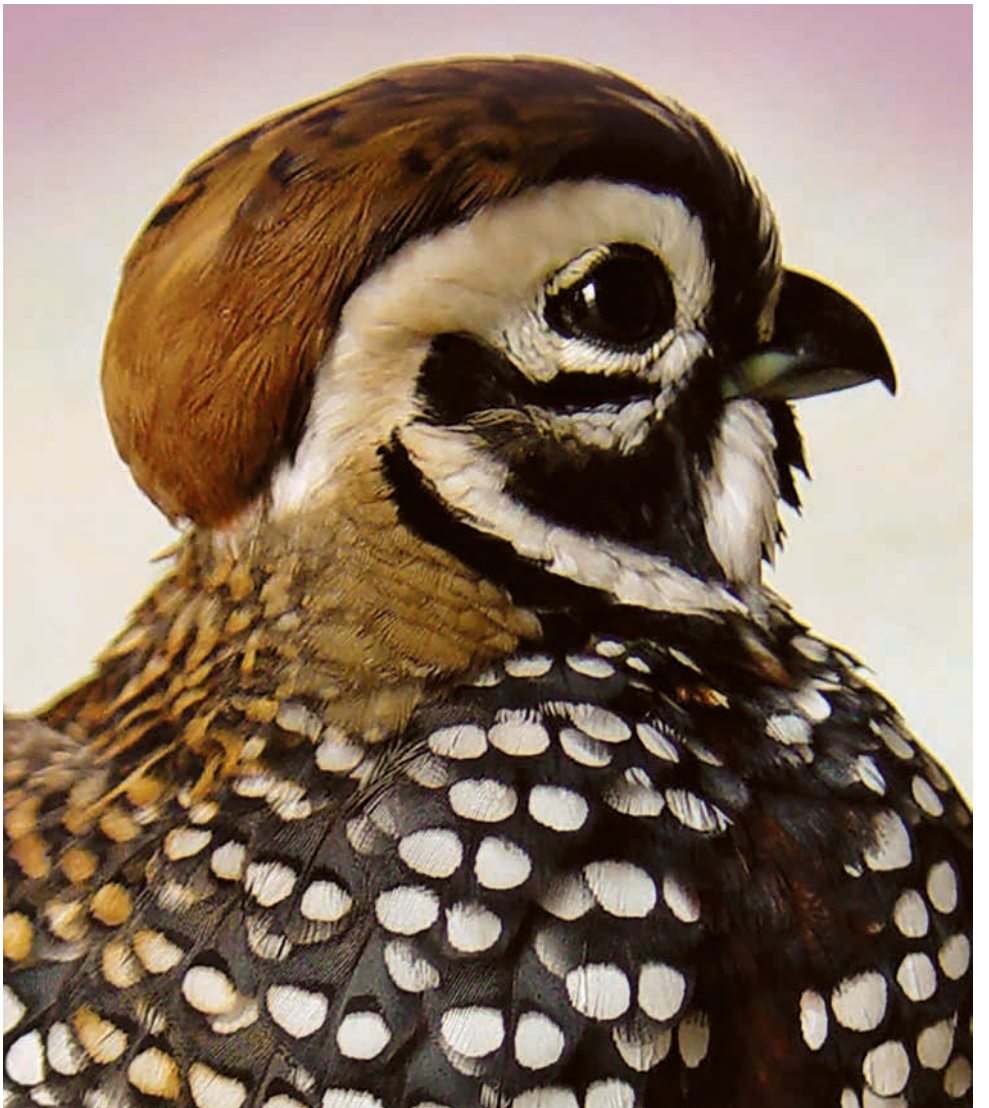
Para expresar la capacidad de carga nutricional por hectárea, se hace una regla de tres, pues el valor anterior corresponde a las 1150 hectáreas:

438.09 - 1150 ha

X - 1 ha

X = 0.38 codorniz/ha en invierno

La capacidad de carga nutricional del área es de 0.38 codornices por hectárea. Con base en este resultado y considerando que las densidades de población de codorniz Moctezuma en México van de 0.10 a 0.277 codornices por ha, la estimación indicaría que, con esta disponibilidad de bulbos de Oxalis, existe alimento en exceso para las poblaciones de esa ave en invierno (K=0.38 codornices por ha).



Ejercicio 64

Evaluación de energía de dieta de codornices silvestres

Estime el contenido de nutrientes de la codorniz Moctezuma de las dietas estimadas en los estados de México y Arizona para las temporadas de invierno, y compare la calidad nutricional de los hábitats (cuadro 64.4).

Cuadro 64.4 Composición dieta en invierno de la codorniz Moctezuma en el Estado de México y en Arizona EUA

	México	Arizona	PC	EM	Ca	P
			%	kcal/g	%	
Tubérculo *Cyperus*	0.00	9.30	12.6	2.800	0.61	0.19
Maíz	14.35	0.00	9.8	3.290	0.13	0.41
Semilla leguminosa	11.35	11.80	44.5	2.699	0.24	0.54
Trigo	6.24	0.00	12.2	2.754	0.3	0.52
Hojas	0.03	1.30	25.9	2.055	1.42	0.32
Pastos	0.28	1.50	11.5	1.867	1.46	0.45
Insectos	0.03	9.80	66.4	4.882	0.95	0.95
Oxalis	67.47	64.30	6.92	2.690	0.07	0.06
Materia inorgánica	0.30	0.00	0	0.000	0	0
Bellotas	0.00	2.00	1.6	2.979	0.1	0.13

PC: proteína cruda; EM: energía metabolizable.

Para su discusión considere que algunos reportes indican que dietas con 9% de proteína limitan la preproducción en comparación con 19%, y que el crecimiento requiere concentraciones entre 20 y 24% de proteína para la codorniz Moctezuma. Incrementos de P de 0.3 a 0.9 aumenta la postura en otras codornices (Bobwhite). En otras codornices silvestres, se recomienda una concentración de Ca de 2.25 a 2.75% con 0.3 a 0.5% de P en cautiverio (Hernández *et al*., 2004; Zaragoza *et al*., 2004).



Resultados ejercicio 64

Cuadro 64.5 Contribución de nutrientes para la dieta de la codorniz Moctezuma en el Estado de México

	Edo. de México	Aportes			
		PC %	EM kcal	Ca %	P %
Tubérculo *Cyperus*	0.00	0.00	0.000	0.0000	0.0000
Maíz	14.35	1.41	0.472	0.0187	0.0588
Semilla leguminosa	11.35	5.05	0.306	0.0272	0.0613
Trigo	6.24	0.76	0.172	0.0187	0.0325
Hojas	0.03	0.01	0.001	0.0004	0.0001
Pastos	0.28	0.03	0.005	0.0040	0.0012
Insectos	0.03	0.02	0.002	0.0003	0.0003
Oxalis	67.47	4.67	1.815	0.0472	0.0405
Materia inorgánica	0.30	0.00	0.000	0.0000	0.0000
Bellotas	0.00	0.00	0.000	0.0000	0.0000
Total		11.95	2.773	0.12	0.19

PC: proteína cruda; EM: energía metabolizable.

Cuadro 64.6 Contribución de nutrientes para la dieta de la codorniz Moctezuma en el estado de Arizona

	Arizona	Aportes			
		PC %	EM kcal	Ca %	P %
Tubérculo ***Cyperus***	9.30	1.17	0.260	0.0567	0.0177
Maíz	0.00	0.00	0.000	0.0000	0.0000
Semilla leguminosa	11.80	5.25	0.318	0.0283	0.0637
Trigo	0.00	0.00	0.000	0.0000	0.0000
Hojas	1.30	0.34	0.027	0.0185	0.0042
Pastos	1.50	0.17	0.028	0.0219	0.0068
Insectos	9.80	6.51	0.478	0.0931	0.0931
Oxalis	64.30	4.45	1.730	0.0450	0.0386
Materia inorgánica	0.00	0.00	0.000	0.0000	0.0000
Bellotas	2.00	0.03	0.060	0.0020	0.0026
Total		17.92	2.901	0.27	0.23

PC: proteína cruda; EM: energía metabolizable.

En ambos casos, el principal alimento consumido es el bulbo de Oxalis (67 *vs.* 64%). Se puede apreciar que el contenido de proteína es limitante en las dietas del Estado de México (11.95%) en comparación con las de Arizona (17.92%). El contenido de P en la dieta del Estado de México es muy bajo (0.12) en comparación con la de Arizona (0.27) y muy por debajo de lo usado en cautiverio (0.3-0.5%). La concentración de Ca, para ambos casos, es similar pero baja. Es importante considerar que debe ser alta en los periodos de postura. Esta información nos permite inferir que la calidad nutricional del hábitat de la codorniz Moctezuma en el Estado de México es inferior que la de Arizona.

Ejercicio 65

Estimación de capacidad de carga en la codorniz común

Considere un peso de la codorniz Bobwhite de 160 gramos. Peoples *et al.* (1994) reportan una producción de semillas consumibles por esta codorniz de 77.6 kg por ha anualmente en parcelas fertilizadas y de 16.9 kg/ha en parcelas no fertilizadas en un agostadero de Oklahoma. En esa zona se considera la presencia de una población densa de 2.5 codornices por ha. El contenido medio de EM de estas semillas fue de 3.0 kcal/g. Estime:

El requerimiento energético de EM de las codornices.

El consumo diario de semillas de las codornices.

La capacidad de carga del área fertilizada y de la no fertilizada, sin considerar ajuste por coeficiente de utilización.

Compare su estimación con la realizada por Guthery (1999), quien estimó una capacidad de carga de 20.5 y 4.6 codornices por ha/año para las áreas fertilizada y no fertilizada, respectivamente.

Resultados ejercicio 65

Primero se hacen los cálculos para estimar el requerimiento de EM basándose en los de energía de existencia (EE) y la eficiencia de utilización de la energía:

$$EE(kcal/d) = (231.8)PV^{0.66}$$

$EE = (231.8) \times (0.160)^{0.66}$

$EE = (231.8) \times (0.30) = 69.15$ kcal/d

$EM = EE/0.75 = 92.20$ kcal/d

Posteriormente, con base en el contenido de EM de la ración, se estima el consumo de alimento:

Consumo = (92.20 kcal/d)/(3.0 kcal/g) = 30.73 g/d

Con esa información, se puede estimar la capacidad de carga:

Parcelas fertilizadas = 77.6 kg/ha = 77 600.00 g/ha/año

Producción de semilla/día = 77 600.00/365 = 212.60 g/d

Codornices/ha = 212.60/consumo g/d = 6.91 codornices/ha

Parcelas no fertilizadas = 16.9 kg/ha = 16 900.00 g/ha

Producción de semillas/día = 16 900.00/365 = 46.30 g/d

Codornices/ha = 46.30 consumo g/d = 1.50 codornices/ha

Los resultados de capacidad de carga de esta estimación son de 6.91 y 1.5 codornices por hectárea que difieren bastante de la estimación de Guthery (1999), debido a que este autor combina un factor de supervivencia de codornices, lo cual debe validarse, pues está combinando el concepto ecológico de la capacidad de carga con el concepto nutricional. El autor citado considera una población densa como de 2.5 codornices por ha en el área.

Estimación de capacidad de carga nutricional en herbívoros

Dependiendo de la especie y función para la que sea utilizada, la capacidad de carga ha sido definida de diversas maneras (Miller y Wentworth, 2000). Para los productores de ganado doméstico y los manejadores de pastizales, la estimación de la carga animal representa al número máximo de animales en un pastizal que permite el mantenimiento o mejoramiento de la vegetación o de los recursos utilizados (Jacoby, 1989; Young, 1998; Galt, 2000). Desde el punto de vista nutricional, nos interesa la estimación de la capacidad nutricional de carga a corto plazo que se define como el número máximo de individuos que un área puede soportar por un periodo específico de tiempo, asumiendo que se mantienen constantes las condiciones del medio (Masse *et al.*, 2001). Un aspecto importante para estimar la capacidad de carga es reconocer que existen diferencias en las preferencias de consumo del grupo vegetal de los herbívoros y en función del ambiente en que se encuentran (cuadro 66.1).

El entender que las especies de rumiantes consumen diferentes grupos vegetales, es fundamental para hacer estimaciones de capacidad de carga cercanas a la realidad. El no aplicar este conocimiento lleva a una sobreestimación del parámetro que puede tener implicaciones graves al querer establecer poblaciones con diferentes tipos de ganado, que llevarían a un deterioro del hábitat.

Cuadro 66.1 Estimación del grupo vegetal consumido por los rumiantes en agostaderos

Especie	Agostadero dominado por pastizal			Agostadero dominado por arbustivas		
	Pastos	Herbáceas	Arbustivas	Pastos	Herbáceas	Arbustivas
Bovinos	90	5	5	80	5	15
Ovinos	60	30	10	50	30	20
Caprinos	20	50	30	10	30	60
Venado	10	60	30	10	30	60
Elk	60	15	25	25	15	60

Fuente: Adaptado de Stuth y Sheffield (2001).

En animales domésticos, un concepto que se usa en la estimación de la capacidad de carga es el de Unidad Animal (UA) que se define como la vaca adulta con un peso de 450 kg con un becerro. Se han propuesto una serie de equivalencias de UA para poder hacer estimaciones de capacidad de carga (cuadro 66.2), el problema es que estas equivalencias no son muy válidas cuando se comparan bovinos con caprinos, ovinos o venados, dado que consumen diferentes grupos vegetales (cuadro 66.1), por lo que solo deberíamos de usar las equivalencias entre bovinos con distinta etapa fisiológica. Considerando lo anteriormente expuesto, la capacidad de carga debe estimarse en forma diferenciada para bovinos y los demás herbívoros.

Cuadro 66.2 Equivalencias de unidad animal para diferentes herbívoros

Especie o tipo	Peso kg	Unidad Animal
Vaca con becerro	450	1.0
Vaca lactando	600	1.3
Becerro destetado (< 2 años)	300	0.7
Novillo (< 2 años)	400	0.9
Novillo (> 2 años)	450	1.0
Toro (> 2 años)	575	1.25
Caballo, yegua, mula (adultos)	450	1.0
Potros (2 años)	300	0.7
Oveja (con cría)	50	0.2
Carnero	75	0.25
Macho cabrío o cabra adulta	50	0.2
Cabra (< 1 año)	30	0.14
Venado cola blanca	35	0.14

Cálculo de capacidad de carga en bovinos

En general, la capacidad de carga de los bovinos se estima con base en la disponibilidad de pastos, dado que es un rumiante apacentador. La información que se requiere es el tamaño del potrero o agostadero (ha), el rendimiento de forraje en base seca (kg por m^2 o kg por ha), el coeficiente de utilización (intensidad de defoliación), que generalmente varía de 50% que es más común a 80% en sistemas de pastoreo intensivos y el consumo de materia seca de una Unidad Animal, que es el 3% del peso vivo de la vaca adulta de 450 kg, que son 13.5 kg MS/día. Por ejemplo, se tiene una pradera de pasto estrella con un área de 300 ha, un rendimiento anual de 2500 kg MS al año con una intensidad de defoliación del 50%. Para calcular la capacidad de carga se divide:

$$CC = [\text{Rendimiento MS anual} \times \text{área} \times (\text{coeficiente utilización}/100)]/(\text{consumo MS anual})$$

$$CC = [4500 \times 300 \times (0.5)]/(13.5 \times 365) = 675{,}000/4927.5 = 136.38$$

La pradera tendría una capacidad de mantener 136 Unidades Animales que también se puede expresar como 0.45 UA por ha.



Capacidad de carga en venado cola blanca

Se han propuesto varias metodologías para estimar la capacidad nutricional de carga para el hábitat del venado cola blanca, a continuación, se presenta una forma sencilla para dicha estimación. Primero se requiere conocer la biomasa disponible por grupo vegetal en una estación, preferentemente en la época más crítica del año, pues se considera que en esta estará limitado el alimento y será la condición que limite la capacidad de carga y después se estima la biomasa aprovechable considerando un 35% de coeficiente de utilización para mantener el hábitat sostenible (Stuth y Sheffield, 2001).

Cuadro 66.3 Biomasa disponible para venado cola blanca en un bosque de pino-encino por grupo vegetal

Grupo vegetal	Biomasa total kg MS/ha/día	Disponible kg MS/ha/día
Arbustivas	2.703	0.946
Herbáceas	3.634	1.272
Pastos	9.903	3.466
Total	16.240	5.684

MS: materia seca.

Si se usa la biomasa disponible total y la equivalencia de Unidad Animal de venado (cuadro 62.2) de 0.14, el consumo de matera seca al día de un venado sería de 1.89 kg. Entonces la capacidad de carga (K) sería:

K = [biomasa kg MS ha/d]/[consumo venado kg/d]

K = 5.684/1.89 = 3 venados/ha

El problema de esta estimación es que los venados no consumen tanto pasto en su dieta y se sobreestima la K, por lo que es necesario estimar con base en el grupo vegetal consumido. Si se considera el cuadro 66.1 y el conocimiento de las preferencias de consumo del venado reportado en la literatura se plantean varias dietas hipotéticas en porcentajes de grupo vegetal (cuadro 66.4) y con un total de consumo de 1.89 kg (cuadro 66.5).

Cuadro 66.4 Dietas potenciales de venado cola blanca en un bosque de pino-encino en porcentaje

Grupo vegetal	(A) Cuadro 66.1	(B)	(C) Gallina *et al.* (1981)
Arbustivas %	60	60	55
Herbáceas %	30	39	40
Pastos %	10	1	5

Cuadro 66.5 Dietas posibles de venado cola blanca en un bosque de pino-encino en kilogramos

Grupo vegetal	(A) Cuadro 66.1	(B)	(C) Gallina *et al.* (1981)
Arbustivas kg/d	1.134	1.134	1.039
Herbáceas kg/d	0.567	0.737	0.756
Pastos kg/d	0.189	0.018	0.094
Total kg/d	1.89	1.89	1.89

Como se puede apreciar las tres dietas son similares (A, B o C), así que usaremos la dieta C para seguir los cálculos de capacidad de carga. Estimamos ahora la K por cada grupo vegetal para ver identificar el que tiene el valor más limitante:

$K_{arbustivas}$ = [biomasa disponible arbustiva kg MS/ha/d]/[consumo arbustivas MS/d]

$K = [0.946]/[1.039] = 0.910$ venados/ha

$K_{herbáceas}$ = [biomasa disponible herbáceas kg MS/ha/d]/[consumo herbáceas MS/d]

$K = [1.272]/[0.756] = 1.682$ venados/ha

K_{pastos} = [biomasa disponible pastos kg MS/ha/d]/[consumo pastos MS/d]

$K = [3.466]/[0.094] = 36.87$ venados/ha

Para estimar la K se usa el valor más bajo, es decir, el de 0.91 venados/ha, pues es el grupo vegetal limitante, en este caso las arbustivas. Los otros valores sobreestiman la capacidad de carga. Por obvias razones nunca debería de estimarse la K con base en los pastos. Plata *et al.* (2010) reportaron que la capacidad de carga estimada con disponibilidad de arbustivas era la más adecuada y se acercaba más a la densidad poblacional en venado cola blanca. Para este caso en particular, se reportó una densidad alrededor de 0.09 a 0.33 venados/ha (Ezcurra y Gallina, 1981) lo cual indicaría que se tienen posibilidades de incrementar la población o de que existen problemas nutricionales que están limitando la reproducción o sobrevivencia de los venados.





Ejercicio 66

Cálculo de capacidad de carga en praderas para bovinos

Se tiene una pradera de 100 ha de pasto buffel con un rendimiento de 260 g por m^2 en un sistema de pastoreo intensivo (80 % de utilización), calcule la capacidad de carga (CC) anual de bovinos.

CC = [rendimiento MS anual × área × (coeficiente utilización/100)]/(consumo de MS anual)

Resultados ejercicio 66

Información para el cálculo de capacidad de carga:

Superficie de la pradera = 100 ha

Para convertir los g por m^2 a kg/ha.

$0.260 \text{ kg m}^2 \times 10,000 = 2600 \text{ kg/ha}$

Consumo de materia seca = 13.5 kg/d

Consumo de materia seca por año = 4927.5 kg

$CC = [2,600 \times 100 \times (0.8)]/(13.5 \times 365) = 208,000/4927.5 = 42.20 \text{ UA}$

Con la una pradera de 100 ha de pasto buffel se pueden mantener 42.2 unidades animales al año.



Ejercicio 67

Estimación de capacidad de carga para venado cola blanca

Con base en la información de biomasa obtenida en Sierra Fría, Aguascalientes (cuadro 67.1), estime la capacidad de carga para el venado cola blanca con un coeficiente de utilización del 35 %, cuando el equivalente de UA de 0.14, con la composición de la dieta por grupo vegetal presentada en el mismo cuadro e interprete los resultados, considerando que tiene los datos que corresponden a una densidad poblacional de 0.02 a 0.04 venados por ha para ese hábitat con esa biomasa. Considere que la estimación de capacidad de carga con otros métodos con la misma información ha variado desde 0.033 a 1.43 venados por ha. Algunos investigadores han propuesto que los valores que se acercan más a la densidad poblacional son los que más representan la capacidad de carga (Plata *et al.*, 2010; 2011; 2013).

Cuadro 67.1 Biomasa disponible para venado cola blanca en un bosque de pino-encino por grupo vegetal

Grupo vegetal	Biomasa total kg MS/ha/d	Composición de la dieta %
Arbustivas	126.10	60
Herbáceas	141.52	39
Pastos	364.03	1
Total	631.65	100

MS: materia seca.

Resultados ejercicio 67

Cuadro 67.2 Biomasa disponible para venado cola blanca al día en un bosque de pino-encino por grupo vegetal

Grupo vegetativo	Biomasa total kg MS/ha/año	kg MS/ha/d	MS disponible kg MS/ha/d
Arbustivas	126.10	0.345	0.120
Herbáceas	141.52	0.388	0.135
Pastos	364.03	0.997	0.349
Total	631.65	1.731	0.605

MS: materia seca.

Cuadro 67.3 Cálculo del consumo de alimentos de acuerdo con dietas potenciales de venado cola blanca en un bosque de pino-encino, y de la capacidad de carga

Dietas	Dieta 1.89 kg	Biomasa kg MS/ha/d	K por grupo vegetativo
Arbustivas	1.134	0.120	0.106
Herbáceas	0.737	0.135	0.184
Pastos	0.018	0.605	18.46
Total			

K: capacidad de carga.

La capacidad de carga que se debe de seleccionar es la de la vegetación limitante y sería de 0.10 venados por ha. Los resultados muestran que hay una limitante de arbustivas y existe una gran disponibilidad de pasto que no consumen.

Plata *et al.* (2010) obtuvieron una estimación de K con arbustivas de 0.033 venados por ha, pero usaron otro valor de consumo de materia seca, basado en el metabolismo ecológico del venado, si se cambia el consumo, se puede modificar el valor de estimación, pero será similar al obtenido.

Este método de grupo vegetal limitante proporciona un valor más similar al de la densidad poblacional que el estimado con otros grupos vegetales, independientemente del método seleccionado (disponibilidad de materia seca, N, metabolismo ecológico y la presión de pastoreo). Los resultados de este método nos permiten identificar que hay problemas nutricionales potenciales en ese hábitat que deberían ser diagnosticados y considerados en los planes de manejo en manejo de vegetación.

Estimación de consumo de alimento y requerimiento energético en oso panda

Los osos panda gigantes (*Ailuropoda melanoleuca*) son herbívoros especializados que consumen una dieta predominante en bambú, del cual se obtiene poca energía. El bambú es una gramínea de la cual los pandas consumen alrededor de 43% de hojas y 57% de caña (Schaller *et al*., 1985) y tiene alto contenido de paredes celulares altamente lignificada con baja digestiblidad (Sims *et al*., 2007) considerándose un forraje de baja calidad (Schaller *et al*., 1985).

Se ha reportado una digestibilidad de 23.4% con 4.8 kcal/g de EB (Dierenfeld *et al*., 1982), con lo que podríamos estimar una ED de 1.26 kcal/g, y asumiendo pérdidas de metano y orina de un 2%, la EM sería de 1.24 kcal/g. Las estimaciones de gasto de energía para un panda de 100 kg de peso vivo están alrededor de 3132 kcal al día, si asumimos una eficiencia de 0.6 para utilización de la energía metabolizable, el requerimiento de EM sería de 5220 kcal/d por lo que se requerirían de 4.2 kg de materia seca de bambú para el mantenimiento del panda. Para la estimación del requerimiento energético del oso panda gigante, McNab (2000) sugiere usar la siguiente ecuación con la masa en gramos (m):

$$V\,O_2 (ml\,O_2/h) = 3.4988\ m^{0.694}$$

Esta ecuación estima un metabolismo basal inferior al de otros osos en un 59 %. Los datos de consumo y de digestibilidad del Zoológico de la Ciudad de México (Pintle, 2012) indican que la ecuación de McNab (2000) subestimaría el requerimiento de energía del oso panda gigante y la ecuación modificada de Valdez (2011) la sobreestimaría, por lo que en condiciones prácticas proponemos que para estimar el consumo de alimento basados en el requerimiento energético, se use la ecuación general de mamíferos (ENm [kcal/d]=77 $PV^{0.75}$) y que se ajuste el requerimiento energético en un 55% para gastos de actividad: ENm=119 $PV^{0.75}$.

Estimación de consumo de alimento con base en el requerimiento energético

Primero se estima el requerimiento de energía de un oso con 99 kg de peso vivo con la ecuación general de mamíferos, y posteriormente se ajusta el requerimiento con un 55 % sobre el metabolismo basal.

$$ENm(kcal/d) = 119\ PV^{0.75}$$

$$ENm = 119\ (90)^{0.75}$$

$$ENm = 119(31.39) = 3734\ kcal/d$$

$$EM = ENm/0.60 = 6224\ kcal/d$$

Si no se conoce la digestibilidad de la ración, se propone usar un valor de digestibilidad del bambú de 30 % (Pintle, 2012) y para concentrados y altos en almidón o carbohidratos solubles un 80 %. Con base en el calor de combustión y la digestibilidad de la materia seca se estima el contenido de ED de la ración. Considere la ración ofrecida a un oso panda de 99 kg (Xin-Xin) en el cuadro 68.1.

El panda gigante se conoce como un consumidor especialista en bambú que evolucionó a partir de carnívoros, y su dieta en vida libre es principalmente herbívora, compuesta de casi 95 a 99 % de bambú (Hansen *et al.* 1999; Wei *et al.* 2015) razón por la cual es el principal componente de las dietas proporcionadas en zoológicos (Hansen *et al.* 2010).

Cuadro 68.1 Ración ofrecida al oso panda y estimación de energía digestible

Alimento	% MS	% Ración base seca	EB Mcal/kg	Coeficiente	ED Mcal/kg
Bambú	65.71	92.00	4.3	0.30	1.29
Manzana	15.5	1.30	3.75	0.80	3.0
Zanahoria	8.9	0.30	2.13	0.80	1.704
Arroz blanco	21.8	0.45	3.67	0.80	2.936
Concentrado para primates	95.0	5.95	4.57	0.80	3.65
Total		100.00			

MS: materia seca; EN: energía bruta; ED: energía digestible.

Cuadro 68.2 Aporte de energía digestible y contenido por kg de materia seca

Alimento	Ración kg	ED Mcal/kg	Aporte de ED
Bambú	0.920	1.29	1.18
Manzana	0.013	3.0	0.038
Zanahoria	0.030	1.704	0.004
Arroz blanco	0.045	2.936	0.013
Concentrado para primates	0.0595	3.656	0.217
Total	1.00		1.452

ED: energía digestible.

Entonces, el consumo de alimento estimado (en base seca) sería obtenido por la relación entre el requerimiento de ED Mcal/d entre la concentración dietaria (Mcal/kg):

Consumo de MS = 6.351/1.452 = 4.374 kg/d

El valor de consumo observado con esa ración en ese panda fue de 4.484 kg al día de materia seca, con lo que la estimación está alrededor del 97% del valor observado. A partir de ese valor, se puede ofrecer considerando un rechazo de alimento de al menos un 10-20%. Con una materia seca de 62.5% se debería ofrecerse al menos 7.7 kg de alimento fresco.



Ejercicio 68

Estimación de consumo de alimento y requerimiento de energía del oso panda

Al oso panda Xiu-Hua se le ofrece la ración del cuadro 68.3 en base húmeda. En dicho cuadro se presenta la información del porcentaje de materia seca de cada alimento.

Cuadro 68.3 Ración ofrecida al oso panda, contenido de materia seca y energía bruta

Alimento	kg/d	% MS	EB Mcal/kg	% PC
Bambú cortado (tallo y hojas)	10.07	70.45	4.3	5.96
Camote cocido y picado	0.20	37.0	0.96	0.87
Concentrado para perro	0.30	90.0	5.19	19.5
Manzana roja picada	0.80	15.50	3.75	5.8
Zanahoria	0.30	8.9	2.13	7.65
Arroz blanco cocido	0.30	21.8	3.67	3.0
Concentrado para primates	0.60	95.0	4.57	23.0
Total	12.57			

MS: materia seca; EB: energía bruta; PC: proteína cruda.

Estime la cantidad ofrecida en base seca y la ración en base seca en 1 kg. Posteriormente estime el contenido de ED Mcal por kg de materia seca y la

concentración de proteína de la ración. Calcule el requerimiento de energía del oso panda de 110 kg de peso vivo. Finalmente, estime el consumo de alimento requerido para el mantenimiento del oso panda e interprete los resultados (alimento ofrecido, rechazo, contenido de ED, proteína, etc.). Considere que el oso panda consumió de materia seca un total de 3.918 kg/d.

Resultados ejercicio 68

Cuadro 68.4 Ración ofrecida al oso panda en base seca y contenido de materia seca

Alimento	kg/d	% MS	kg MS/d
Bambú cortado (tallo y hojas)	10.07	68.52	6.90
Camote cocido y picado	0.20	37.0	0.074
Concentrado para perro	0.30	90.0	0.27
Manzana roja picada	0.80	15.50	0.124
Zanahoria	0.30	8.9	0.267
Arroz blanco cocido	0.30	21.8	0.0654
Concentrado para primates	0.60	95.0	0.57
Total	12.57		8.03

MS: materia seca.

En segundo lugar, se expresa la ración en 1 kg, usando el 100% el 8.03, por ejemplo, el bambú representaría el 85.93% en 1 kg 0.8593.

Cuadro 68.5 Ración por kg y cálculo de contenido de energía digestible de los alimentos

Alimento	kg/kg	EB	Factor	ED Mcal/g
Bambú cortado (tallo y hojas)	0.8593	4.3	0.3	1.29
Camote cocido y picado	0.0092	0.96	0.8	0.76
Concentrado para perro	0.0336	5.19	0.8	4.15
Manzana roja picada	0.0154	3.75	0.8	3.00
Zanahoria	0.0033	2.13	0.8	1.70
Arroz blanco cocido	0.0081	3.67	0.8	2.93
Concentrado para primates	0.071	4.57	0.8	3.65
Total	1.0			

EB: energía bruta; ED: energía metabolizable.

Cuadro 68.6 Aporte de energía digestible de la ración del oso panda

Alimento	kg/kg	ED Mcal/g	Aporte de ED
Bambú cortado (tallo y hojas)	0.8593	1.29	1.10
Camote cocido y picado	0.0092	0.76	0.007
Concentrado para perro	0.0336	4.15	0.139
Manzana roja picada	0.0154	3.0	0.046
Zanahoria	0.0033	1.70	0.005
Arroz blanco cocido	0.0081	2.93	0.239
Concentrado para primates	0.071	3.65	0.259
Total	1.0		1.590

ED: energía digestible.

Cuadro 68.7 Aporte de proteína cruda de la ración del oso panda

Alimento	kg/kg	% PC	Aporte de PC
Bambú cortado (tallo y hojas)	0.8593	5.96	5.12
Camote cocido y picado	0.0092	0.87	0.008
Concentrado para perro	0.0336	19.5	0.65
Manzana roja picada	0.0154	5.8	0.08
Zanahoria	0.0033	7.65	0.025
Arroz blanco cocido	0.0081	3.0	0.024
Concentrado para primates	0.071	23.0	1.63
Total	1.0		7.55

PC: proteína cruda.

La estimación realizada sobreestima el requerimiento de alimento en 402 g al día, lo cual se puede considerar aceptable. Es importante comentar que el alimento ofrecido diariamente es de 8.03 kg de MS, por lo que sería posible reducir el alimento para reducir el rechazo. En algunos zoológicos el rechazo de alimento puede ser una pérdida importante de recursos.

Los pandas en cautiverio muestran selectividad por partes de la planta durante el consumo de bambú (Hansen *et al.* 2010) con altos niveles de rechazo (Mainka *et al.* 1989) y en vida libre los pandas gigantes muestran preferencia por los tejidos vegetales más jóvenes, que tienen concentraciones de nutrientes más altos (Nie *et al.* 2015) y esta puede modificar la microbiota intestinal (Wei *et al.* 2015). Los pandas gigantes también muestran cambios estacionales en el consumo de partes de plantas en cautiverio (Hansen *et al.* 1999).

Cuadro 68.8 Estimación de requerimiento energético del oso panda y consumo de alimento

Ítem	
Peso vivo kg	110
$PV^{0.75}$	33.97
ENm=119 $PV^{0.75}$ Mcal/d	4041
Requerimiento EM Mcal/d=(ENm/0.6)	6736
Requerimiento de ED Mcal/d=(ED/0.98)	6874
Concentración de ED en la ración Mcal/kg	1590
Consumo de MS requerido para mantenimiento kg/d	4.32
Consumo de MS observado kg/d	3.918

PV: peso vivo; ENn: energía neta de mantenimiento; EM: energía metabolizable; ED: energía digestible; MS: materia seca.

Si consideramos que el consumo debe ser sobre mantenimiento y que el rechazo debería estar alrededor del 10%, se podrían ofrecer 4.75 kg MS o 7.5 kg en base húmeda para asegurarse de cumplir con los requerimientos del animal.



Uso de fitasas en raciones para cerdos

Una de las enzimas exógenas comercialmente más usadas en alimentos para cerdos es la fitasa. Esta enzima tiene la capacidad de degradar al fitato hasta convertirlo en inositol y fósforo inorgánico (Turk *et al.*, 2000). El fitato se considera como agente antinutricional debido a que forma complejos (quelatos) con gran variedad de minerales esenciales como Ca, Zn, Mg y Fe, y además puede reaccionar con proteínas y almidón reduciendo su disponibilidad (Reddy *et al.*, 1988; Láztity y Láztity, 1995). Por esta razón, la biodisponibilidad de minerales, proteínas y almidón se mejora, si el fitato es hidrolizado por fitasa, la excreción de P, Ca, Zn y N se puede reducir, si las dietas se formulan con fitasa (Cromwell, 1996; Jongbloed *et al.*, 1992).

Varios experimentos muestran que el uso de fitasas al incrementar la dosis puede mejorar la ganancia de peso en un 4% y reducir la excreción de fósforo (Oluski *et al.*, 2007). En cerdos destetados, Romero *et al.* (2009) encontraron con 500 unidades fitásicas incrementos de digestibilidad en proteína, FDN, Ca y P que mejoraron la ganancia de peso en un 17%. Varley *et al.* (2010) realizaron un experimento donde obtuvieron respuesta semejante con 500 unidades fitásicas al reducir 1.5 g por kg P disponible equivalente a la respuesta de los cerdos con dietas con 2 g por kg. Se estima que 500 unidades de fitasa incrementan la cantidad de fósforo digestible en alrededor de 0.8 g/kg. Esta actividad puede reemplazar el suplemento de 1 g de fósforo proveniente de fosfato monocálcico o de 1.15 g de fosfato dicálcico. Los resultados de experimentos con

fitasas muestran que la mayor respuesta se observa en cerdos jóvenes al destete (cerdos de 10 kg). Algunos estudios muestran poca respuesta en cerdos de 23-25 kg, sin embargo, se puede reducir la excreción de fósforo y aumentar la flexibilidad en la formulación haciendo económico el uso de la fitasa (Salas *et al*., 2008).

En términos prácticos, se considera que al usar la fitasa se puede reducir 0.12% de P inorgánico en la dieta (Jacela *et al*., 2010), sin embargo, por razones de seguridad se recomienda considerar la reducción en un 0.10%. Gaudré y Quiniou (2009) estiman que con 500 unidades fitásicas se aporta el equivalente de 0.75 g por kg de P disponible, que en términos prácticos representan el 0.10%. Para poder estimar las ventajas de usar fitasas se requiere hacer una estimación del P total, P disponible y del equivalente al usar fitasas. Para esto se requiere considerar los valores de tablas y considerar que la digestibilidad de las fuentes inorgánicas de P son variables, por ejemplo, la del fosfato de Ca dibásico es de 69%, el monobásico tiene una disponibilidad de 83% (Gaudré y Quiniou, 2009) y el ácido fosfórico tiene una disponibilidad del 90% (Santiago *et al*., 2005).

Como ejemplo, ver el cuadro 69.1 donde se muestra una ración de cerdos destetados con los contenidos de P total y disponible así como su aporte. Como se puede apreciar se excede un poco el requerimiento de P total y apenas cubre el de P disponible. El beneficio de la fitasa estará en función del costo de las fuentes de P inorgánico y el costo de la enzima; a mayor el precio de las fuentes, mayor beneficio de incorporar la enzima. Para evaluar esto, se incorpora la fitasa en dosis que aporte 500 unidades fitásicas (dependiendo de la fuente comercial), generalmente 0.01%. Entonces se incluye la fitasa y se reduce la fuente más cara de fósforo (sin descuidar el balance de Ca cuando este aporte dos elementos) y se formula al requerimiento de P total menos 0.10%, es decir, al 0.50%. Posteriormente se le suma 0.1% de P disponible al total para estimar el contenido de P disponible esperado para asegurarse de que se cumplan los requisitos (cuadro 69.2). Es importante asegurarse de que se cumpla el requerimiento de P disponible. Como se puede apreciar el costo se redujo en el ejemplo en 0.30 $/kg y esto dependerá de los costos actuales de enzimas y fuentes de P inorgánicas. Debe tenerse presente que las fitasas tienen beneficios adicionales ambientales de reducción de contaminantes, así como en la disponibilidad de otros nutrientes.

Cuadro 69.1 Ración para cerdos destetados y aporte de P total y disponible

Alimento	% ración	Costo/ kg	Costo dieta	P %	Aporte P total	P disponible %	Aporte P disponible
Sorgo	74.645	4.1	3.060	0.29	0.216	0.03	0.0224
Pasta soya	22.00	6.3	1.386	0.6	0.132	0.18	0.0396
Aceite vegetal	0.21	9.5	0.020	0	-	0	0.0000
DL-Metionina	0.11	78	0.086	0	-	0	0.0000
L-Triptófano	0.01	50	0.005	0	-	0	0.0000
L-Treonina	0.015	49	0.007	0	-	0	0.0000
Carbonato de Ca	0.73	0.97	0.007	0	-	0	0.0000
Fosfato dicálcico	0.63	4	0.025	18.5	0.117	15.3	0.0967
Fosfato monocálcico	0.83	10	0.083	21.58	0.179	19.4	0.1610
Vitaminas	0.27	291	0.786	0	-	0	0.0000
Minerales	0.2	20	0.040	0	-	0	0.0000
Sal	0.35	1.5	0.005	0	-	0	0.0000
Fitasa	0	139	0.000	0	-	0	0.0000
Total	100		5.511		0.644		0.3198
Requerimiento					0.60		0.32

Es importante revisar los ingredientes que se incorporan en la ración para asegurarse que se obtengan beneficios de las fitasas. Tener presente que para reducir la excreción de P cuando se usa fitasa, las raciones deben formularse para cubrir los requerimientos de P disponible. Dependiendo de la etapa fisiológica del cerdo, las fitasas pueden reducir la inclusión de P inorgánico en las dietas de cerdos un 0.1 %. En términos prácticos se considera que el costo de la fitasa debe ser equivalente al costo de fosfato dicálcico ahorrado. Es importante revisar otros aspectos de la ración como la relación Ca:P y el aporte de vitamina D.

El conocimiento de la disponibilidad de minerales pronto se extenderá a elementos más allá del fósforo. Existe información sobre estimaciones de calcio digestible y de las ventajas de formular con esos valores en lugar del Ca total en cerdos (Lagos *et al.*, 2021). La actualización del conocimiento en la especie de interés es una labor que hay que realizar en forma constante.

Cuadro 69.2 Ración para cerdos destetados y aporte de P total y disponible

Alimento	% ración	Costo/ kg	Costo dieta	P %	Aporte P total	P disponible %	Aporte P disponible
Sorgo	75.065	4.1	3.078	0.29	0.218	0.03	0.023
Pasta soya	22.00	6.3	1.386	0.6	0.132	0.18	0.040
Aceite vegetal	0.21	9.5	0.020	0	0	0	0.0000
DL-Metionina	0.11	78	0.086	0	0	0	0.0000
L-Triptófano	0.01	50	0.005	0	0	0	0.0000
L-Treonina	0.015	49	0.007	0	0	0	0.0000
Carbonato de Ca	0.73	0.97	0.007	0	0	0	0.0000
Fosfato dicálcico	0.63	4	0.025	18.5	0.117	14.1	0.089
Fosfato mono-cálcico	0.40	10	0.040	21.58	0.086	19.4	0.078
Vitaminas	0.27	291	0.786	0	0	0	0.0000
Minerales	0.20	20	0.040	0	0	0	0.0000
Sal	0.35	1.5	0.005	0	0	0	0.0000
Fitasa	0.01	139	0.014	0	0	0	0.0000
Total		100		5.511	0.553		0.229
Requerimiento ajustado					0.60		0.32
Aporte de P disponible por fitasas							0.100
Contenido esperado de P disponible							0.329

Ejercicio 69

Uso de fitasas en raciones para cerdos

En el cuadro 69.3 se presenta una ración usada en cerdos de 20 a 60 kg de peso, a la cual se desea usar una fitasa de origen fungal, la cual tiene un costo de $90.00 por kg y la cual se requiere incorporar de 0.085% para aportar 500 unidades fitásicas. Elabore una dieta incluyendo la fitasa y discuta si la incorporación de esta es rentable. Considere que el requerimiento de P total es de 0.6% y el de P disponible de 0.32%.

Cuadro 69.3 Ración usada en cerdos de 20 a 60 kg

Alimento	% ración	Costo/kg	P %	P disponible %
Maíz grano	67.79	4.1	0.3	0.03
Pasta soya	29.082	6.3	0.6	0.18
Aceite vegetal	0.953	9.5	0	0
Carbonato de Ca	0.652	0.97	0	0
Fosfato dicálcico	1.304	4	18.5	15.355
Premezcla vitaminas y minerales	0.201	291	0	0
Sal	0.018	1.5	0	0
Fitasa	0	90	0	0
Total	100			

Resultados ejercicio 69

Primero se estima el aporte de P total y de P disponible de la ración, así como el costo por kg de alimento (cuadro 69.4). Se puede apreciar que se cumplen los requerimientos de P total y están un poco bajos los de P disponible debido a que no se considera una disponibilidad del 100% del fosfato dicálcico. Posteriormente se incluye la fitasa y se reduce el contenido de fosfato dicálcico (cuadro 69.5). Se puede apreciar que no es rentable, en este caso, la incorporación de la fitasa, pero el contenido de P disponible es mejor que en la ración original.

Cuadro 69.4 Cálculos de aportes de P total y disponible de la ración usada para cerdos de 20 a 60 kg

Alimento	% ración	Costo/ kg	Costo dieta	P %	Aporte	P disponible %	Aporte P disponible
Maíz grano	67.79	4.1	2.779	0.3	0.203	0.03	0.0203
Pasta soya	29.082	6.3	1.832	0.6	0.174	0.18	0.0523
Aceite vegetal	0.953	9.5	0.091	0	-	0	0.0000
Carbonato de Ca	0.652	0.97	0.006	0	-	0	0.0000
Fosfato dicálcico	1.304	4	0.052	18.5	0.241	15.355	0.2002
Premezcla vitaminas y minerales	0.201	291	0.585	0	-	0	0.0000
Sal	0.018	1.5	0.000	0	-	0	0.0000
Fitasa	0	90	0.000	0	-	0	0.0000
Total	100		5.346		0.619		0.2729
Requerimiento					0.6		0.32

La adición de fitasas en raciones de cerdos es una práctica usada en elaboración de alimentos balanceados que permite aumentar la disponibilidad de P. Las fitasas son de origen fungal de *Aspergillus sp.* Incorporándose de 200 a 1000 unidades/kg. Esto permite reducir la excreción de P entre 30 a un 50% lo que tiene un impacto benéfico ambiental. Además aumenta la disponibilidad de otros nutrientes, minerales y aminoácidos. Para tener mejor respuesta a la fitasa se debe de evitar exceso de calcio y deficiencias de vitamina D.

Cuadro 69.5 Ración incluyendo fitasas con costos y aportes de P

Alimento	% ración	Costo/ kg	Costo dieta	P %	Aporte	P disponible %	Aporte P disponible
Maíz grano	67.79	4.1	2.779	0.3	0.203	0.03	0.0203
Pasta soya	29.082	6.3	1.832	0.6	0.174	0.18	0.0523
Aceite vegetal	0.953	9.5	0.091	0	-	0	0.0000
Carbonato de Ca	0.652	0.97	0.006	0	-	0	0.0000
Fosfato dicálcico	1.1	4	0.044	18.5	0.204	14.1	0.155
Premezcla vitaminas y minerales	0.201	291	0.585	0	-	0	0.0000
Sal	0.018	1.5	0.000	0	-	0	0.0000
Fitasa	0.085	90	0.077	0	-	0	0.0000
	99.881		5.414		0.581		
Requerimiento ajustado					0.5		0.32
Aporte de P disponible por fitasas							0.100
Contenido esperado de P disponible							0.328



Enzimas exógenas para rumiantes

En los forrajes se estima que tiene de 40 a 60% de la fracción digestible, dependiendo de la calidad desde 8 a 50% de materia indigestible y una fracción potencialmente digestible que puede estar entre 15 al 10% (Mendoza *et al*., 2014a) dependiendo de la calidad del forraje. Para aumentar la eficiencia de utilización de los forrajes se han usado enzimas fibrolíticas exógenas, principalmente xilanasas y celulasas de origen fungal o bacterial obtenidas por procesos de biotecnología, las cuales incrementan la digestibilidad particularmente de la fracción potencialmente digestible (Mendoza *et al*., 2014b), y dependiendo de la calidad del forraje pueden incrementar la producción.

A pesar de que existen evidencias experimentales y ensayos con productores, donde se muestra una respuesta positiva a estos aditivos, es indispensable realizar una evaluación económica dados los costos pueden limitar su uso (Mendoza *et al*., 2013a).

En una evaluación experimental que se realizó en un establo comercial, Pinos *et al.* (2005) administraron una enzima comercial con xilanasas y celulasas a una dosis de 10 gramos diarios por vaca durante 112 días. Las vacas del grupo testigo tuvieron una producción promedio de 26.6 kg/d de leche, mientras que las que recibieron la enzima incrementaron su producción a 28.1 kg/d de leche. El costo del producto fue de $490.0 el kg y el del precio de venta de la leche de $4.0

pesos. Para estimar la rentabilidad del uso del aditivo, se realizan los siguientes cálculos con base en la leche adicional producida:

Ingreso por aditivo(kg/d) = producción del grupo con aditivo - producción del grupo testigo

Ingresos por de aditivo($/d) = [leche adicional(kg/d)] × [costo de leche $/kg]

Utilidad por uso de aditivo($/d) = (ingreso por aditivo $/d) - (costo de aditivo $/d)

Leche adicional = 28.1 - 26.6 = 1.5 kg/d

Ingresos por aditivo = [1.5 kg/d] × [4 $/kg] = 6.0 $/d

Utilidad por uso de aditivo = (6.0 $/d) - (4.9 $/d) = 1.1 $/d

Ejercicio 70

Evaluación de rentabilidad del uso de enzimas exógenas

A pesar de que las enzimas fibrolíticas exógenas se han usado más en dietas de ganado lechero, Aranda *et al.* (2010) demostraron que su inclusión en incubaciones *in vitro* incrementaba la población de bacterias ruminales. Así, en dos experimentos en pastoreo en trópico, Gómez *et al.* (2003; 2011) usaron un complejo de enzimas comerciales de *Aspergillus niger, Trichoderma viride* y *Trichoderma longibrachiatum* y obtuvieron respuestas positivas en el crecimiento y digestibilidad de toretes suplementados. Para conocer si el uso es rentable, considere los datos del ensayo de Gómez *et al.* (2003) donde las dosis fueron 0, 15 y 30 gramos por animal/d y las ganancias diarias de peso correspondientes fueron 484, 634 y 776 g/d respectivamente para cada tratamiento (con una respuesta lineal). El precio de venta por kg estaba en $15.00. La enzima tuvo un costo de $490 el kg. Estime la rentabilidad de las dos dosis e interprete los resultados.

Resultados ejercicio 70

Primero se hacen los cálculos para la dosis de 15 gramos diarios:

$$\text{Carne adicional(kg/d)} = \text{producción del grupo con aditivo} - \text{producción del grupo testigo}$$

$$\text{Ingresos por aditivo(\$/d)} = [\text{carne adicional(kg/d)}] \times [\text{costo de la carne \$/kg}]$$

Utilidad por uso de aditivo($/d) = (ingresos por aditivo $/d) - (costo del aditivo $/d)

$$\text{Carne adicional}_{15g} = 0.776 - 0.484 = 0.150 \text{ kg/d}$$

$$\text{Ingresos por aditivo}_{15g} = [0.150 \text{ kg/d}] \times [15 \text{ \$/kg}] = 9.51 \text{ \$/d}$$

$$\text{Utilidad por uso de aditivo}_{15g} = (9.51 \text{ \$/d}) - (7.35 \text{ \$/d}) = 2.16 \text{ \$/d}$$

En segundo lugar, se hacen los cálculos para la dosis de 30 gramos diarios:

$$\text{Carne adicional}_{30g} = 0.634 - 0.484 = 0.292 \text{ kg/d}$$

$$\text{Ingresos por aditivo}_{30g} = [0.292 \text{ kg/d}] \times [15 \text{ \$/kg}] = 11.64 \text{ \$/d}$$

$$\text{Utilidad por uso de aditivo}_{30g} = (11.64 \text{ \$/d}) - (14.7 \text{ \$/d}) = -3.06 \text{ \$/d}$$

Es importante destacar que, a pesar de que hay una respuesta favorable en la respuesta productiva a mayor dosis de enzima, el uso de 30 gramos no es rentable, dado que el valor de utilidad es negativo. Otras evaluaciones realizadas por Mendoza *et al.* (2013) indican que el margen de utilidad está alrededor del 5 % en ganado lechero. En el caso de ovinos, se tiene un experimento con dieta basado en rastrojo de maíz donde se obtuvo una rentabilidad positiva (Tirado-Estrada *et al.*, 2011) sin embargo, en otro experimento no hubo respuesta a la enzima, por lo que el uso de enzimas llevaría a pérdidas económicas (Hernández *et al.*, 2011). Por estos resultados, Mendoza *et al.* (2014) han promovido el desarrollo de enzimas más económicas para que su uso pueda ser más difundido.



Alimentación de equinos

Existen diversos tipos de caballos desde los ferales que se alimentan con dietas altas en fibra con bajo contenido de proteína y permanecen el 70% del día forrajeando hasta los caballos estabulados que reciben raciones balanceadas y destinan solo el 10% del día en su alimentación (Pagan, 2007). En caballos en pastoreo, la mandíbula puede moverse hasta 60,000 veces en un día. La saliva contiene poca amilasa. El estómago tiene una capacidad de 9 a 15 litros y el alimento tiene un tiempo de tránsito menor a 2 horas y el esfínter cardiaco no se relaja para permitir la regurgitación (por el caballo no puede eructar ni vomitar). El intestino delgado representa el 30% del tracto digestivo con una capacidad de 40 a 50 litros, con un tiempo de tránsito de 45 minutos a 8 horas (Pérez, 1995).

El intestino grueso representa un 60% de la capacidad del tracto digestivo. El ciego tiene una capacidad de 25 a 35 litros con un tiempo de tránsito menor a 5 horas. El colon mayor tiene una capacidad de 50 a 60 litros, mientras que el colon menor de 18 a 19 litros y el tiempo de tránsito en todo el colon es de 48 a 72 horas, y es el sitio donde ocurre la mayor digestión de la fibra con un pH de 6.2-6.8 (las bacterias amilolíticas se desarrollan mejor en pH de 5.2 a 6.0). En los potrillos, el intestino delgado no aumenta su longitud hasta las 4 semanas de edad y el ciego no es totalmente funcional hasta los 15 a 24 meses de edad. El intestino grueso aumenta con la edad, incluso hasta los 20 años (Lawrence y Lawrence, 2007).

Debido a las características anatómicas del caballo, la fermentación microbiana es de gran importancia en su alimentación y salud. Se recomienda no alimentar más de 0.4% del peso corporal en almidón, pues un exceso hace que lleguen cantidades al intestino grueso para la fermentación bacteriana. El almidón en exceso modifica la población bacteriana lo cual puede aumentar las concentraciones de ácido láctico y ácidos grasos volátiles, causando acidosis en intestino grueso. Esto causa laminitis, cólico, endotoxemia, acidosis metabólica y trastornos de conducta como masticar madera (Cuddeford, 2001; Harris y Kronfeld, 2003). En términos de grano equivale a proporcionar de 2.5 a 2.85 kg de maíz a un caballo de 500 kg en una comida.

Las características de fermentación del almidón, azúcares solubles o carbohidratos estructurales de la pared celular, así como la cantidad consumida, van a tener un efecto en el pH del colon, teniendo mayor potencial acidificante el maíz, que la avena y el heno (Kern *et al.*, 1973). Al igual que en la nutrición de conejos, es importante caracterizar los carbohidratos del alimento particularmente los carbohidratos no estructurales que incluyen a la glucosa, fructosa, lactosa, sacarosa y almidón. Por ejemplo, en el cuadro 71.1 se muestran algunos alimentos comunes, donde se puede apreciar un alto contenido de estos carbohidratos fermentables del maíz, avena y trigo.

Cuadro 71.1 Características de los carbohidratos no estructurales de algunos alimentos usados para equinos

Alimento	CNE	Sacarosa	Almidón	Pectinas+ β-glucanos
	% MS	% de Carbohidratos no estructurales		
Heno de alfalfa	23.0	0.0	40.9	33.0
Cebada	61.8	9.1	81.7	9.2
Maíz	71.4	20.0	80.0	0.0
Avena	42.4	4.4	95.6	0.0
Trigo	73.8	8.9	80.2	10.9
Subproductos de destilería	10.3	0.0	100.0	0.0
Gluten de maíz	24.7	3.7	71.2	25.1
Harina gluten de maíz	17.3	0.0	69.4	30.6
Pasta de soya	34.4	25.0	25.0	50.0

CNE: carbohidratos no estructurales.

Los carbohidratos no estructurales (CNE) en base húmeda, se obtienen por diferencia 100 – humedad - PC % - EE% - FDN % - ceniza.

La digestión del almidón en intestino es de gran importancia y existen varios factores que la modifican, como las propiedades del gránulo de almidón, los procesos del grano (que puedan gelatinizar), el contenido de paredes celulares, el tiempo de tránsito en intestino delgado y la disponibilidad y concentración de enzimas. El molido y procesos que gelatinicen incrementan la digestibilidad en intestino delgado (Cudeford, 2001). Si el almidón no es digerido en el intestino delgado, entonces este llega al intestino grueso con el potencial de causar cólicos. La causa número uno de muertes por cólicos en equinos es una sobrecarga de almidón por mal manejo alimenticio (Hudson *et al*., 2001).

Los forrajes son de gran importancia en las raciones para caballos. Al menos debe proporcionarse 1 % del peso vivo en base seca (Pagan, 2009). Al formular una ración para caballos debe buscar el máximo nivel de forraje en la ración, complementar con energía, proteína y minerales. Se pueden usar pastos como el Orchard, henos de avena o de trigo, pajas y rastrojos, leguminosas como la alfalfa. En la alimentación de equinos se han usado otras fuentes fibrosas para sustituir forraje como la cascarilla de soya, pulpa de cítricos deshidratada, harina de alfalfa. Se consideran de mala calidad las pajas lignocelulósicas molidas y los desperdicios de arroz. Si solo se alimenta con forrajes y cuando no se puede realizar una formulación, se recomienda añadir de 30 a 120 gramos de suplemento mineral al día o de 0.5 a 1 kg de alimento concentrado comercial por día para completar las posibles deficiencias de nutrientes de los caballos.

Entre los principales granos que se usan en la alimentación de caballos se encuentran la avena, el maíz, la cebada, el sorgo y el trigo (de estos dos últimos se recomienda usar menos del 30 % en la ración) y se recomiendan procesados (rolados, flakeados) (Sirois, 2009). Debemos tener presente que en los caballos es importante que se dé la mayor digestión del almidón del grano en el intestino delgado y que lleguen pocas cantidades al intestino grueso para evitar fermentación y problemas de cólicos.

Los caballos no tienen vesicular biliar, sin embargo, pueden tolerar hasta un 20 % de grasas en la ración. Se sugiere incluir como máximo un 15 %, pues la digestiblidad de las grasas es alrededor del 90 %, puede modificar la tasa de pasaje y pueden reducir el consumo. Se pueden usar para suplementar calorías en caballos que estén sometidos a un trabajo fuerte (Martínez, 2008). Se han usado grasas animales (sebo y manteca) y vegetales (aceites de maíz, soya, cacahuate,

coco, cártamo, linaza y canola). El aceite vegetal es más digestible (85-90%), mientras que la grasa animal es variable en su digestibilidad (50-90%) y, en ocasiones, menos palatable (Cabello, 2009).

Con relación a la proteína, es importante evaluar la cantidad y la calidad. Para caballos jóvenes y lactantes, la lisina, la metionina y el triptófano son importantes y se consideran como limitantes. Algunas fuentes comunes usadas en la elaboración de alimentos para caballos se encuentran las pastas de soya, girasol, linaza, algodón, cacahuate, el gluten de maíz, el suero y la leche deshidratada descremada.

Los minerales deben recibir atención en la formulación de raciones para caballos. En general, el aporte de Ca y P es adecuado en forrajes de calidad, pero debe checarse que la relación se encuentre entre 1.5:1 y 2:1. Los granos tienen mayor contenido de P, pero son bajos en Ca. Los requerimientos de Na, generalmente se pueden cubrir con sal. El uso de bloques minerales puede ayudar para cubrir los requerimientos de los caballos, pero debe checarse que cuenten con elementos traza como Fe, Zn, Cu y Se.

También deben checarse las vitaminas en la ración y tener presente que las liposolubles (A, D, E y K) pueden almacenarse en el cuerpo, mientras que las hidrosolubles tienen que suministrarse en forma continua (complejo B, niacina, tiamina y riboflavin). Los forrajes frescos de alta calidad permiten aportar las vitaminas para mantenimiento para caballos adultos, sin embargo, los henos son deficientes en vitamina A por lo que deben suplementarse (Saenz, 2004).

En el cuadro 71.2, se muestran algunas necesidades estimadas de nutrientes para las distintas etapas fisiológicas por kg de alimento. Esta es una recopilación modificada de varias fuentes, como NRC (2007), Ohio State University (2014), University of Minnesota y pueden ajustarse de acuerdo con las características particulares. El consumo de lisina se estimó como un 3.5% de la proteína (Pagan y Nash, 2009). Para confirmar que se cumplen los requerimientos, se sugiere que una vez formulada la ración y conociendo el consumo voluntario, se proceda a estimar el requerimiento de nutrientes por día con el simulador en línea del NRC (http://nrc88.nas.edu/nrh/). El suministro de agua debe cuidarse en los caballos debido a todas las funciones fisiológicas, al menos deben proporcionarse 2 litros/100 kg de peso vivo.

El consumo de alimento es un aspecto de gran importancia para la alimentación de caballos. A nivel mantenimiento, se puede proporcionar alrededor de 1.5% del peso vivo, sin embargo, debe tenerse presente que existen efectos

ambientales, diferencias individuales y los efectos de la concentración de la energía en el consumo. Los caballos maduros se pueden alimentar con un total de 1.5 a 2.0% de su peso vivo con forraje y de concentrado de 0 a 0.5%, mientras que los geriátricos, el forraje puede constituir 0.8 a 2.0% de su peso y el concentrado de 0.5 a 2.0%, llegando a consumir de 1.5 a 3.0% de su peso vivo (Equi-analytical laboratorios, 2004).

Problemas de cólicos

El cólico es una de las enfermedades más importantes del caballo, caracterizada por dolor abdominal como signo clínico. En muchos casos, está asociado a la sobrealimentación con grano o a la presencia de enterolitos, pero los estudios epidemiológicos han mostrado factores externos e internos que afectan la presencia de esta enfermedad, como raza, edad, sexo, entre otros (White, 2007).

Los alimentos y la actividad alimentaria han sido asociados con la incidencia de cólicos. El uso de forraje molido de baja digestibilidad se ha asociado a cólico por impactación. La sobrealimentación con grano causa riesgos de cólicos y laminitis (acidosis). Los granos y cambios de alimentación, por ejemplo, incrementar de 2.5 a 5.0 kg de concentrado aumenta el riesgo de 5 a 6 veces más, comparado con caballos que no reciben grano. Los alimentos peletizados pueden predisponer más a la presentación del problema. Los caballos que reciben concentrado tienen más riesgo que los que solo son alimentados con forrajes. El pastoreo sin acceso a agua predispone a la presencia de cólicos. La formación de enterolitos se ha relacionado a la dieta y al consumo de minerales (White, 2007).

Algunas recomendaciones de manejo para prevención de cólicos incluyen el mantener un forraje de calidad y ejercicio rutinario. Si se usa concentrado preferentemente debe darse en dos o tres comidas y el consumo de grano debe ser limitado. Se recomienda que los caballos tengan su revisión anual de dentadura y en animales geriátricos cada seis meses. Deben mantener sus calendarios de desparasitación. Es importante iniciar estudios de metagenómica que nos permitan identificar fitobióticos, probióticos y otros aditivos que permitan reducir la incidencia de los cólicos.

Cuadro 71.2 Recomendaciones de nutrientes para la formulación de raciones para caballos en distintas etapas fisiológicas o trabajo

Nutrientes	Gestación		Lactancia		Crecimiento (potros)			
	< 9 meses	10-11 meses	3 meses	3 meses al destete	4 meses	Destete 6 meses	1 año	18 meses
Proteína %	8.9	9.5	12	10	13.1	13	11.3	10.8
Ca %	0.39	0.41	0.47	0.33	0.62	0.5	0.39	0.32
K %	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Mg %	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
P %	0.3	0.3	0.3	0.2	0.34	0.28	0.21	0.18
Na %	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.20	0.
Selenio mg/kg	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
Cobre mg/kg	20	20	20	20	20	20	20	20
Zinc mg/kg	40	60	60	60	60	60	40	40
Cobalto mg/kg	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Yodo mg/kg	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1
Hierro mg/kg	50	50	50	50	50	50	50	50
Manganeso mg/kg	40	60	60	60	40	40	40	40
Lisina %	0.31	0.33	0.60	0.60	0.53	0.45	0.39	0.37
Vitamina E UI/kg	160	160	160	160	160	88.30	88.30	88.30
Vitamina A UI/kg	3333	3289	3289	3289	2008	2008	2008	2008
ED Mcal/kg	2.428	2.649	2.649	2.428	2.869	2.759	2.538	2.428
Forraje %	80	70	50	65	30	30	40	55

Nutrientes	Gestación		Lactancia		Crecimiento (potros)			
	< 9 meses	10-11 meses	3 meses	3 meses al destete	4 meses	Destete 6 meses	1 año	18 meses
TND %	54	56	60	57	64	64	62	59
Azufre %	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Sal %	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

ED: energía digestible; TND: total de nutrientes digestibles.

Cuadro 71.3 Recomendaciones de nutrientes para la formulación de raciones para caballos adultos por actividad

	Mantenimiento	2 años	Trabajo ligero	Moderado	Intenso
Proteína %	7.2	10.1	8.8	9.4	10.3
Ca %	0.21	0.31	0.27	0.28	0.31
K %	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Mg %	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
P %	0.15	0.15	0.2	0.2	0.2
Na %	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Selenio mg/kg	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cobre mg/kg	20	20	20	20	20
Zinc mg/kg	40	40	40	40	40
Cobalto mg/kg	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Yodo mg/kg	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Hierro mg/kg	50	50	50	50	50
Manganeso mg/kg	40	40	40	40	40
Lisina %	0.25	0.3535	0.308	0.329	0.3605
Vitamina E UI/kg	50	55	55	55	55
Vitamina A UI/kg	1655	2008	2008	2008	2008
ED Mcal/kg	2.207	2.428	2.428	2.649	2.869
Forraje %	100	50	65	50	35
Concentrado %	0	50	35	50	65
TND %	50	60	57	60	65
Azufre %	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Sal %	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

ED: energía digestible; TND: total de nutrientes digestibles.

Desde el punto de vista de manejo nutricional, para prevenir cólicos se recomienda que los caballos tengan acceso constante a agua fresca, que consuman al menos 60% de forraje en la dieta y que se mantengan al mínimo los concentrados. Se recomienda 1.5 kg de forraje (tallo largo) por cada 100 kg de peso vivo y dividir el concentrado en tres o más comidas (Geor y Harris, 2007).

Los cambios en la dieta deben ser graduales en períodos de 7 a 10 días. Si existe alta incidencia de cólicos (más de 10 casos por cada 100 caballos al año), debe analizarse cuidadosamente la dieta en términos de energía, proteína, fibra,

y carbohidratos solubles, etc. Analizar cada ingrediente, pues aún los salvados pueden contener importantes cantidades de carbohidratos solubles en función de su proceso de producción (White, 2007). El uso de grasas como aceites vegetales pueden ser incorporados como fuente de energía para evitar uso de carbohidratos (Geor y Harris, 2007). Algunos autores han recomendado el uso de bicarbonato de sodio para evitar la acidez (Pagan *et al.*, 2007). Otros han usado probióticos y prebióticos para prevenir el problema (Landes *et al.*, 2007).

Consumo en caballos

En un metaanálisis sobre consumo en caballos, Edouard *et al.* (2008) usaron resultados de 45 experimentos donde se había medido la digestibilidad y el consumo, y los resultados mostraron que el consumo disminuye ligeramente al incrementar los niveles de fibra y no hay efectos del contenido de proteína sobre la digestibilidad. En general, los caballos muestran variabilidad individual, pero el consumo se incrementa al disminuir la digestibilidad y el contenido de proteína y se incrementa con el nivel de fibra. La calidad del forraje explica poco la variación del consumo en caballos, pero la variabilidad individual es de gran importancia y hace que algunos caballos muestren compensación a la calidad del forraje. Algunos compensan el consumo en dietas de bajo valor nutritivo, mientras que otros no lo hacen con las consecuentes deficiencias en energía y proteína. Esto nos lleva en términos prácticos a que la evaluación de raciones se haga de dos formas, por concentración en 1 kg y por balance de nutrientes, midiendo o estimando el consumo.

Evaluación de raciones y balance de nutrientes

Cuadro 71.4 Ración usada en caballos lactantes (500 kg de peso vivo)

Alimento	kg base húmeda consumida	% MS	kg MS consumida	Ración kg/kg
Concentrado comercial	2.5	88.0	2.2	0.1430
Alfalfa heno	1.9	90.05	1.719	0.1120
Paja de avena	12.4	92.2	11.432	0.7447
Total	24.8		15.352	

MS: materia seca.

Como ejemplo, usaremos la ración del cuadro 71.4 que se usa en yeguas lactantes, las cuales están perdiendo peso, y donde se puede apreciar que el consumo

es del 2.25% del peso vivo. De acuerdo con las recomendaciones del cuadro 71.3, al menos debería de tener entre 35 y 50% de concentrado y se puede apreciar que el concentrado representa 19.48% de la ración en base seca. Esto nos indica que puede haber deficiencias de energía y otros nutrientes.

Para un diagnóstico inicial, usaremos la composición del cuadro 71.4 para estimar el aporte de nutrientes por kg de materia seca. Cada nutriente lo multiplicamos por su proporción en cada kg y sumamos el aporte (cuadro 71.5), después comparamos con las recomendaciones necesarias por kg de alimento. En el cuadro 71.6 se pueden apreciar deficiencias en proteína, lisina, cobre, energía digestible y vitamina E.



Cuadro 71.5 Composición de los alimentos consumidos por las yeguas lactantes (base seca)

	Paja avena	Alfalfa	Concentrado
Materia seca %	90.88	90.89	90.00
Proteína cruda %	5.72	21.27	13.33
Lisina %	0.0	0.81	0.60
Fibra detergente ácido %	33.14	30.38	19.44
Fibra detergente neutro %	59.18	38.71	25.00
Fibra cruda %	24.77	20.09	11.11
Carbohidratos solubles en agua %	16.68	9.18	
Azúcares simples %	11.38	7.44	
Almidón %	4.99	1.84	35.00
Carbohidratos no estructurales %	22.11	11.00	60.50
Grasa cruda %	2.32	2.42	2.22
Cenizas %	7.25	10.56	11.11
Ca %	0.31	1.53	0.78
P %	0.21	0.27	0.94
Mg %	0.15	0.30	0.41
K%	1.73	2.36	0.94
Na %	0.40	0.14	0.50
Fe mg/kg	250.00	16.15	466.67
Zn mg/kg	19.25	27.90	411.11
Cu mg/kg	7.71	8.90	52.22
Mn mg/kg	62.06	36.50	422.22
Mo mg/kg	0.74	1.90	
Co mg/kg	0.13	0.46	1.78
Se mg/kg		0.5	0.81
I mg/kg		0.15	5.5
S %	0.14	0.27	
Cl %	0.93	0.73	
ED Mcal/kg	1.97	2.63	2.94
Total de nutrientes digestibles %	44.68	59.66	70.00
Vitamina E UI/kg	-	96.00	270.00
Vitamina A UI/kg	-	100000	22750

Cuadro 71.6 Aporte de nutrientes por alimento y comparación con requerimientos de yeguas lactantes

	Paja avena	Alfalfa	Concentrado	Aporte	Requerimientos
kg/kg	0.745	0.112	0.143	1.000	
PC %	4.26	2.38	1.91	8.55	12
Lisina	0.00	0.09	0.09	0.18	0.42
Almidón %	3.72	0.21	5.02	8.94	
Grasa cruda %	1.73	0.27	0.32	2.32	
Cenizas %	5.40	1.18	1.59	8.17	
Ca %	0.23	0.17	0.11	0.51	
P %	0.16	0.03	0.13	0.32	0.3
Mg %	0.11	0.03	0.06	0.20	0.09
K %	1.29	0.26	0.13	1.69	0.4
Na %	0.30	0.02	0.07	0.39	0.2
Fe ppm	186.17	1.81	66.87	254.86	50
Zn ppm	14.34	3.12	58.91	76.37	60
Cu ppm	5.74	1.00	7.48	14.22	20
Mn ppm	46.22	4.09	60.50	110.81	60
Mo ppm	0.55	0.21	0.00	0.76	
Co ppm	0.10	0.05	0.26	0.40	0.1
Se ppm	0.00	0.06	0.12	0.17	
I ppm	0.00	0.02	0.79	0.80	0.1
Cl %	0.69	0.08	0.00	0.77	
S %	0.10	0.03	0.00	0.13	0.15
ED Mcal/kg	1.47	0.29	0.42	2.18	2.64
TND %	33.27	6.68	10.03	49.99	60
Vitamina E UI/kg	0.00	10.75	38.61	49.36	160
Vitamina A k UI/kg	0.00	11.20	3260.10	3271.30	3289

La segunda etapa del diagnóstico se hace con los consumos de nutrientes por día. Para eso se usa el programa de NRC en línea http://nrc88.nas.edu/nrh/, donde se especifica el peso del caballo, la etapa de lactación (3 meses), el consumo como porcentaje de peso vivo y se estiman los nutrientes aportados (cuadro 71.7). El programa no muestra requerimiento de almidón, pero ese lo estimamos como el límite máximo como el 0.4% del peso vivo. Se debe tener

precaución con las bases de datos y modelos con las unidades de las vitaminas, pues muchas reportan las concentraciones de la vitamina A y D en kilo UI (miles de unidades).

Cuadro 71.7 Nutrientes al día estimados por NRC para caballos lactantes de 500 kg en los 3 meses de lactación (consumo 2.25% del peso vivo)

Nutrientes	Requerimiento
Energía digestible Mcal/d	30.61
Proteína cruda g/d	1468
Lisina g/d	80
Almidón max g/d	2000
Ca g/d	56
P g/d	36
Mg g/d	10.86
K g/d	45.9
Na g/d	12.5
S g/d	16.9
Cl g/d	45.5
Fe g/d	562.5
Zn mg/d	450
Cu mg/d	125
Mn mg/d	450
Co mg/d	0.6
Se mg/d	1.13
I mg/d	3.9
Vitamina E UI/d	1000
Vitamina A UI/d	30000

Para estimar el aporte, hacemos los siguientes cálculos basados en la concentración en 1 kg (cuadro 71.8). Para los nutrientes que tenemos en porcentaje como ejemplo para proteína cruda, la ración contiene 9.57%, el consumo de materia seca de las yeguas es de 11.28 kg/d (cuadro 71.9), entonces el aporte de gramos de proteína al día sería:

$$\text{Aporte de nutriente}(g/d) = (\text{consumo MS kg/d})[(\text{nutriente \%}/100) \times 1000]$$

$$\text{Aporte de proteína} = 15.352[8.55/100][1000] = 1312 \text{ g/d}$$

Entonces el aporte es de 1312 g/d de proteína, mientras que el requerimiento es de 1468 g/d, lo que nos da una deficiencia de -155 g/d. Esto corrobora lo que se diagnosticó al analizar la dieta por kg, un déficit de proteína.

Para estimar el aporte de nutrientes que se expresan por kg como la ED, los minerales trazan en mg por kg y para las vitaminas en unidades internacionales por kilogramo, para lo cual se ejemplifica con la vitamina E que tiene 49.36 UI/kg:

$$\text{Aporte de vitamina(UI/d)} = (\text{consumo MS kg/d})(\text{vitamina UI/kg})$$

$$\text{Aporte de vitamina E} = [15.352][49.44] = 757.8 \text{ UI/d}$$

Si el requerimiento son 1000 UI/d, se tiene una deficiencia de vitamina E que podría subsanarse con inyección intramuscular al inicio de la lactancia o incluyendo alguna premezcla vitamínica. En el cuadro 71.8 se muestran los aportes para todos los nutrientes que nos permiten tener el diagnóstico casi completo de la ración (se deben de considerar las vitaminas del complejo B).

Al tener los nutrientes de la ración, debe tener presente que el tipo y cantidad de carbohidratos dietarios pueden afectar la salud de los caballos. Además de estimar el contenido de almidón sería recomendable estimar el resto de los carbohidratos no fibrosos (azúcares, pectinas, fructanos, beta glucanos y) las paredes ceulares (FDN, FDA, celulosa, lignina). También debe de estimarse el aporte de lípidos, dado que es una fuente que puede usarse para aportar energía para el caballo. En estos diagnosticos se hace poca referencia al agua, pero es indispensable que los caballos tengan acceso *ad libiturm* a agua fresca y limpia.

Al igual que en otras especies, usamos como referencias los requerimientos de nutrientes de los caballos que presenta el NRC, donde se recomienda revisar las necesidades de vitaminas A, D, E y las vitaminas B (tiamina y riboflavina). Debido a las funciones de las vitaminas en el metabolismo, tener presente que bajo ciertas condiciones se pueden aportar vitaminas sobre los requerimientos de NRC y obtener beneficios.

Cuadro 71.8 Nutrientes al día estimados por NRC para caballos lactantes de 500 kg en los 3 meses de lactación (consumo 3.07 % PV)

	Contenido por kg	Aporte por día	Requerimiento/ día	Diferencia
ED Mcal/kg (Mcal)	2.64	40.53	30.61	9.92
PC % (g)	8.55	1312.95	1468	-155
Lisina % (g)	0.18	27.13	80	-52.87
Almidón % (g)	8.94	1372	< 200	1172
Ca % (g)	0.51	78.91	56	22.91
P % (g)	0.32	49.33	36	13.33
Mg % (g)	0.20	31.33	10.86	20.47
K % (g)	1.69	259.05	45.9	213.15
Na % (g)	0.39	59.14	12.5	46.64
S % (g)	0.13	20.65	12.5	8.15
Cl % (g)	0.77	118.88	45.5	73.38
Fe mg/kg (mg)	254.86	391.2	562.5	3350
Zn mg/kg (mg)	76.37	1172	450	722
Cu mg/kg (mg)	14.22	218	125	93
Mn mg/kg (mg)	110.81	1701	450	1251
Co mg/kg (mg)	0.40	6.19	0.6	5.59
Se mg/kg (mg)	0.17	2.64	1.13	1.51
I mg/kg (mg)	0.80	12.38	3.9	8.46
Vitamina E UI/kg (UI)	49.36	759.07	1000	-240
Vitamina A UI/kg (UI)	3271	50221	30000	20221

ED: energía digestible. Las unidades entre paréntesis corresponden a la columna del aporte y a las de la diferencia. Los valores negativos en la última columna son nutrientes deficientes.

Ahora se puede comprobar que la ración tiene deficiencias de proteína, lisina y vitamina E. El contenido de Fe es excesivo y podría interferir con la absorción de otros minerales. Se podría incluir un poco de pasta de soya o un mayor consumo de concentrado o de alfalfa se podría resolver la deficiencia de lisina.

Un aspecto importante en alimentación de caballos es la estimación correcta del consumo, pues esta especie muestra una gran variación en el mismo, lo cual puede modificar el balance de nutrientes, y es por eso que se requiere de hacer el diagnóstico nutricional por kilogramo y por consumo de nutrientes al día.



Ejercicio 71

Balance de nutrientes en dietas de equinos

La ración del cuadro 71.9 se está suministrando a caballos de 3 años con trabajo moderado, los cuales están mostrando pérdidas de peso del orden de 80 g/d. Realice una evaluación de la ración por kg y un balance nutricional estimando los requerimientos diarios del NRC. Considere la composición de los alimentos del cuadro 71.5.

Cuadro 71.9 Ración usada en caballos de 3 años (500 kg de peso vivo)

Alimento	kg base húmeda consumidos	% MS	kg MS consumidos	Ración kg/kg
Concentrado comercial	3.319	88.0		
Alfalfa heno	2.523	90.5		
Paja de avena	10.62	92.2		
Total	16.46			

MS: materia seca.

Resultados ejercicio 71

Cuadro 71.10 Cálculo de consumo de materia seca de la ración de caballos (500 kg de peso vivo)

Alimento	kg base húmeda consumidos	% MS	kg MS consumidos	Ración kg/kg
Concentrado comercial	3.319	88.0	2.921	0.1948
Alfalfa heno	2.523	90.5	2.283	0.1522
Paja de avena	10.62	92.2	9.795	0.6530
Total	16.46		15.0	1.0

MS: materia seca.

De acuerdo con el diagnóstico por kg, se pueden detectar deficiencias de Zn, Cu, Mn, Co, vitamina E y yodo (cuadro 71.11), pero deben de confirmarse con el balance de nutrientes dado que el consumo es elevado.

Cuadro 71.11 Aporte de nutrientes por kg de alimento en ración de caballos

	Paja avena	Alfalfa	Concentrado	Total	Requerimiento
kg/kg	0.653	0.1522	0.1948	1	
ED Mcal/kg	1.29	0.40	0.57	2.26	2.64
Proteína cruda %	3.74	3.24	2.34	9.31	9.4
Lisina %	-	0.12	0.12	0.24	0.32
Almidón %	3.26	0.28	6.82	10.35	
Ca %	0.20	0.23	0.24	0.68	0.28
P %	0.13	0.04	0.19	0.37	0.40
Mg %	0.10	0.05	0.06	0.20	0.09
K %	1.13	0.36	0.15	1.63	0.20
Na %	0.26	0.02	0.10	0.38	0.20
Fe mg/kg	163.25	2.46	38.96	204.67	50
Zn mg/kg	12.57	4.25	7.79	24.61	40
Cu mg/kg	5.04	1.35	3.90	10.29	20
Mn mg/kg	40.53	5.56	65.65	111.73	40
Co mg/kg	0.08	0.07	0.04	0.19	0.10
S %	0.09	0.04	0.04	0.17	0.15
Vitamina E UI/kg	-	10.75	38.61	49.36	55

Vitamina A UI/kg	-	11200	3253	3271	2008
Se %	-	0.08	0.04	0.12	0.10
I mg/kg	-	0.02	0.86	0.88	0.10
Forraje %					0.50
TND %	29.18	9.08	13.64	51.89	60

ED: energía digestible; TND: total de nutrientes digestibles.

Cuadro 71.12 Nutrientes al día estimados por NRC para caballos de 500 kg con trabajo moderado (consumo 3% PV)

	Contenido por kg	Aporte	Requerimiento	Diferencia
ED Mcal	2.26	25.50	16.05	9.45
Proteína cruda (g)	9.31	1050.17	630.00	420.17
Lisina (g)	0.24	27.09	27.00	0.09
Almidón (g)	10.35	1167	< 2000	Adecuado
Ca (g)	0.68	76.57	20.00	56.57
P (g)	0.37	41.71	14.00	27.71
Mg (g)	0.20	23.08	7.50	15.58
K (g)	1.63	184.43	14.00	170.43
Na (g)	0.38	42.83	10.00	32.83
S (g)	0.17	18.99	22.50	- 3.51
Cl (g)	0.72	80.81	40.00	40.81
Fe (mg)	204.67	2,308.66	600.00	1,708.66
Zn (mg)	24.61	277.59	600.00	- 322.41
Cu (mg)	10.29	116.05	100.00	16.05
Mn (mg)	111.73	1,260.29	600.00	660.29
Co (mg)	0.19	2.19	0.80	1.39
Se (mg)	0.12	1.30	1.50	- 0.20
I (mg kg)	0.88	9.93	5.30	4.63
Vitamina E (UI)	49.36	757.8	500.00	257.80
Vitamina A (IU)	3271	50220	15000	35220

ED: energía digestible.

Al realizar el balance por consumo de nutrientes, se puede detectar una ligera deficiencia de azufre más severa de Zn y de selenio. Las deficiencias minerales se pueden resolver con algún bloque mineral. Si se incrementa la carga de trabajo se requerirá más energía, la cual debería ser incluida en forma de aceite o un poco más de grano sin sobrepasar el límite de almidón recomendado.



Balance nutricional en cabras

Las cabras las encontramos en sistemas de explotación extensiva e intensiva, por lo que el balance nutricional o el diagnóstico varían con el sistema de producción. Los requerimientos nutricionales de NRC (2007) pueden ser útiles para hacer diagnósticos en sistemas intensivos y darnos una base para los extensivos donde debemos de considerar que los requerimientos de energía pueden incrementarse por actividad y pastoreo y además se requieren de estudios de la composición botánica de la dieta con base en estudios microhistológicos (Franco *et al.*, 2005; Mellado *et al.*, 2005). La diversidad racial de las cabras, algunas con poco potencial productivo pero con gran adaptación a condiciones adversas (Franco *et al.*, 2005) hasta cabras lecheras seleccionadas (Flores *et al.*, 2009), así como la selectividad que hacen las cabras (Camacho *et al.*, 2010b) hacen que el diagnóstico deba considerar todos estos aspectos.

Uso de tablas del NRC de cabras

Para ejemplificar el uso de las tablas del NRC, usaremos datos de cabras cruzadas de Toggenburg, Sannen y Alpino francés de primer parto, que recibieron la dieta presentada en el cuadro 72.1, donde los resultados de producción y cambios de peso en un periodo de 110 días se presentan en el cuadro 72.2.

Cuadro 72.1 Composición de la ración suministrada a cabras lactantes de primer parto

	kg / kg
Ensilado de maíz	0.50
Heno de avena	0.186
Heno de alfalfa madura	0.1
Maíz grano	0.08
Pasta de soya	0.025
Grano de sorgo molido	0.05
Pasta de coco	0.01
Melaza de caña	0.025
Fosfato dicálcico	0.005
Premezcla mineral	0.014
Bicarbonato de Na	0.005
Total	1

Cuadro 72.2 Consumo de materia seca, producción y composición de leche promedio en 110 días

Peso inicial kg	47.3
Peso final kg	46.8
Cambios de peso g/d	-5
Consumo de materia seca kg/d	1.51
Leche kg/d	1.66
Grasa %	3.01
Proteína %	3.61
Sólidos no grasos %	7.83

Como se puede apreciar, las cabras estuvieron en un balance negativo, por lo que se hace un balance de nutrientes para conocer las posibles deficiencias que llevaron a esta condición. Primero se estima el contenido de nutrientes usando los valores de composición de las tablas de composición de alimentos comunes 15-11 NRC (2007). La composición de la premezcla debe tomarse de la etiqueta o de la formulación. Los valores se presentan en el cuadro 72.3 donde podemos apreciar que las tablas del NRC (2007) no presentan los valores de varios minerales. La concentración de minerales de Na, Mg, Mn, Se, Co, Cu, I y Fe se

puede obtener del NRC de pequeños rumiantes (2007) y el resto de la de bovinos (NRC 1996).

En el cuadro 72.4 se presenta el aporte de cada nutriente, el cual se obtiene de multiplicar el contenido de la dieta por kilogramo (cuadro 72.1) por sus nutrientes (cuadro 72.3) que tenemos la concentración de nutrientes por kilogramo de materia seca. La degradación de la proteína está en porcentaje de la materia seca (6.08 %) por lo que al dividirlo entre la proteína de la ración (10.01 %) nos indicaría que la PC de la ración tiene una degradabilidad del 60.76 %.

El siguiente paso es multiplicar el consumo de materia seca observado (cuadro 72.2) por cada nutriente y comparar con el requerimiento de las tablas para estimar cual o cuales nutrientes estaban posiblemente deficientes o en exceso, que pudieran explicar la pérdida de peso en las cabras. En el cuadro 72.4 se presenta el resultado de multiplicar cada nutriente por el consumo, dependiendo de las unidades con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Aporte de macro nutriente}(g/d) = (\text{consummo MS kg/d})[(\text{nutriente \%}/100) \times 1000]$$

$$\text{Aporte de elemento traza}(mg/d) = (\text{consummo MS kg/d})(\text{elemento mg/kg})$$

$$\text{Aporte de vitamina}(UI/d) = (\text{consummo MS kg/d})(\text{vitamina UI/kg})$$

$$\text{Aporte de energía}(Mcal/d) = (\text{consummo MS kg/d})(\text{energía Mcal/kg})$$

El resultado de aporte se presenta en el cuadro 72.5 donde se presenta el requerimiento más cercano al peso y al estado fisiológico para hacer el diagnóstico. Para eso se usó la tabla 15-4 del NRC (2007). Es importante señalar que posiblemente no exista un estado fisiológico idéntico al que se está evaluando, por lo que se debe usar el criterio y seleccionar el más cercano, por ejemplo, en este caso de seleccionó el de adultas lecheras a mitad de lactancia con una cría y una producción de leche entre 1.47 a 2.3 kg/d. El requerimiento de cada nutriente se contrasta con el aporte en función del consumo. El consumo esperado es menor y se detectan posibles deficiencias de EM, calcio, vitamina E, azufre, selenio y zinc, que en general explican el balance negativo observado en las cabras. Hay unas diferencias menores no significativas de proteína degradable y fósforo.

Cuadro 72.3 Contenido de nutrientes de los alimentos obtenidos de las tablas del NRC (2007) para pequeños rumiantes

	Ensilado de maíz	Heno de avena	Heno de alfalfa	Maíz grano	Pasta de soya	Grano de sorgo	Pasta de coco	Melaza de caña	Fosfato dicálcico	Premezcla Mineral	Bicarbonato de Na
MS %	26	90	88	88	91	89	92	76	97	99	97
EM Mcal/kg	2.4	2	1.8	3.2	3	3	2.6	2.7			
PC %	8	10	13	9	49	11	21	6			
DP %	4.2	6	8.7	5.1	41.1	6.9	15.9	2.4			
PM %	5.6	7	9.1	6.3	34.3	7.7	14.7	4.2			
UIP %	1.4	2.5	3.9	5.2	17.2	6.1	11.8	0			
Ca %	0.28	0.4	1.18	0.02	0.38	0.04	0.63	1.1	16.7		
P %	0.23	0.27	0.19	0.3	0.71	0.32	0.21	0.15	21		
K %	1.1	1.6	1.5	0.4	2.3	0.4	0.6	3.6	0.1	0.05	
Cl %	0.2	0.42	0.35	0.05	0.07	0.1	0.33	3	0	10	
S %	0.12	0.21	0.21	0.12	0.45	0.14	0.04		1.2	8.2	
Na %	0.03	0.18	0.08	0.01	0.03	0.04	1.8	0.22	0	6.5	27.37
Zn ppm	22	28	23	18	62	18		30	70	3000	
Mg %	0.22	0.29		0.12	0.7	0.14	0.65	0.42	0	0.75	
Mn ppm	41.1	99	38.5	7.9	20	17.9	750	59	0	200	
Se ppm	0	0	0.55	0.14	2.3	0.23	0.30	0	0	2	
Co ppm	0.1	0.07	0.41	0.31	0	0.53	0.37	1.59	0	1.5	
Cu ppm	5.4	4.8	13.7	2.51	4	4.9	0.14	65.7	0	4000	
I ppm	0	0	170	0.03	0	0.07	18.2	2.1	0	0	
Fe ppm	180	406	38.5	54.3	33	60	0	263	0	0	
Vit A UI/kg	5922	5600	2400			131.6				3500	
Vit E UI/kg					3	12				150	

MS: materia seca; EM: energía metabolizable; PC: proteína cruda; DP proteína degradable en rumen como porcentaje de la MS; PM: proteína metabolizable; UIP: proteína no degradable en rumen como porcentaje de MS.

Cuadro 72.4 Aporte de nutrientes considerando la información del NRC de ganado de carne y la de pequeños rumiantes

	Ensilaje de maíz	Heno de avena	Heno de alfalfa	Maíz grano	Pasta de soya	Grano de sorgo	Pasta de coco	Melaza de caña	Fosfato dicálcico	Premezcla Mineral	Bicarbonato de Na	Total
EM Mcal/kg	1.2	0.372	0.18	0.256	0.075	0.15	0.026	0.0675	0	0	0	2.3265
PC %	4	1.86	1.3	0.72	1.225	0.55	0.21	0.15	0	0	0	10.015
DP %	2.1	1.116	0.87	0.408	1.0275	0.345	0.159	0.06	0	0	0	6.0855
PM %	2.8	1.302	0.91	0.504	0.8575	0.385	0.147	0.105	0	0	0	7.0105
UIP %	0.7	0.465	0.39	0.416	0.43	0.305	0.118	0	0	0	0	2.824
Ca %	0.14	0.0744	0.118	0.0016	0.0095	0.002	0.0063	0.0275	0.0835	0	0	0.4628
P %	0.115	0.05222	0.019	0.024	0.01775	0.016	0.0021	0.00375	0.105	0	0	0.35282
K %	0.55	0.2976	0.15	0.032	0.0575	0.02	0.006	0.09	0.0005	0.00025	0	1.2043
Cl %	0.1	0.07812	0.035	0.004	0.00175	0.005	0.0033	0.075	0	0.14	0	0.44217
S %	0.06	0.03906	0.021	0.0096	0.01125	0.007	0.0004	0	0.006	0.1148	0	0.26911
Na %	0.015	0.03348	0.008	0.0008	0.00075	0.002	0.018	0.0055	0	0.091	0.13685	0.31138
Zn ppm	11	5.208	2.3	1.44	1.55	0.9	0	0.75	0.35	42	0	65.498
Mg %	0.11	0.05394	0	0.0096	0.0175	0.007	0.0065	0.0105	0	0	0	0.2255
Mn ppm	20.55	18.414	3.85	0.632	0.5	0.895	7.5	1.475	0	2.8	0	56.616
Se ppm	0	0	0.055	0.0112	0.0575	0.0115	0.003	0	0	0.028	0	0.1662
Co ppm	0.05	0.01302	0.041	0.0248	0	0.0265	0.0037	0.03975	0	0.021	0	0.21977
Vit A UI	2961	1041.6	240	0.08	0	6.58	0.53	0	0	49	0	4298.79

	Ensilaje de maíz	Heno de avena	Heno de alfalfa	Maíz grano	Pasta de soya	Grano de sorgo	Pasta de coco	Melaza de caña	Fosfato dicálcico	Premezcla Mineral	Bicarbonato de Na	Total
Vit E UI	0	0	0	2	0.075	0.6	0	0.175	0	2.1	0	4.95
Cu ppm	2.7	0.8928	1.37	0.2008	0.1	0.245	0.0014	1.6425	0	56	0	63.1525
I ppm	0	0	17	0.0024	0	0.0035	0.182	0.0525	0	0	0	17.2404
Fe ppm	90	75.516	3.85	4.36	0.825	3	0	6.575	0	0	0	184.126
Vit E UI/kg					3	12				150		

EM: energía metabolizable; PC: proteína cruda; DP proteína degradable en rumen como porcentaje de la MS; PM: proteína metabolizable; UIP: proteína no degradable en rumen como porcentaje de MS.

Cuadro 72.5 Consumo de nutrientes y requerimientos de las cabras con base en las tablas del NRC

	Observado	Requerimiento NRC Media lactancia, una cría	Diferencia
Peso inicial kg	47.3		
Peso final kg	46.8	40	
Leche kg/d	1.66	1.47 a 2.3	
Grasa %	3.01		
Consumo kg/d	1.51	1.96	
EM Mcal/d	3.540	3.74	
PC 40% UIP g/d	152.59	100	
PM g/d	106.81	71	
DIP g/d	92.71	93	
Ca g/d	7.04	9.4	
P g/d	5.36	5.9	
Vit A RE/d	6448	2140	
Vit E UI/d	5	224	
Requerimiento 1.99 a 2.76 kg/d, 50 kg			
Na g/d	4.70	1.93	+2.77
Cl g/d	6.68	4.11	+2.57
K g/d	18.40	14.4	+3.78
Mg g/d	3.41	2.4	+1.01
S g/d	4.06	6.4	-2.34
Co mg/d	0.33	0.27	+0.06
Cu mg/d	95.36	37	+58.36
I mg/d	26.03	1.98	+24.05
Fe mg/d	278.03	48	+230.03
Mn mg/d	85.49	32	+53.49
Se mg/d	0.25	0.59	-0.34
Zn mg/d	98.90	99	-0.10

EM: energía metabolizable; PC: proteína cruda; UIP: proteína no degradable en rumen; PM: proteína metabolizable; DIP: proteína degradable en rumen; RE: retinol equivalente.



Ejercicio 72

Balance nutricional en cabras

Con base en el cuadro 72.5 y al consumo observado, indique qué concentración de nutrientes por kg de material seca debería tener la ración de las cabras para evitar la deficiencia de nutrientes. Posteriormente, ajuste por medio de tanteo la ración considerando que no puede incluir más del 2% de la premezcla mineral en la ración.

Resultados ejercicio 72

Para definir la concentración de nutrientes que se requieren, se divide el requerimiento (nutriente en g/d, mg/d, UI/d o Mcal/d) entre el consumo observado, por ejemplo, se requieren 3.74 Mcal/d de EM en un consumo de 1.51 kg de materia seca, entonces la ración debe tener una concentración de 3.74/1.51=2.47 Mcal/kg. Estos cambios permiten hacer una nutrición de precisión y en algunos nutrientes tiene implicaciones ambientales, por ejemplo, se reduce la concentración de proteína lo que conlleva a que las cabras reduzcan su consumo y por lo tanto la excreción de nitrógeno al ambiente. Los resultados de los nutrientes se presentan en el cuadro 72.6.

Los ajustes que se hagan con base en el consumo y a otros nutrientes tienen el objetivo de que la mayoría de los animales en el hato cubran sus requerimientos nutricionales. Debemos tener presente que hay variaciones en el consumo y en los requerimientos de nutrientes por lo que se busca un consumo adecuado de nutrientes.

Cuadro 72.6 Concentración de nutrientes requerida para evitar deficiencias nutricionales en las cabras

	Recomendado	Ración anterior
Consumo	1.51	
EM Mcal kg	2.477	2.326
PC 40% UIP %	6.62	10.01
PM %	4.70	7.01
DIP %	6.15	6.08
Ca %	0.62	0.46
P %	0.39	0.35
Vit A RE/d	1417.22	30948
Vit E UI kg/d	148.34	4.95
Na %	0.12	0.31
Cl %	0.27	0.44
K %	0.95	1.20
Mg %	0.15	0.22
S %	0.42	0.26
Co mg kg/d	0.18	0.21
Cu mg kg/d	24.50	63.15
I mg kg/d	1.31	17.24
Fe mg kg/d	31.79	184.12
Mn mg kg/d	21.19	56.61
Se mg kg/d	0.39	0.16
Zn mg kg/d	65.56	65.49

EM: energía metabolizable; PC: proteína cruda; UIP: proteína no degradable en rumen; PM: proteína metabolizable; DIP: proteína degradable en rumen; RE: retinol equivalente.

Como siempre, es recomendable aplicar el criterio. Por ejemplo, no se recomendaría reducir la concentración de proteína a 6.62%, ni tampoco reducir la proteína metabolizable ni la DIP, por lo que una estrategia sería incrementar el consumo de energía y de minerales para mejorar el balance de nutrientes. La formulación al tanteo permite obtener muchas soluciones, para este caso, lo primero que se recomienda es subir el porcentaje de inclusión de maíz para incrementar el contenido de EM, quitar sorgo, bajar el del heno de avena que tiene menor contenido energético. Se puede subir hasta un 29% de maíz. Los requerimientos de proteína se pueden cubrir con la pasta de soya y eliminar la

pasta de coco. Se sugiere incrementar hasta 2% la premezcla mineral para reducir las deficiencias de minerales traza. Se puede incrementar el fosfato dicálcico para incrementar Ca y P. También se puede quitar el bicarbonato de sodio. La ración recomendada se presenta en el cuadro 72.7. Se recomendaría aplicar inyecciones de vitaminas A, D y E.



Cuadro 72.7 Ración propuesta para cabras modificada al tanteo

Ensilado de maíz	0.5
Heno de avena	0.026
Heno de alfalfa madura	0.08
Maíz grano	0.29
Pasta de soya	0.04
Grano de sorgo molido	0
Pasta de coco	0
Melaza de caña	0.025
Fosfato dicálcico	0.019
Premezcla mineral	0.02
Bicarbonato de Na	0
Total	1
Nutrientes por kg de materia seca	
EM Mcal	2.512
PC %	10.02
DIP %	6.14
PM %	7.01
UIP %	3.27
Ca %	0.61
P %	0.66
K %	1.01
Cl %	0.43
S %	0.30
Na %	0.17
Zn mg	83.35
Mg %	0.21
Mn mg	34.77
Se mg	0.22
Co mg	0.24
Vit A UI	3368.89
Vit E UI	10.55
Cu mg	86.45
Iodo mg	13.66
Fe mg	127.34

EM: energía metabolizable; PC: proteína cruda; UIP: proteína no degradable en rumen; PM: proteína metabolizable; DIP: proteína degradable en rumen; RE: retinol equivalente.

En el cuadro 72.8 se muestra el balance teórico contra los requerimientos. Como se puede observar, aún hay deficiencias de Se y de S, para lo cual se debería de incluir otras fuentes que aporten estos elementos. Las deficiencias menores de proteína degradable y Ca son menores a un gramo por día, por lo que no se espera que afecten demasiado. La deficiencia más importante es la de EM que se corrige y se espera que las cabras puedan mostrar balance positivo de energía al finalizar la lactancia y en función de su potencial productivo quizás incrementar la producción láctea.



Cuadro 72.8 Consumo de nutrientes esperado y requerimientos de las cabras con base en las tablas del NRC

	Esperado	Requerimiento NRC Media lactancia, una cría	Diferencia
Peso inicial kg	47.3		
Peso final kg	46.8	40	
Leche kg/d	1.66	1.47 a 2.3	
Grasa %	3.01		
Consumo kg/d	1.51	1.96	-0.45
EM Mcal/d	3.792	3.74	0.052
PC 40% UIP g/d	151.30	100	51.30
PM g/d	105.91	71	34.91
DIP g/d	92.64	93	-0.36
Ca g/d	9.22	9.4	-0.18
P g/d	9.90	5.9	4.00
Vit A RE/d	5087	2140	2947
Vit E UI/d	16	224	-208
Requerimiento 1.99 a 2.76 kg/d, 50 kg			
Na g/d	2.52	1.93	0.59
Cl g/d	6.51	4.11	2.40
K g/d	15.29	14.4	0.89
Mg g/d	3.11	2.4	0.71
S g/d	4.52	6.4	-1.88
Co mg/d	0.37	0.27	0.10
Cu mg/d	130.54	37	93.54
I mg/d	20.63	1.98	18.65
Fe mg/d	192.28	48	144.28
Mn mg/d	52.50	32	20.50
Se mg/d	0.33	0.59	-0.26
Zn mg/d	125.86	99	26.86

EM: energía metabolizable; PC: proteína cruda; UIP: proteína no degradable en rumen; PM: proteína metabolizable; DIP: proteína degradable en rumen; RE: retinol equivalente.





Balance anión-catión en rumiantes

La diferencia entre aniones y cationes (DCAD) ha sido demostrada en raciones de ganado lechero, particularmente en las raciones de vacas secas (raciones de transición), para la prevención de hipocalcemia (Oetzel *et al.*, 1988; 1993).

Se ha reportado que raciones con diferencia negativa de cationes-aniones reducen la presentación de problemas de fiebre de leche, es decir (Na+K)-(Cl), aunque algunos incluyen en sus cálculos al S (Cl+S) (Tucker *et al.*, 1988).

Se ha encontrado que dietas con balance + producen pH alcalino, mientras que dietas con balance negativo producen un pH menos alcalino y reducen la presentación de problemas (son raciones más ácidas).

La DCAD se calcula en miliequivalentes por kilo o por 100 gramos de materia seca. Para eso, necesitamos hacer los siguientes cálculos, de los aniones y cationes:

Peso equivalente = peso atómmico/número de cargas

Na = 23.0/1 = 23.0

K = 39.1/1 = 39.1

Cl = 35.5/1 = 35.5

S = 32.1/2 = 16.05

Expresado en miliequivalentes (dividir entre mil) los equivalentes:

Na = 0.023

K = 0.0391

Cl = 0.0355

S = 0.01605

Para calcular al DCAD, usamos la siguiente fórmula:

$$DCAC = (\%\ Na/meq + \%\ K/meq\ K) - (\%\ Cl/meq\ Cl + \%\ S/meq\ S) \times 100\ g\ MS$$

Como es una división constante, se pueden usar factores constantes con la siguiente ecuación por los porcentajes de la ración:

$$DCAC = (\%\ Na \times 43.4783 + \%\ K \times 25.2754) - (\%\ Cl \times 28.1690 + \%\ S \times 62.3053)$$

DCAC en meq por 100 g MS

Algunas de las sales aniónicas más usadas son: cloruro de magnesio, sulfato de magnesio, cloruro de calcio, S de Ca, cloruro de Ca, cloruro de amonio, sulfato de amonio (Oetzel *et al.*, 1888; Espino *et al.*, 2004).

Ejercicio 73

Balance anión-catión en rumiantes

Se realizó un experimento donde se dieron tres raciones con distinta diferencia aniones y cationes (cuadro 73.1) en el período de transición de vacas Holstein a las cuales se les midió la producción y algunas variables antes y después del parto (cuadro 73.2). Calcule la diferencia entre aniones y cationes (DCAD) en meq por 100 g MS con la ecuación: DCAD=(% Nax43.4783+% Kx25.2754)-(% Clx28.1690+% Sx62.3053), considerando la composición mineral (cuadro 73.3) e interprete los resultados del experimento.

La estimación de la diferencia anión catión en ganado lechero es de gran importancia dado que esto tiene un impacto en la prevención de enfermedades metabólicas post parto. En la literatura científica en inglés se conoce como DCAD y se refiere a la diferencia de aniones catiónicos en la dieta. El valor de DCAD es un índice de equilibrio relativo entre los cationes principales (potasio y sodio) y los principales aniones (cloro y en ocasiones se considera el azufre) en raciones de vacas lecheras. Si un animal consume una dieta rica en cationes en relación con los aniones el valor de la DCAD será positivo. Por el contrario, si el ganado consume dietas altas en Cl en relación con K y Na se presenta un valor de DCAD negativo. Se ha demostrado que las dietas con bajo DCAD (bajo K y Na en relación con Cl) reducen la presencia de fiebre de la leche y de hipocalcemia subclínica por lo que se recomienda usar dietas negativas en DCAD para hipocalcemia subclínica. Para lograr dietas negativas en vacas secas (gestantes, no lactantes), se recomienda seleccionar alimentos con bajo contenido de K y Na junto con la adición de Cl y en ocasiones se pueden incluir sales aniónicas (hay productos comerciales disponibles).

Cuadro 73.1 Composición de las tres raciones experimentales evaluadas con vacas Holstein

	Raciones base seca %		
	A	B	C
Ensilaje de maíz	17	16.8	16.6
Alfalfa	39.6	39.4	39
Cebada grano	15.5	15.4	15.1
Pasta de soya	2	2	2
Harinolina	2.5	2.5	2.5
Maíz molido	5.5	5.5	5.5
Trigo molido	17.3	17.1	17
Sal	0.18	0.18	0.18
Piedra caliza	0.25	0.25	0.25
Cloruro de calcio	0	0.27	0.43
Sulfato de amonio	0	0.43	1.27
Premezcla vitaminas y minerales	0.17	0.17	0.17
Total	100	100	100

Cuadro 73.2 Variables medidas en las vacas de acuerdo con el tratamiento

Variable	Tratamiento		
	A	B	C
Consumo MS, kg/d	11.36	11.44	11.56
Consumo MS preparto, kg/d, -2 d	10.20	10.10	10.02
Producción leche, kg/d	34.34[b]	34.57[b]	35.51[a]
pH Plasma preparto	7.41	7.46	7.40
pH Plasma al parto	7.42	7.45	7.42
pH Plasma posparto	7.43	7.41	7.39
pH orina	7.99a	6.81b	6.11c

[a, b, c]($P < 0.05$).

Fuente: Adaptado de Ganjkhanlou *et al.* (2010).

Cuadro 73.3 Contenido de aniones y cationes de los alimentos usados en el experimento (% MS)

Alimento	Mineral				
	K	Na	Mg	Cl	S
Ensilaje de maíz	0.96	0.03	0.31	0	0.11
Alfalfa	2.1	0.14	0.32	0.47	0.43
Cebada grano	0.56	0.03	0.12	0.14	0.15
Pasta de soya	1.9	0.04	0.06	0.06	0.4
Harinolina	1.16	0.04	0.4	0.04	0.3
Maíz molido	0.3	0.02	0.08	0.04	0.08
Trigo molido	0.5	0.06	0.11	0.07	0.1
Sal	0	39.34	0	60.66	0
Piedra caliza	0.12	0.06	2.06	0.03	0.04
Cloruro de calcio	0	0	0.02	49.2	0
Sulfato de amonio	0	0	0	0	24.1
Premezcla	0	0	0	0	0

Resultados ejercicio 73

a) Primero ponemos las raciones con base en 1 kg (cuadro 73.4).

Cuadro 73.4 Raciones experimentales expresadas en 1 kg de MS

	A	B	C
Ensilaje de maíz	0.17	0.168	0.166
Alfalfa	0.396	0.394	0.39
Cebada grano	0.155	0.154	0.151
Pasta de soya	0.02	0.02	0.02
Harinolina	0.025	0.025	0.025
Maíz molido	0.055	0.055	0.055
Trigo molido	0.173	0.171	0.17
Sal	0.0018	0.0018	0.0018
Piedra caliza	0.0025	0.0025	0.0025
Cloruro de calcio	0	0.0027	0.0043
Sulfato de amonio	0	0.0043	0.0127
Premezcla vitaminas y minerales	0.0017	0.0017	0.0017
Total	1	1	1

b) Posteriormente, multiplicamos los contenidos de cada mineral (cuadro 73.3) por su proporción (cuadro 73.4) y sumamos para obtener la concentración dietaria de Na, K, Cl y S.

Cuadro 73.5 Aporte de aniones y cationes de la ración A

Alimento	K	Na	Mg	Cl	S
Ensilaje de maíz	0.1632	0.0051	0.0527	0	0.0187
Alfalfa	0.8316	0.05544	0.12672	0.18612	0.17028
Cebada grano	0.0868	0.00465	0.0186	0.0217	0.02325
Pasta de soya	0.038	0.0008	0.0012	0.0012	0.008
Harinolina	0.029	0.001	0.01	0.001	0.0075
Maíz molido	0.0165	0.0011	0.0044	0.0022	0.0044
Trigo molido	0.0865	0.01038	0.01903	0.01211	0.0173
Sal	0	0.070812	0	0.109188	0
Piedra caliza	0.0003	0.00015	0.00515	0.000075	0.0001
Cloruro de calcio	0	0	0	0	0
Sulfato de amonio	0	0	0	0	0
Premezcla	0	0	0	0	0
Aporte	1.2519	0.149432	0.2378	0.333593	0.24953

Cuadro 73.6 Aporte de aniones y cationes de la ración B

Alimento	K	Na	Mg	Cl	S
Ensilaje de maíz	0.16128	0.00504	0.05208	0	0.01848
Alfalfa	0.8274	0.05516	0.12608	0.18518	0.16942
Cebada grano	0.08624	0.00462	0.01848	0.02156	0.0231
Pasta de soya	0.038	0.0008	0.0012	0.0012	0.008
Harinolina	0.029	0.001	0.01	0.001	0.0075
Maíz molido	0.0165	0.0011	0.0044	0.0022	0.0044
Trigo molido	0.0855	0.01026	0.01881	0.01197	0.0171
Sal	0	0.070812	0	0.109188	0
Piedra caliza	0.0003	0.00015	0.00515	0.000075	0.0001
Cloruro de calcio	0	0	0.000054	0.13284	0
Sulfato de amonio	0	0	0	0	0.10363
Premezcla	0	0	0	0	0
Aporte	1.24422	0.148942	0.236254	0.465213	0.35173

Cuadro 73.7 Aporte de aniones y cationes de la ración C

Alimento	K	Na	Mg	Cl	S
Ensilaje de maíz	0.15936	0.00498	0.05146	0	0.01826
Alfalfa	0.819	0.0546	0.1248	0.1833	0.1677
Cebada grano	0.08456	0.00453	0.01812	0.02114	0.02265
Pasta de soya	0.038	0.0008	0.0012	0.0012	0.008
Harinolina	0.029	0.001	0.01	0.001	0.0075
Maíz molido	0.0165	0.0011	0.0044	0.0022	0.0044
Trigo molido	0.085	0.0102	0.0187	0.0119	0.017
Sal	0	0.070812	0	0.109188	0
Piedra caliza	0.0003	0.00015	0.00515	0.000075	0.0001
Cloruro de calcio	0	0	0.000086	0.21156	0
Sulfato de amonio	0	0	0	0	0.30607
Premezcla	0	0	0	0	0
Aporte	1.23172	0.148172	0.233916	0.541563	0.55168

c) Finalmente, aplicamos la ecuación de la diferencia catión anión:

DCAC ración A = + 13.19
DCAC ración B = 2.90
DCAC ración C = - 12.05

Los investigadores trataron de balancear a +13 (A), 0 (B) y -13 (C), pero como no reportan la composición mineral de sus alimentos, nuestra aproximación es bastante adecuada. Los resultados muestran que la producción de leche posparto es favorecida por la ración con DCAD negativa, y que solo se detectaron cambios en el pH de la orina. En general, se recomienda formular dietas negativas en dietas preparto con una DCAD de -10 para reducir problemas metabólicos y para estimular la movilización de Ca de los huesos.




46
45
44
43

Análisis económicos de costos de alimentación

Un aspecto fundamental en la nutrición animal es poder determinar la rentabilidad de las raciones o del uso de aditivos. En el cuadro 74.1, se resumen las principales variables para hacer un análisis de presupuestos parciales de costos de alimentación (Coffey y Laurent, 2004; Mendoza *et al.*, 2015).

Cuadro 74.1 Principales indicadores para una evaluación económica de costos de alimentación

Ganancia de peso total	Peso final-Peso inicial
Ganancia diaria de peso	Ganancia de peso total / días del período
Conversión alimenticia	kg de alimento requerido / kg de ganancia de peso
Costos de alimentación	Costo de la dieta o alimentos proporcionados a un animal
Peso mermado	Peso final-Peso vacío (kg perdidos durante transporte)
Porcentaje de merma	100 - (Peso mermado / Peso final) x 100
Punto de equilibrio	Total de dinero por la venta de un animal para cubrir los gastos de producción
Punto de equilibrio por kg	Costo de venta al punto de equilibrio / peso en kg
Margen de beneficio	Precio de venta del animal - Punto de equilibrio
Ingresos totales	Precio de venta del animal x kg peso a la venta
Utilidad neta parcial	Ingresos totales - Costos totales
Utilidad como % del ingreso	(Utilidad neta parcial / Ingresos totales) x 100

Un aspecto importante es que los cálculos deben hacerse con base en el consumo y la conversión en base húmeda y no en base seca. Como ejemplo, se muestra la información de Sánchez (2014) en el cuadro 74.2, quien evaluó niveles de aceite de pescado en la dieta de ovinos en finalización. También se muestra, como ejemplo, el cálculo detallado del nivel de 1% de aceite de pescado en el cuadro 74.3, debido a que se observó el mejor comportamiento productivo con ese porcentaje de inclusión.

Cuadro 74.2 Información para realizar el económico de engorda de ovinos con distintos niveles de aceite de pescado en engorda de ovinos (56 días)

	Niveles de aceite %			
	0	1	2	3
Peso inicial kg	23.88	24.31	24.35	23.17
Peso final kg	37.17	39.5	38.03	33.07
Consumo kg/d base húmeda	1.32	1.35	1.25	1.06
Costo alimento por kg $	6.0	6.16	6.17	6.29
Peso mermado kg	36.43	38.91	37.46	32.51
Costo/kg compra $	32	32	32	32
Costo inicial de animal $	764.16	777.92	779.2	741.44
Costo de vacunas y otros	45	45	45	45
Otros costos	10	10	10	10
Precio de venta $ por kg	35	35	35	35

Los análisis económicos permiten conocer el impacto que pueden tener las decisiones en la rentabilidad de una engorda. El precio de compra y de venta de los corderos puede tener un gran impacto en todo el proceso. La calidad genética de los animales es importante, pues esta tiene un impacto en la ganancia diaria de peso y en la conversión alimenticia. Los gastos de medicina preventiva son necesarios y no debe de ahorrarse en ese rubro. En este panorama, el conocimiento de la especie y su respuesta a los alimentos es determinante para seleccionar los niveles adecuados de los ingredientes que permitan un ciclo productivo rentable.

Cuadro 74.3 Ejemplo de cálculo de variables para análisis económico de costos de alimentación y utilidad

Ganancia de peso total	=39.5-24.31=15.19 kg
Ganancia diaria de peso	=15.19/56=0.271 kg
Conversión alimenticia	=1.35/0.271=7.07
Costos de alimentación	=6.16x1.35x56=$465.7
Peso mermado	=38.91 kg
Porcentaje de merma	=100-(38.91/39.5)x100=1.5%
Punto de equilibrio	=777.92+45+10+465.7=$1298.62
Punto de equilibrio por kg	=1298.62/38.91=33.38 kg
Margen de beneficio	=35-33.38=$1.62
Ingresos totales	=35x38.91=$1361.76
Utilidad neta parcial	=1361.76-1298.62=$63.15
Utilidad como % del ingreso	=(63.15/1361.76)x100=4.64%

Los resultados de los tres niveles se presentan en el cuadro 74.4, donde se puede observar que, con 3% de inclusión, existen pérdidas económicas para el productor. En general, en los estudios donde se han usado diferentes niveles de aceite de pescado, utilizados cuando se incluye alrededor del 1%, el consumo, el peso final, ganancia diaria y la eficiencia alimenticia no se ven afectados (Toral *et al.*, 2009; Annet *et al.*, 2011; Ferreira *et al.*, 2014), pero, cuando son mayores al 3%, el consumo y la ganancia se reducen (Kitessa *et al.*, 2001; Wachira *et al.*, 2002; Marinova *et al.*, 2007).

Este ejercicio muestra la importancia de revisar literatura detalladamente en la especie que se está formulando. La mayoría de los libros de nutrición animal coinciden en que el máximo de inclusión de lípidos es 6% para rumiantes, sin embargo, este valor se ha sugerido derivado de estudios con bovinos. Existen diferencias los aceites vegetales, grasas animales, grasas protegidas, que van a repercutir en el metabolismo ruminal y presumiblemente en su absorción en el intestino delgado, por lo que se recomienda revisar la información detallada antes de usar un nivel convencional pues no necesariamente es el que va a dar la mayor rentabilidad.

Cuadro 74.4 Análisis económico de engorda de ovinos con distintos niveles de aceite de pescado (56 días)

	Niveles de aceite %			
	0	1	2	3
Peso inicial kg	23.88	24.31	24.35	23.17
Peso final kg	37.17	39.5	38.03	33.07
Ganancia diaria de peso kg	0.237	0.271	0.244	0.177
Ganancia de peso total kg	13.29	15.19	13.68	9.9
Consumo kg/d base húmeda	1.32	1.35	1.25	1.06
Conversión alimenticia	7.73	7.07	5.56	5.75
Costo alimento por kg $	6.0	6.16	6.17	6.29
Costos de alimentación $	443.52	465.70	431.90	373.37
Peso mermado kg	36.43	38.91	37.46	32.51
Porcentaje de merma	2	1.5	1.5	1.7
Costo/kg compra $	32	32	32	32
Costo inicial de animal $	764.16	777.92	779.2	741.44
Costo de vacunas y otros	45	45	45	45
Otros costos	10	10	10	10
Punto de equilibrio $	1262.68	1298.62	1266.10	1169.81
Punto de equilibrio por kg	34.66	33.38	33.80	35.99
Precio de venta $ por kg	35	35	35	35
Margen de beneficio	0.34	1.62	1.20	-0.99
Ingresos totales $	1274.93	1361.76	1311.08	1137.77
Utilidad neta parcial por animal	12.25	63.15	44.98	-32.04
% del ingreso total	0.96	4.64	3.43	-2.82

Ejercicio 74

Análisis económico de engorda de ovinos con distintos niveles de grano

Se evaluaron diferentes niveles de grano en dietas de finalización usando corderos Pelibuey que fueron alimentados con dietas con una mezcla de maíz y sorgo (base MS): 30, 45, 60 y 75% en la ración por 56 días. Al aumentar el nivel de grano, hubo una respuesta lineal en ganancia diaria, peso de la canal y rendimiento, digestibilidad de la MS y la conversión alimenticia (Castro, 2014). Considerando los costos del cuadro 74.5, indique cuál es el nivel recomendable de grano para obtener mayor utilidad en la engorda de corderos.

Los resultados del cuadro 74.5 muestran una respuesta biológica interesante que se debe tener presente en los rumiantes al aumentar la proporción de grano en la ración. Con base en el Sistema de energía neta de California se podría predecir que la ganancia diaria de peso tendría una respuesta lineal, lo cual parece ser cierto hasta llegar al 60%, donde la ganancia de peso total es similar con 60% y 70% de grano. Existen dos hipótesis que explican esa respuesta, una es que los ovinos comenzaron a presentar acidosis subclínica (Hernández *et al.*, 2017) y la otra es que los corderos no tenían el potencial genético para manifestar mayores ganancias de peso.

Cuadro 74.5 Información para realizar el análisis económico de la engorda de ovinos con distintos niveles de grano

	Nivel de grano en la ración %			
	30	45	60	75
Peso inicial kg	27	27.86	27.5	27.45
Peso final kg	38.67	41.96	44.51	44.6
Ganancia de peso total kg	11.67	14.1	17.01	17.15
Consumo kg/d base húmeda	1.61	1.78	1.69	1.76
Costo alimento por kg $	4.28	4.35	4.47	4.56
Peso mermado kg	37.90	41.12	43.62	43.71
Costo/kg compra $	32	32	32	32
Costo inicial de animal $	864	891.52	880	878.4
Costo de vacunas y otros	45	45	45	45
Otros costos	10	10	10	10
Precio de venta $ por kg	38	38	38	38

Resultados ejercicio 74

Primero se calcula la ganancia diaria de peso dividiendo el peso ganado (peso final - peso inicial) entre el número de días de la engorda (56 días). Los costos de alimentación se obtienen multiplicando el consumo en base húmeda por el costo del kg de alimento por los días de duración. Para el punto de equilibrio, se suman todos los costos (alimentación, vacunas y otros). Los otros indicadores se obtienen de acuerdo con las relaciones presentadas en el cuadro 74.6.

El nivel de grano es uno de los factores más importantes en las raciones de finalización de corderos. A pesar de que se han reportado algunos ensayos con niveles de granos, no se ha hecho un análisis económico sobre el nivel óptimo. Los resultados muestran que no necesariamente con más grano y con más energía se obtiene la mayor utilidad.

Esto se debe a que los rumiantes alimentados con alto nivel de grano en la ración presentan cierto grado de acidosis subclínica, lo que evita que se alcancen las ganancias de peso esperadas en función del contenido de energía (Hernández *et al.*, 2017a). Otro aspecto por considerar es que hay diferencias importantes en la digestibilidad y el contenido de energía de los granos particularmente (maíz y sorgo) y dentro de variedades de sorgo (Calderón *et al* 2011; Duran *et al.*, 2004).

Cuadro 74.6 Análisis económico de la engorda de ovinos con distintos niveles de grano

	Nivel de grano en la ración %			
	30	45	60	75
Peso inicial kg	27	27.86	27.5	27.45
Peso final kg	38.67	41.96	44.51	44.6
Ganancia diaria de peso kg	0.208	0.252	0.304	0.306
Ganancia de peso total kg	11.67	14.1	17.01	17.15
Consumo kg/d base húmeda	1.61	1.78	1.69	1.76
Conversión	5.56	4.98	5.12	6.00
Costo alimento por kg $	4.28	4.35	4.47	4.56
Costos de alimentación $	385.88	433.61	423.04	449.43
Peso mermado kg	37.90	41.12	43.62	43.71
Porcentaje de merma	2	2	2	2
Costo/kg compra $	32	32	32	32
Costo inicial de animal $	864	891.52	880	878.4
Costo de vacunas y otros	45	45	45	45
Otros costos	10	10	10	10
Punto de equilibrio $	1304.88	1380.13	1358.04	1382.83
Punto de equilibrio por kg	34.43	33.56	31.13	31.64
Precio de venta $ por kg	38	38	38	38
Margen de beneficio	3.57	4.44	6.87	6.36
Ingresos totales $	1440.07	1562.59	1657.55	1660.90
Utilidad neta parcial por animal	135.19	182.46	299.51	278.07
% del ingreso total	9.39	11.68	18.07	16.74

La respuesta biológica es similar a la reportada en otros estudios (Souza *et al.*, 2003; Issakowicz *et al.*, 2013; Majdoub-Mathlouthi *et al.*, 2013; Valerio *et al.*, 2013; Stanton y Swanson, 1992) donde se observa que mejora la ganancia y la eficiencia con mayor nivel de grano, pero hay una respuesta cuadrática, lo cual indica que debe estimarse el óptimo biológico y económico. Esto se debe a que a niveles altos de grano pueden causar acidosis subaguda en rumiantes, lo cual reduce la eficiencia de utilización del alimento (Britton y Stock, 1987).

Con relación a evaluaciones económicas de costos de alimentación, se han realizado estudios sobre la utilización de subproductos para la alimentación en

borregos como melaza, pulpa de remolacha, harina de linaza y pulpa de cítricos (Caparra *et al*., 2007; Hilali *et al*., 2011; Shirima *et al*., 2012; Ermias *et al*., 2013). También hay evaluaciones en el uso de enzimas exógenas que han mostrado que pueden ser no rentables (Carreón *et al*., 2005), o que solo en ciertas dosis hay utilidad (Mendoza *et al*., 2013b). Un ejemplo interesante de cómo el uso de enzimas fibrolíticas puede reducir el nivel de concentrado y hacer rentable su inclusión es mostrada por Schingoethe *et al*. (1999) en ganado lechero. Algunos estudios con enzimas amilolíticas u otros aditivos como propionato de calcio en dietas altas en grano han disminuido el nivel de grano con la misma respuesta productiva, pero no presentan el análisis económico (Mendoza *et al*., 2003; Lee *et al*., 2012).

Se han realizado estudios económicos de sistemas de pastoreo con estudios de caso que muestran beneficios económicos con algunos sistemas silvopastoriles (Current *et al*., 1995) o del uso económico de suplementos proteínicos que muestra el beneficio económico-biológico (Mendoza, 1997). Es importante realizar este tipo de análisis para poder lograr una transferencia del conocimiento y la tecnología desarrollados en forma científica en la nutrición animal en diversas especies.



Literatura

AAFCO. 2002. Official Publication. Association of American Feed Control Officials. Atlanta. http://www.dogfoodadvisor.com/

Ackerman B. B., Lindzey F.G., Hemker T. P. 1984. Cougar food habits in southern Utah. *Journal of Wildlife Management* 48: 147-155.

Allen M. S., Mertens D. R. 1988. Evaluating constrains on fiber digestion by rumen microbes. *Journal of Nutrition* 118: 261-270.

Alonso L., Maquivar M., Galina C., Mendoza G. D., Guzman A., Estrada S., Villareal M., Molina R. 2008. Effect of ruminally protected methionine on the productive and reproductive performance of grazing Bos indicius heifers raised in the humids tropics of Costa Rica. *Tropical Animal Health and Production* 40: 667-672.

Alvarado C. A., Hodgkinson S. M., Alomar D., Boroschek D. 2008. Evaluation of the chemical composition of dry dogfoods commercialized in Chile used for growing dogs. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária* 60: 218-226.

Álvarez L. Y. 2004. Elaboración y conservación de un alimento basado en subproductos de caña y su respuesta en vaquillas. Tesis de Maestría en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal. Universidad Nacional Autónoma de México.

Álvarez L. Y., Mendoza G. D., Aranda E. M., Ramos J. A., Mora O., Hernández P. A., García-Bojalil. 2011. Effect of the substitution of return

bagasse (Pachaquil), fermented in solid state and ensiled, on productive performance of cows in the tropics. *Cuban Journal of Agricultural Science* 45 (3): 257-260.

Alvarez R., Combellas J. 1995. Suplementación con bloques multinutricionales de bovinos postdestete pastoreando forrajes o rastrojos de sorgo. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 3: 1-9.

Amjed M., Jung H. G., Donker J. D. 1992. Effect of alkaline hydrogen peroxide treatment on cell wall composition and digestion kinetics of sugarcane residues and wheat straw. *Journal of Animal Science* 70: 2877-2884.

Annett R. W., Carson A. F., Fearon A. M., Kilpatrick D. J. 2011. Effects of supplementation with fish oil and barium selenite on performance, carcass characteristics and muscle fatty acid composition of late season lamb finished on grass-based or concentrate-based diets. *Animal* 5: 1923-1937.

Antonio, G. B., Mendoza, M. G. D., Buendía R. G. 2012. Estimación y mitigación de emisiones de gases con efecto invernadero provenientes de ganado bovino productor carne y leche. Informe de Servicio Social Legal, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

AOAC. 2005. *Official Methods of Analytical*, 18th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.

Aranda I. E., Mendoza G. D., García-Bojalil C., Castrejón P. F. 2001. Growth Of Heifers Grazing Stargrass Complemented With Sugar Cane, Urea And A Protein Supplement. *Livestock Production Science* 71: 201-206.

Aranda I. E. M., Mendoza M. G. D., Ramos J. J. A., Da Silva I. C. B., Vitti A. C. 2010. Efeito de enzimas fibrolíticas sobre a degradação microbiana ruminal da fibra de cana-de-açúcar. *Ciencia Animal Brasileira* 11: 488-495.

Aranda I. E. M., Ruiz P., Mendoza M. G. D., Marcoff C. F., Ramos J. A., Elías A. 2004. Changes in the digestion of three varieties of sugarcane and their fiber fractions. *Cuban Journal of Agricultural Science* 38: 135-141.

Aranda M. 2000. Huellas y otros rastros de los mamíferos grandes y medianos de México. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz, México.

Aranda-Ibáñez E. M., Ramos-Juárez J. A., Salgado-García S. 2017. Elaboración de ensilajes con recursos forrajeros disponibles en la región de la MAP Municipio de Huimanguillo Chontalpa. Colegio de Posgraduados-Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México.

Archer J. A., Arthur P. F., Herd R. M., Parnell P. F., Pitchford W. S. 1997. Optimum postweaning test for measurement of growth rate, feed intake,

and feed efficiency in British breed cattle. *Journal of Animal Science* 75: 2024-2032.

Arcos G. J. L., Cobos P. M., Hernández S. D., Reynoso V. H., Mendoza M. G. D., Aguilar V. C. B. 2007. Digestibilidad de iguana negra (Ctenosaura pectinata) alimentadas con dietas a base de diferentes componentes de insectos y vegetales. *Revista Científica FCV-LUZ* 17: 1-6.

Arruda A. M. V., Ribeiro L. B. 2009. Digestibilidad de subprodutos agroindustriais na alimentação de cavalos digestibility of agro industrial by-products in the horse feeding. *Archivos de zootecnia* 58: 452-454.

Arthur J. P. F., Herd R. M. 2008. Residual feed intake in beef cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia* 37: 269-279.

Ávila N. D. M., Naranjo E. J., Tigar B. J., Villarreal O. A., G.D. Mendoza. 2018. An evaluation of the contemporary uses and cultural significance of mammals in Mexico. *Ethnobiology Letters* 9:124–135.

Ávila–Nájera D. M., Palomares F., Chávez C., Tigar B., Mendoza G. D. 2018a. Jaguar (*Panthera onca*) and puma (*Puma concolor*) diets in Quintana Roo, Mexico. *Animal Biodiversity and Conservation* 41: 257–266.

Ayala J., Mendoza G. D., Pinos R. J. M., Lara A., Sanchez T. M. 2010. Effects of fat and rumen-protected methionine supplementation on production response of first-lactation cows. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A–Animal Science* 60: 159-165.

Baldwin R. L. 1970. Energy metabolism in anaerobes. *The American Journal of Clinical Nutrition* 23:1508-1513.

Bárcena G. R., Hernández P. A., Meneses M., Bribiesca E., Crosby M. M. 2009. Composición nutrimental y valor nutritivo de los forrajes del Estado de Puebla. Fundación Produce de Puebla, A.C. Colegio de Posgraduados. Puebla, México.

Bas P., Berthelot V., D uvaux-Ponter C., Sauvan D., Schmidely P. 2000. Effect of dietary propionate on fatty acid composition of lamb adipose tissues. In: Ledin I., Moran d-Feh r P. (ed.), Sheep and goat nutrition: Intake, digestion, quality of products and rangelands, Zaragoza Cahiers Options Méditerranéennes CIHEAM 52: 133-135.

Basarab J. A., Price M. A., Aalhus J. A., Okine E. K., Snelling W. M., Lyle K. L. 2003. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 83: 189-204.

Bauer M. Ration balancers. USA: North Dakota State University, Animal Sciences, https://www.ag.ndsu.edu/ ansc/people/faculty/marc-bauer; 2016.

Bergen W. G., Bates D. B. 1984. Ionophores: their effect on production efficiency and mode of action. *Journal of Animal Science* 58: 1465-1483.

Birbe B., Herrera P., Colmenares O., Martínez N. 2006. El consumo como variable en el uso de bloques multinutricionales. X Seminario de pastos y forrajes. Pp. 43-61.

Blaxter K. L., McC.Graham N, Wainman F. W. 1956. Some observations on the digestibility of food by sheep, and on related problems. *British Journal of Nutrition* 10: 69-91.

Boadi D., Benchaar, C., Chiquette, J., Massé, D. 2004. Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows: Update review. *Canadian Journal of Animal Science* 84: 319.335.

Bolívar P. A., Sánchez J. 2005. Determinación de la cinética fermentativa in vitro de diferentes recursos forrajeros para rumiantes. Tesis Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Bórquez J. L., Pinos-Rodríguez J. M., González S. S., Domínguez I., Bárcena R., Mendoza G., Cobos M. 2010. Use of different kind of silage dairy cattle manure in lamb nutrition. *Italian Journal of Animal Science* 9 (1): e25:129-133.

Britton R. A., Stock R. A. 1987. Acidosis, rate of starch digestion and intake. In: Owens F. N. (ed.), Symposium Proceedings: Feed Intake by Beef Cattle. *Publ. MP 121*, Oklahoma State University, Stillwater, pp. 125-137.

Browning N. G., Robel R. J. 1981. Metabolizable energy in four seeds fed to cardinals. *Transactions of the Kansas Academy of Science* 84: 115-118.

Bruno S. A. M., Murray I., Patterson R. M. Abreu J. M. F. 1998. Use of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) for the prediction of the chemical composition and nutritional attributes of green group cereals. *Animal Feed Science and Technology* 75:15-25.

Burroughs W., Nelson D. K., Mertens D. R. 1975. Protein physiology and its applications in the lactating cow: the metabolizable protein feeding standard. *Journal of Animal Science* 41: 933-944.

Burroughs W., Trenkle A., Vetter R.L. 1974. A system of protein evaluation for cattle and sheep involving metabolizable protein (amino acids) and urea fermentation potential of feedstuffs. *Veterinary medicine/ Small Animal Clinician* 69: 713-722.

Bush J. A., Freeman D. E., Kline K. H., Merchen N. R., Fahey Jr. G.C. 2001. Dietary fat supplementation effects on in vitro nutrient disappearance

and in vivo nutrient intake and total tract digestibility by horses. *Journal of Animal Science* 79: 232-239.

Cabello L. C. 2009. Uso de grasa como fuente de energía en caballos. *Agribrands*. Purina México.

Calderón S. F., Mendoza M. G. D., Hernández G. A., Muñoz O. A., Ramírez V. G., Plata P. F. X. 2011. Concentración de nutrientes y rendimiento de diez variedades de sorgo (*Sorghum bicolor l.* Moench) usados para alimentación de rumiantes. Universidad y Ciencia 27: 169-177.

Camacho L. M., Rojo R., Salem A. Z. M., Mendoza G. D., López D., Tinoco J. L., Albarrán B., Montañez O. D. 2010a. *In vitro* ruminal fermentation kinetics and energy utilization of three Mexican tree fodder species during the rainy an dry period. *Animal Feed Science and Technology* 155: 206-212.

Camacho L. M., Rojo R., Salem A. Z. M., Provenza F. D., Mendoza G. D., Avilés F., Montañez V. O. D. 2010b. Effect of season on chemical composition and in situ degradability in cows and in adapted and unadapted goats of three Mexican browse species. *Animal Feed Science and Technology* 155: 206-212.

Cambra L. M., Garcia R.P., Estellés F., Torres A. 2008. Estimación de las emisiones de los rumiantes en España: el factor de conversión de metano. *Archivos de Zootecnia* 57: 89-101.

Caparra P., Foti F., Scerra M., Sinatra M. C, Scerra V. 2007. Solar dried citrus pulp as an alternative energy source in lamb diets: Effects on growth and carcass and meat quality. *Small Ruminant Research* 68: 303-311.

Carmona J. C., Bolívar D. M., Giraldo L. A. 2005. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 1-18.

Carreón L. L., Bárcena J. R., Hernández J. S., González S., Resendiz R. Romero J. O., Vargas S., Rios J. 2005. Evaluación de enzimas fibrolíticas exógenas en la alimentación de ovinos. *XXX Jornadas Científicas y IX Internacionales de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia,* Granada, España, pp. 205-207.

Castro C. A. 2014. Comparación de niveles de grano en dietas para ovinos en finalización. Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias. México, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

Cheng-Wen Ch., Laird D. A., Mausbach M. J., Hurburgh Ch. R. 2001. Near-Infrared Reflectance Spectroscopy–principal components regression

analyses of soil properties. *Soil Science Society of American Journal* 65: 480-490.

Clemente F., Riquelme E., Mendoza G. D., Bárcena R., González S., Ricalde R. 2005. Digestibility of forage diets of white-tailed deer (*Odocoileus virginanus Hays*) using different ruminal fluid inocula. *Journal of Applied Animal Research* 27: 71-76.

Cobos P. M., González S. M., Mendoza G. D., García C., Bárcena R. 1997. Nutritional evaluation of cattle manure, molasses and corn stover silage for lambs. *Small Ruminant Research* 25: 33-38.

Coffey R., Laurent K. Livestock Calculations for Skillathon Contests. 2004. University of Kentucky-College of Agriculture. Cooperative Extension Service.

Coronel M. J. I. 1996. Bloques multinutricionales para suplementar cabritos en crecimiento durante la sequía. Tesis licenciatura, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Correa H. J., Pabón M. L., Carulla J. E. 2009. Estimación del consumo de materia seca en vacas Holstein bajo pastoreo en el trópico alto de Antioquia. *Livestock Research for Rural Development*. 21: article 59.

Cota-Sánchez J. H. (2016). Nutritional composition of the prickly pear (Opuntia ficus-indica) fruit. *In Nutritional Composition of Fruit Cultivars* (pp. 691-712). *Academic Press*.

Cromwell G. L. 1996. The effects of phytase on phosphosrus utilization in swine. BASF Techical Symposium. Des Moines, Lowa, pp. 70-93.

Crosby M. M., Flores P. C., Mendoza M. G., Bárcena G. R., Alanís R. J. 1994. Evaluación *in vitro* de un cultivo de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) en bloques de melaza urea. Memorias XIV Congreso Panamericano de Ciencias Veterinarias, Acapulco Gro., p. 221.

Crutzen P. J., Aselmann I., Seiler W. 1986. Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. *Tellus*. 388: 271-284.

Cuddeford D. 2001. Starch digestion in the horse. In: Advances in equine nutrition II Pagan J. D., Geor J. (eds.), *Nottingham University Press*, Thrumpton, pp. 95-103.

Current D., Lutz E., Scherr, S. J. 1995. The costs and benefits of agroforestry to farmers. *World Bank Researcher Observer* 10: 151-180.

Cymbaluk N. F., Christison G. I., Leach D. H. 1989. Nutrient utilization by limit-and ad libitum-fed growing horses. *Journal of Animal Science* 67: 414-425.

Dale N., Batal A. 2007. Ingredient and by products. *Feed stuffs* 78: 17.

Darcy B. K., Belyea R. L. 1980. Effect of delignification upon *in vitro* digestion of forage cellulose. *Journal of Animal Science* 51: 798-803.

De Blas C., Wiseman J. 2010. The Nutrition of the Rabbit. *CABI Publishing*. United Kingdom.

Debasis De, Singh G. P. 2003. Effect of cold process monensin enriched urea molasses mineral blocks on performance of crossbred calves fed a wheat straw based diet. *Animal Feed Science and Technology*; 103: 51-61.

Dengel S., Levy P. E., Grace J., Jones S. K., Skiba, U. M. 2011. Methane emissions from sheep pasture, measured with an open-path eddy covariance system. *Global Change Biology* 17: 3524-3533.

Detmann E., Valadares S. C. 2010. On the estimation of non-fibrous carbohydrates in feeds and diets. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 62: 980-984.

Dierenfeld E. S., Hintz H. F., Robertson J. B., Van Soest P. J., Oftedal O. T. 1982. Utilization of bamboo by the giant panda. *Journal of Nutrition* 112: 636-641.

Dierenfeld E.S., Kreger M. D. 1992. Guía nutritiva y dietética de los animales silvestres en cautiverio. Curso de Manejo y Biología de Fauna Silvestre en Cautiverio. Cali, Colombia.

Diggs B. G., Becker D. E., Jensen A. H., Norton H. W. 1965. Energy value of various feeds for the young pig. *Journal of Animal Science* 24: 555-558.

Draper N. R., Smith H. 1981. Applied Regression Analysis. John Wiley & Sons, Nueva York.

Ducker M., Kendall P., Hemingway R. y McClellan T. 1981. An evaluation of feed blocks as a means of providing supplementary nutrients to ewes grazing upland/hill pastures. *Animal Production* 33: 51-57.

Durán A. J., Castro N. S., Mendoza M. G. D., Cobos M. A., Ricalde R. V., Plata F. XP. 2004. Degradabilidad ruminal *in vitro* de almidón de 21 variedades de sorgo (Sorghum bicolor l. Moench) con diferente genotipo de resistencia a sequía. *Interciencia* 29: 329-333.

Easley J. F., McCall J. T., Davis G. K., Shirley R. L. 1965. Analytical Methods for Feeds and Tissues. Nutrition Laboratory. Department of Animal Science. University of Florida, FL.

Edouard N., Fleurance G., Martin-Rosset W., Duncan P., Dulphy J. P., Grange S., Baumont R., Dubroeucq H., Pérez-Barbería F. J., Gordon I. J. 2008. Voluntary intake and digestibility in horses: effect of forage quality with emphasis on individual variability. *Animal* 2: 1526-1533.

El Fouly H., Leng R. 1986. Enhancing fermentaive digestion of cereal straws by using urea-molasses multinutrient blocks. Proceedings. Final research coordination meeting on isotope aided studies on non-protein nitrogen and agro-industrial by-products utilization by ruminants with particular reference to developing countries. Vienna, Austria.

Ellis J. L., Kebreab, E., Odongo, N. E, Beauchemin, K., McGinn, S., Nkrumah, J. D., Moore, S. S., Christopherson, R., Murdoch, G. K., McBride, B. W., Okine, E. K. y France, J. 2009. Modeling methane production from beef cattle using linear and nonlinear approaches. *Journal of Animal Sciences* 87: 1334-1345.

Equi-analytical laboratories. 2004. http://www.equi-analytical.com/default.htm.

Ermias T., Solomon M. y Mengistu U. 2013. The effect of barley bran, linseed meal and their mixes supplementation on the performances, carcass characteristics and economic return of Arsi-Bale sheep. *Small Ruminant Research* 114: 35-40.

Espino L., Suárez M. L., Santamarina G., Goicoa A. y Fidalgo L. E. 2004. Utilización de las sales aniónicas en la prevención de la paresia puerperal hipocalcémica. *Archivos de Medicina Veterinaria* Vol. 37(1): 7-13.

Evans E. 1981. An evaluation of the relationships between dietary parameters and rumen solid turnover rate. *Canadian Journal of Animal Science* 61: 97-103.

Ezcurra E., Gallina S. 1981. Biology and population dynamics of white-tailed deer in northwestern Mexico. In: Folliott P.F., Gallina S. (eds.). Deer biology, habitat requirements and management in western North America. Instituto de Ecología, A. C. México.

Fales S. 1986. Effects of temperature on fiber concentration, composition and in vitro digestion kinetics of tall fescue. *Agronomy Journal* 78: 963-966.

Feedipedia. 2012-2013. Molasses/Urea blocks. http://www.feedipedia.org/ NRA CIRAD AFZ and FAO.

Fergusson-Laguna A., Pacheco J. 1981. Calorimetría y composición corporal del armadillo *Dasypus sabanicola* (Mammalia-Edentata). *Acta Científica Venezolana* 32: 239-243.

Fernández-Rivera S., Lewis M., Klopfenstein T. J., Thompson T. L. 1989. A simulation model of forage yield, quality and intake and growth of growing cattle grazing cornstalks. *Journal of Animal Science* 67: 581-589.

Ferraro S. M., Mendoza G. D., Miranda L. A., Gutiérrez C. G. 2009. *In vitro* gas production and ruminal fermentation of glycerol, propylene glycol and molasses. *Animal Feed Science and Technology* 154: 112-118.

Ferreira E. M., Pires A. V., Susin I., Gentil R. S., Parente M. O. M., Nolli C. P., Meneghini R. C. M., Mendez C. Q., Ribeiro C. V. D. M. 2014. Growth, feed intake, carcass characteristics, and meat fatty acid profile of lambs fed soybean oil partially replaced by fish oil blend. *Animal Feed Science and Technology* 187: 9-18.

Flickinger E. A., Fahey G. C. Jr. 2002. Pet food and feed applications of inulin, oligofructose and other oligosaccharides. *British Journal of Nutrition* 87: Suppl. 2: S297-S300.

Flores A., Mendoza G., Pinos-Rodríguez J. M., Plata F., Vega S., Bárcena R. 2009. Effects of rumen-protected methionine on milk production of dairy goats. *Italian Journal of Animal Science* 8: 271-275.

Flores F. C. 1996. Bloques multinutricionales con cultivo de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) para suplementar ganado de lidia durante la época de sequía. Tesis Maestro de Producción Animal. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Zootecnia.

Flores P. C., López T. Q., Mendoza M. G. 1996. Uso de bloques multinutricionales con Saccharomyces cerevisiae para la suplementación estival de toros de lidia. Reunión Nacional de Investigación Pecuaria, Morelos 1996: 241.

Floyd T. J., Mech L. D., Jordon P. A. 1978. Relating wolf scat content to prey consumed. *Journal of Wildlife Mangement* 42: 528-532.

Franco F. J., Gómez G. A., Mendoza G. D., Bárcena R., Ricalde R., Plata F., Hernández J. 2005. Influence of plant cover on dietary selection by goats in the Mixteca region of Oaxaca, Mexico. *Journal of Applied Animal Research* 27: 95-100.

Galeta T., Negesse T., Abebe G., Goetsch A.L. 2013. Effect of supplementing grazing Arsi-Bale sheep with molasses-urea feed block on weight gain and economic return under famers management condition. *Journal of Cell and Animal Biology* 7: 125-131.

Galindo J., Elías A., Stuart R., Aldana A. I., Torres V., Sarduy L. 2009. Efecto de la inclusión de fuentes amiláceas en la población de bacterias metanogénicas y metano ruminal en dietas con caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) fermentada in vitro. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas* 43: 141-146.

Galindo W. F. 1994. Uso de bloques nutricionales en animales de trabajo. Bloques multinutricionales. I Conferencia Internacional, Proceedings, Guanare, Venezuela. pp. 15-19.

Gallina S., Maury E., Serrano V. 1981. Food habits of white tailed deer. In: Deer biology, habitat requirements, and management in western North America, Folliott F., Gallina S. (eds.), Instituto de Ecología A.C., pp. 133-148.

Galt D., Molinar F., Navarro J., Joseph J., Holechek, J. 2000. Grazing capacity and stocking rate. Rangelands 22: 7-11.

Ganjkhanlou M., Nikkhah A. y Zali A. 2010. Effect of dietary cation-anion balance on milk production and blood mineral of Holstein cows during the last two months of pregnancy. *African Journal of Biotechnology* Vol. 9(36): 5983-5988.

García C. C. G., Mendoza G. D. M., González S. M., Cobos M. P., Ortega M. E. C., Ramírez R. L. 2000a. Effect of a yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) and monensin on ruminal fermentation and digestion in sheep. *Animal Feed Science and Technology* 83: 165-170.

García O. J. C., Suárez O. M. E., Mendoza M. G. D., García B. C. 2000b. Bloques multinutricionales en la suplementación de becerros de doble propósito en el trópico mexicano. Ciclo de Conferencias sobre evaluación, comercialización y mejoramiento genético, CONARGEN, Tuxtla Gutiérrez Chiapas, pp. 175-180.

García-Bojalil C. M. 1988. Importancia de la suplementación mineral para bovinos en pastoreo. Memoria del curso intensivo "Nutrición de Rumiantes en el Trópico", Centro de Ganadería-Crecidath, Colegio de Posgraduados, pp. 89-116.

García-Bojalil C. M. 1994. Necesidades minerales del ganado de ceba. Memorias del curso intensivo Producción de Carne Bovina en Corrales, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal, pp. 135-147.

García-Bojalil C. M. 1995. Suplementación Mineral para Rumiantes en el Trópico. Memoria del 1er. Seminario Ganadero, Colegio de Posgraduados y Asociación Ganadera Local Huimanguillo, Tabasco, México, pp. 25-40.

García-Bojalil C. M. 1996a. La Suplementación Mineral de los Bovinos en Pastoreo. En: Manual de Producción Bovina de Doble Propósito (Carne y Leche) en el trópico "La Rejeguería", Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco, pp. 39-53.

García-Bojalil C. M. 1996b. Suplementación Mineral de Rumiantes en Pastoreo. En: Memorias del Curso de Actualización de Profesionistas Pecuarios, Colegio de Posgraduados Campus Tabasco, Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco, pp. 71-81.

Garcia-Bojalil C. M., Staples C. R., Risco C. A., Savio J. D., Thatcher W. W. 1998. Protein degradability and calcium salts of long-chain fatty acids in the diets of lactating dairy cows: reproductive responses. *Journal of Dairy Science* 81: 1385-1395.

Garduza A. G., Garcia-Bojalil C. M., Mendoza G. D., Sánchez-Torres M. T., Suárez M. E., Guzmán A. 2013. Effect of supplementation with rumen undegradable protein on milk production and ovarian activity in double purpose cows. *Journal of Applied Animal Research* 41: 223-228.

Garg M. R. Gupta B. N.1992. Effect of supplementing urea molasses mineral block lick to straw based diet on DM intake and nutrient utilization. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 5: 39-44.

Gaudré D. y Quiniou N. 2009. What mineral and vitamin levels to recommend in swine diets? *Revista Brasileira de Zootecnia* 38: 190-200.

Geerken C. M., Calzadilla D. y González R. 1987. Aplicación de la técnica de los dos marcadores para medir el consumo de pasto y la digestibilidad de la ración de vacas en pastoreo suplementadas con concentrado. *Pastos y Forrajes* 10: 266-273.

Geor R. J. y Harris P. A. 2007. How to minimize gastrointestinal disease associated with carbohydrate nutrition in horses. Proceedings of the American Association of Equine Practitioners 52: 178-185.

Gill S. S., Conrad H. R. y Hibbs J. W. 1969. Relative rate of *in vitro* cellulose disappearance as a possible estimator of digestible dry matter intake. *Journal of Dairy Science* 52: 1687-1690.

Golley F. B. 1961. Energy values of ecological materials. *Ecoloy* 42: 581-584.

Gómez A., Mendoza G. D., García-Bojalil C., Bárcena R., Ramos J., Crosby M., Pinos J., Lara A. 2011a. Effect of supplementation with urea, blood meal, and rumen-protected methionine on growth performance of Holstein heifers grazing kikuyu pasture. *Tropical Animal Health and Production* 43: 21-724.

Gómez A., Mendoza G. D., Aranda E., Pérez J., Hernández A., Pinos-Rodríguez J. M. 2011b. Influence of fibrolytic enzymes on growth performance and digestion in steers grazing stargrass and supplemented with fermented sugarcane. *Journal of Applied Animal Research* 39: 77-79.

Gómez V. A., Pérez P. J., Mendoza M. G. D., Aranda E., Hernández A. 2003. Fibrolytic enzymes improve performance in steers fed sugar cane and stargrass. *Livestock Production Science* 82: 249-254.

Gómez-Ortiz Y. 2008. Contenido energético de la dieta del Puma concolor en la Sierra de Nanchititla, Estado de México. Tesis de Biología, Universidad Autónoma del Estado de México.

Gómez-Ortiz Y., Monroy-Vilchis O., Fajardo V., Mendoza G. D., Urios V. 2011. Is food quality important for carnivores? The case of Puma concolor. *Animal Biology* 61: 277-288.

Gonzáles M. M. L., Kawas J. R., García R., González C., Aguirre J., Hernández G., Fimbres H., Picón F. J. y Lud C. D. 2009. Nutrient intake, digestibility, mastication and ruminal fermentation of Pelibuey lambs fed finishing diets with ionophore (monensin or lasalocid) and sodium malate. *Small Ruminant Research* 83: 1-6.

Granados D., Tarango L., Olmos G., Palacio J., Clemente F., Mendoza G. 2014. Dieta y disponibilidad de forraje del venado cola blanca *Odocoileus virginianus thomasi* (Artiodactyla: Cervidae) en un campo experimental de Campeche, México. *International Journal of Tropical Biology* 62: 699-710.

Griffiths D. 1975. Prey availability and the food of predators. *Ecology* 56: 1209-1214

Grotelueschen D. M. y Duane N. R. 1986. G86-794 Enterotoxemia in Lambs. Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension. Paper 207. http://digitalcommons.unl.edu/extensionhist/207.

Guan L. L., Nkruman J. D., Basarab J. A. y Moore S. S. 2008. Linkage of microbial ecology to phenotype: correlation of rumen microbial ecology to cattle´s feed efficiency. *FEMS Microbioloy Letters*. 288: 85-91.

Guthery F. S. 1999. Energy-based carrying capacity for quails. *Journal of Wildlife Management* 63: 664-674.

Gutiérrez M. A. 1986. Efecto del implante con Zeranol y suplementación energética y proteínica sobre el crecimiento compensatorio en ovinos. Tesis Maestría en Ciencias, Centro de Ganadería, Colegio de Posgraduados.

Hansen R.L., Carr M.M., Apanavicius C.J., Jiang P., Bissell H.A., Gocinski B.L., Maury F., Himmelreich M., Beard S., Ouellette J.R., Kouba A.J. 2010. Seasonal shifts in giant panda feeding behavior: relationships to bamboo plant part consumption. *Zoo Biology* 29:470–483.

Harris Jr. B. y García-Bojalil C. 1992. Feeding lactating cows under heat stress conditions. Proceedings of the International Conference on Livestock in the Tropics, University of Florida, Gainesville, FL, pp. 63-69.

Harris P. A. y Kronfeld D. S. 2003. Influence of dietary energy sources on Health and performance. In: Current therapy in equine medicine 5. Robinson N. E. (ed.), Saunders Philadelphia, pp. 698-704.

Heffron M. B. y Parrish J. W. 2005. Apparent metabolizable energy of seeds in greater prairie-chickens. *Transactions of the Kansas Academy of Science* 108: 93-98.

Hernández G. P. A., Mendoza G. D., Barcena J. R., Plata F. X., Martínez J. A. y Lee H. A. 2011. Effect of exogenous fibrolytic enzyme and slow release urea in finishing rations for Lambs. *Journal of Applied Animal Research* 39: 104-107.

Hernández H. J. E., Franco F. J. G., Camacho J. C. R., Villarreal O. A. E. B., Pedraza P. O. M, Plata P. F. X. y Mendoza G. D. M. 2010. Producción de gas *in vitro* de hojas y vainas de árboles forrajeros de trópico seco usando heces de bovino como inóculo. *Zootecnia Tropical* 28: 421-426.

Hernández P.A., Mendoza M.G.D., Castro B.A., Lara B.A., Plata F.X., Martínez J. A., Ferraro S.B. 2017a. Effects of grain level on lamb performance, ruminal metabolism and leptin mRNA expression in perirenal adipose tissue. *Animal Production Science* 57: 2001-2006.

Hernández P.A., Mendoza M.G.D, Sánchez N., Martínez-García J.A., Plata-Pérez F.X., Lara-Bueno A., Mariella F.S. 2017b. Effects of increasing dietary concentrations of fish oil on lamb performance, ruminal fermentation, and leptin gene expression in perirenal fat. *Revista Brasileira de Zootecnia* 46:521-526.

Hernández T. M., Romero M. E. S., Aguilar B. C. V., Ibarra S. Z., Crosby M. M. G. y Mendoza G. D. M. 2004. Composición de la dieta de la codorniz Moctezuma (*Cyrtonix montezumae*) en el noroeste del Estado de México. *Anales del Instituto de Biología Serie Zoología* 75: 355-361.

Hettiarachichi G. H .C. M., Gooneratne J. y Hirimburegama W. K. 2001. Effect of initial moisture content and relative humidity on the accumulation of aflatoxin in maize grains (Zea mays) during storage. *Journal of National Science Foundation Sri Lanka* 29: 29-33.

Hilali M., Iñiguez L., Knaus W., Schreiner M., Rischkowsky B., Wurzinger M. y Mayer H. K. 2011. Prospects for using nonconventional feeds in diets for Awassi dairy sheep in Syria. *Journal of Dairy Science* 94: 3014-3024.

Hodkinson S. M., Ibañez O. L., Álvarez C., Alomar D. 2008. Evaluation of the amount of metabolizable energy in the dog food quantities recommended by the manufactures to be fed daily to dogs, in relationship to energy requirements. *Archivos de Medicina Veterinaria* 40: 251-258.

Hoque M. A. y Suzuki K. 2009. Genetics of residual feed intake in cattle and pigs: A review. *Asian-AustralianJournal of Animal Science* 22: 747-755.

Hudson J. M., Cohen N. D. y Gibbs P. G. 2001. Feeding practices associated with colic in horses. *Journal of American Veterinary Medical Association* 219: 1419-1425.

INRA. 1989. In: Jarrige R. (ed.) Ruminant Nutrition: Recommended Allowances and Feed Tables, INRA, París, Francia.

IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IGES, Hayama, Kanagawa, Japan. http://www.ipccnggip.iges.or.jp.

IPCC. 2007. Climate Change. Mitigation of Climate Change. IPCC Fourth Assessment Report (AR4). http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/contents.html

Issakowicz J., Bueno M. S., Sampaio A. C. K., Duarte K. M. R. 2013. Effect of concentrate level and live yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) supplementation on Texel lamb performance and carcass characteristics. *Livestock Science* 155: 44-52.

Jacela J. Y., DeRouchey J. M., Tokach M. D. 2010. Feed additives for swine: Fact sheets-high dietary levels of copper and zinc for young pigs, and phytase. *Journal of Swine Health and Production* 18: 87-91.

Jacoby P. W. 1989. A glossary of terms used in range management: A definition of terms commonly used in range management. Society for Range Management, Denver, Colorado.

Jiménez-Merino F. A., Rodríguez R. A. M. y González R. O. s/a. Conservación de forrajes para mejorar la productividad del ganado. Puebla, México. http://www.jimenezmerino.com.mx/libros/CONSERVACIONDEFORRAJES.pdf

Johnson K. A. y Johnson D. E. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 73: 2483-2492.

Johnson W. L. 1979. Nutritional aspects of refeeding cattle manure to ruminants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 27: 690-694.

Jongbloed A., Mroz Z., Kemme P. A. 1992. The effect of suplementary *Aspergillus niger* phytase in diet for pigs on concentration and apparent

digestibility of dry matter, total phosphorus, and phytic acid in different sections of the alimentary tract. *Journal of Animal Science* 70: 1159-1168.

Kayastha T. B., Dutta S. y Roy R. K. 2012. Impact of supplementation of UMMB licks in the ration of dairy animals. *Vetscan*: 107-110.

Kern D. L., Slyter L. L., Weaver J. M., Leffel E. C., Samuelsons G. 1973. Pony cecum *vs.* steer rumen: The effect of oats and hay on the microbial ecosystem. *Journal of Animal Science* 37: 463-469.

Kienzle E., Zeyner, A. 2010. The development of a metabolizable energy system for horses. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* (Berl) 94: e231-240.

Kitessa S. M., Gulati S. K., Ashes J. R., Flek E., Scott T. W., Nichols P. D. 2001. Utilization of fish oil in ruminants I. Fish oil metabolism in sheep. Animal Feed Science and Technology 89: 189-199.

Kleiber M. 1932. Body size and metabolism. *Hilgardia* 6: 315-351.

Kleiber M. 1947. Body size and metabolic rate. *Physiological Reviews* 27:511-541.

Knowles M. de las M. 2011. Efecto de la fuente y el nivel de almidón en la dieta de vacas Holstein lactantes sobre la producción y el contenido de proteína en la leche. Tesis de Maestría en Ciencias Producción Animal, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia.

Kobayashi K. 2010. Abatement of methane production from ruminants: trends in the manipulation of rumen fermentation. *Asian-Australian Journal of Animal Science* 23: 410-416.

Koch R. M., Swiger L. A., Chambers D. y Gregory K. E. 1963. Efficiency of feed use in beef cattle. *Journal of Animal Science* 22: 486-494.

Krehbiel C. R., Stock R. A., Shain D. H., Richards C. J., Ham G. A., McCoy R. A., Klopfenstein T. J., Britton R. A., Huffman R. P. 1995. Effect of level and type of fat on subacute acidosis in cattle fed dry-rolled corn finishing diets. *Journal of Animal Science* 73: 2438-2446.

Kurt M. K., Atkinson J. L. 1983. The apparent digestibilities of captive tigers (Panthera tigris spp.). Proceedings of the Third Annual Dr. Scholl Conference on the nutrition of captive wild animals, Chicago Park District and Lincoln Park Zoological Society, pp. 70-83.

Lagos L.V., Lee S.A., Bedford M.R., Stein H.H. 2021. Formulation of diets for pigs based on a ratio between digestible calcium and digestible phosphorus results in reduced excretion of calcium in urine without affecting

retention of calcium and phosphorus compared with formulation based on values for total calcium. *Journal of Animal Science* 99(5): skab138.

Lana R. P., Fox D. G., Russell J. B., Perry T. C. 1997. Influence of monensin on Holstein steers fed high-concentrate diets containing soybean meal or urea. *Journal of Animal Science* 75: 2571-2579.

Landes A. D., Hassel D. M., Funk J. D. y Hill A. 2007. Fecal sand clearance is enhanced with a product combining probiotics, prebiotics, and *psyllium* in clinically normal horses. Proceedings of the American Association of Equine Practitioners 52: 527-528.

Lao J. 2002. Efecto de la suplementación de microminerales en el engorde intensivo de bovinos. Tesis Escuela de Posgrado. Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.

Lara A., Mendoza G. D., Landois L., Bárcena R., Sánchez T., Rojo R., Ayala J., Vega S. 2006. Milk production in Holstein cows supplemented with different levels of ruminallly protected methionine. *Livestock Science* 105: 105-108.

Laundré J. W. 2005. Puma energetics: a recalculation. *Journal of Wildlife Management* 69:723-732.

Lawrence L. A., Lawrence, T. J. 2007. Development of the Equine Gastrointestinal Tract. In: Advances in Equine Nutrition IV. Pagan J. D. (ed.), Kentucky Equine Research, Versailles, Kentucky, pp.173-184.

Laztity R., Laztity L. 1995. Phytic acid in cereal technology. In: Advances in cereal science and technology, Pomeranz Y. (ed.), American Association of Cereal Chemists, pp. 309-372.

Lee R. H. A., Mendoza G. D., González S. S. 2011. Modelo de predicción empírico para estimar consumo de alimento en explotaciones de ovinos en condiciones intensivas. XXXIX Reunión Anual de la Asociación Mexicana de Producción Animal y Seguridad Alimentaria, A. C. Chapingo, México, p. 329.

Lee R. H. A. y Mendoza G. D., González S. S. 2012. Effect of calcium propionate and sorghum level on lamb performance. *Animal Feed Science and Technology* 177: 237-241.

Leopold, A. S. 1959. Wildlife of Mexico. The Game Birds and Mammals. *University of California Press*.

Lippke H. 1986. Regulation of voluntary intake of ryegrass and sorghum forages in cattle by indigestible neutral detergent fiber. *Journal of Animal Science* 63: 1459-1468.

Lippke H. 2002. Estimation of forage intake by ruminants on pasture. *Crop Science* 42: 869-872.

Lofgreen G. P., Garrett W. N. 1968. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. *Journal of Animal Science* 27: 793-806.

López G. S. J., Cobos M., Mendoza M. G. D. y Camacho M. A. 2014. The effect of commercial additive (Toxic-chec) and propionic acid on the fermentation and aerobic stability of silage with pig excreta. *American Journal of Experimental Agriculture* 4: 1820-1831.

Lyons R. K., Stuth J. W., Huston J. E. y Angerer J. P. 1993. Predictions of the nutrient composition of the diets of supplemented versus unsupplemented grazing beef cows based on near-infrared reflectance spectroscopy of feces. *Journal of Animal Science* 71: 530-538.

Majdoub-Mathlouthi L., Said B., Say A. y Kraiem K. 2013. Effect of concentrate level and slaughter body weight on growth performances, carcass traits and meat quality of Barbarine lambs fed oat hay based diet. *Meat Science* 93: 557-563.

Mainka S.A., Zhao G., Mao L. 1989. Utilization of a bamboo, sugar cane, and gruel diet by two juvenile giant pandas (Ailuropoda melanoleuca). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 20:39–44.

Maquivar L. M. G., Galina C. S., Mendoza M. G. D., Verduzco G. A. R., Galindo B. J. R. y Molina S. R. y Estrada S. K. 2006b. Predicción de la ganancia diaria de peso mediante el uso del modelo NRC en novillas suplementadas en el trópico húmedo de Costa Rica. *Revista Científica FCV-LUZ* 16: 634-641.

Maquivar M., Galina C., Verduzco A., Galindo J., Molina R., Estrada S. y Mendoza M. G. D. 2006a. Reproductive response in supplemented heifers in the humid tropics of Costa Rica. *Animal Reproduction Science* 93: 16-23.

Marinova P., Popova T., Banskalieva V., Raicheva E., Ignatova M., Vasileva V. 2007. Effect of fish oil supplemented diet on the performance, carcass composition and quality in lambs. *Bulgarian Journal of Agricutural Science* 13: 729-737.

Martin C., Doreau M., Morgavi D. P. 2008. Methane mitigation in ruminants: from rumen microbes to the animal. International Conference of the British Society of Animal Science on Livestock and Global Climate Change, Hammamet, Tunisie, pp. 130-133.

Martin C., Ferlay A., Chilliard Y. y Doreau M. 2007. Rumen methanogenesis of dairy cows in response to increasing levels of dietary extruded linseeds.

2nd International Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition, Vichy, France, pp. 609-610.

Martin C., Morgavi D. P. y Doreau M. 2009. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. The Animal Consortium 4: 351-365.

Martin R. J. y Wing J. M. 1966. Effect of molasses level on digestibility of a high concentrate ration and on molar proportions of volatile fatty acid produced in the rumen of dairy steers. *Journal of Dairy Science* 49: 846-849.

Martínez A. 2008. Factores nutricionales que deben considerarse en el diseño de raciones basadas en forrajes secos y concentrados para caballos de ocio alimentados en pesebre. *Revista Electrónica de Veterinaria* 9: 1-20.

Martínez A. A., Mendoza M. G. D., González S., Gómez V. A., Estrada B., De la Cruz E., Cruz A., Brito N. y Pinos R. J. M. 2008. Evaluación *in vitro* de un ensilado de estiércol, rastrojo de maíz y melaza. Universidad y Ciencia 24 (3): 217-250.

Martínez-Aispuro J.A., Mendoza G.D., Cordero-Mora J.L., Ayala-Monter M.A., Sánchez-Torres M.T., Figueroa-Velasco J. L., Vázquez-Silva, G., Gloria-Trujillo A. 2019. Evaluation of an herbal choline feed plant additive in lamb feedlot rations. *Revista Brasileria de Zootecnia* 48: e20190020.

Martínez C. B. 2007. Análisis del proceso de adopción de los bloques multi-nutricionales por ganaderos de pequeña escala del municipio de Villaflores, Chiapas, México. Tesis de Maestría en Ciencias, Programa de Desarrollo Rural, Colegio de Posgraduados.

Martínez-Ávalos A. M. M., Mendoza G. D., Cobos M. A., González S., García-Bojalil C. M., Bárcena R. 1998. Nutritional evaluation of cattle manure silage with molasses for ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 70: 257-264.

Martínez-García J.A., Mendoza-Martínez G.D., Alcantara-Carbajal J.L., Tarango-Arámbula L.A., Sánchez-Torres T., Rodríguez-de Lara R., Hernández-García P.A. 2012. Composición de la dieta y capacidad nutricional de carga del hábitat del conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*) en México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 18(3):423-434.

Massé H., Rochefort L. y Gauthier G. 2001. Carrying capacity of wetland habits used by breeding greater snow geese. *Journal of Wildlife Management* 65: 275-281.

Maynard L. A., Loosli J. K., Hintz H. F. y Warner R. G. 1981. *Nutrición animal*, 7ª ed. McGrawHill. México.

McDonald P., Edwards R. A., Greenhalgh J. F. D. 1987. *Animal Nutrition*, 4th ed. Longman Inc. Nueva York.

McDowell L. R. 1997. Minerals for grazing ruminants in tropical regions. *University of Florida Press*.

McDowell L. R., Conrad J. H., Thomas J. E. y Harris L. E. 1974 Latin American Tables of Feed Composition, University of Florida Dept. of Animal Science.

McDowell, L. R., Velázquez, J. P. y Valle G. 1997. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. University of Florida.

McLeod M. N. y Minson D. J. 1988. Breakdown of large particles in forage by simulated digestion and detrition. *Journal of Animal Science* 66: 992-999.

McNab B. K. 2000. The standard energetics of mammalian carnivores: Felidae and Hyaenidae. *Canadian Journal of Zoology* 78: 2227-2239.

Mellado M., Olvera A., Quero A. y Mendoza G. 2005. Diets of prairie dogs, goats, and sheep on a desert rangeland. *Rangeland Ecology and Management* 58: 373-378.

Mendoza G., Ricalde R. y Fajardo J. 1986. Algunas consideraciones sobre el consumo voluntario en el ganado lechero. *Futuragro*, 1: 1-41.

Mendoza G. D., Aguilera P. U., Aguilera P. M. I., Pérez S. M. A., Hernández G. P. A. Y Espinosa A. E. 2015. Economic evaluation of amylolytic enzymes in finishing lambs diet in Mexico. *Life Science Journal* 12: 10-15.

Mendoza G. D., Loera C. O., Plata F. X., Hernández G. P. A. y Ramírez M. M. 2014b. Considerations on the use of exogenous fibrolytic enzymes to improve forage utilization. *The Scientific World Journal* 2014, article ID 247437, doi.org/10.1155/2014/247437.

Mendoza G. D., Mota N., Plata F. X., Martinez J. A. y Hernández P.A. 2013a. Effects of exogenous glucoamylase from *Aspergillus niger* and grain level on performance of the lambs. *Animal Nutrition and Feed Technology* 13: 391-398.

Mendoza G. D., Plata P. F., Ramírez M. M., Mejía D. M. A., Lee R. H. y Bárcena G. R. 2007. Evaluación de alimentos integrales para el engorde intensivo de ovinos. *Revista Científica FCV-LUZ* 15: 66-72.

Mendoza G. D. M., Cobos M. P. y Ricalde-Velasco R. 1992. Ensilados a base de estiércol de ganado lechero, melaza y rastrojo de maíz en la alimentación de becerras Holstein. *Ciencias Agropecuarias FAUANL* 5(1): 3-7.

Mendoza M. G. D. 1996. Elaboración de suplementos para bovinos en el trópico. En: *Manual de Producción Bovina de Doble Propósito (Carne y Leche) en el trópico "La Rejeguera"*. Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco, pp. 21-38.

Mendoza M. G. D. 1997. Evaluación económica de la suplementación para bovinos en el trópico. II Congreso Internacional de las razas cebuinas. Asociación Mexicana de Criadores de Cebú, Villahermosa, Tabasco, pp. 30-40.

Mendoza M. G. D. 2002. El uso de suplementos para venados. VIII Simposio sobre venados en México. Ing. Jorge Villareal González, Huamantla, Tlaxcala, pp. 59-64.

Mendoza M. G. D., Bravo G. V., Crosby M. G., Hernández M. T., Ricalde R. V., Plata F. P., Aguilar B. V., Méndez J. T. M, Reynoso V. H. R. y Arcos J. L. G. 2004. Metodología propuesta para la estimación de la capacidad nutricional de carga para la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*). Preguntas biológicas de investigación básica. VII Reunión Nacional sobre Iguana Puerto Escondido Oaxaca.

Mendoza M. G. D., Britton R. A., Stock R. A. 1993. Influence of ruminal protozoa on site and extent of starch digestion and ruminal fermentation. *Journal of Animal Science* 71: 1572-1578.

Mendoza M. G. D., Hernández G. P. A., Plata P. F. X. y Martínez G. J. A. 2013b. Evaluación económica del uso de enzimas fibrolíticas en México usadas en rumiantes. XVI Congreso Bienal AMENA. Puerto Vallarta.

Mendoza M. G. D., Hernández G. P. A., Plata P. F. X., Martínez G. J. A. y Miranda R. L. A. 2014a. Engorda intensiva de ovinos con dietas a base de granos. Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco. En: Buenas Prácticas en la Producción Agropecuaria y de Alimentos de Calidad. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, pp. 139-150.

Mendoza M. G. D., Martínez G. J. A., Plata P. F. X. y Sánchez T. M. 2012. Experiencias en el uso de bloques nutricionales en temazates en cautiverio. XIX Congreso Anual de la Asociación Latinoamericana de Parques Zoológicos y Acuarios (ALPZA) IXXX Congreso Anual de la Asociación de Zoológicos y Acuarios de México (AZCARM), Valsequillo Puebla, México. Resumen 12.

Mendoza M. G. D., Ortega M. E. C., Ricalde R. V. y Martínez J. A. G. 2000. Modelos matemáticos para evaluar la tasa de digestión *in vitro* del almidón. *Técnica Pecuaria México* 38: 51-65.

Mendoza M. G. D., Pinos R. J. M., Ricalde R. V., Aranda I. E. y Rojo R. R. 2003. Modelo de simulación para estimar el balance calórico de bovinos en pastoreo. *Interciencia* 28: 202-207.

Mendoza M. G. D., Plata P. F., Villareal O. A. y Franco G. F. 2006. Ventajas de la suplementación en venado cola blanca. Primer Simposium sobre Fauna Cinegética de México, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Tepeaca, Puebla, pp. 1-18.

Mendoza M. G. D., Plata P. F. X, Espinosa P. R. y Lara B. A. 2008. Manejo nutricional para mejorar la eficiencia de utilización de la energía en bovinos. *Universidad y Ciencia* 24: 1-13.

Mendoza M. G. D. y Ricalde R. V. 1993b. Alimentación de ganado bovino con dietas altas en granos. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

Mendoza M. G. D. y Ricalde V. R. 1993a. Alimentación y nutrición de la vaca lechera. III Taller Internacional sobre la calidad de leche. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, pp. 163-193.

Mendoza M. G. D. y Ricalde V. R. 1996. Suplementación en pastoreo. *Memoria Curso Internacional Avanzado de Nutrición de Rumiantes*, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, pp. 1-10.

Menke K. H., Raab L., Salewski A., Steingass H., Fritz D. y Schneider W. 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. *Journal of Agricultural Science* (Camb.) 93: 217-222.

Menke K. H. y Steingass H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from the chemical analysis and the in vitro gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development* 28: 9-52.

Merck. 2014. *The Merck Veterinary Manual.* Ed. S.E. Aiello.

Merrill A. L. y Watt B. K. 1973. Energy value of foods: Basis and derivation, revised. U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook* 74.

Mertens D. 2002. National Forage Testing Association Copyright © 2002-2007 http://www.foragetesting.org/index.php

Mertens D. M. 1993. Kinetics of cell wall digestion and passage in ruminants. In: Jung H.G., Buxton D.R., Hatfield R.D., Ralph J. (eds.), Forage cell wall structure and digestibility, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 535-571.

Mertens D. R. 1973. Application of theoretical and mathematical models to cell wall digestion and forage intake of ruminants. Ph. D. Thesis, Cornell Univ., Ithaca, N.Y.

Mertens D. R. 1977. Dietary fiber components: relationship to the rate and extent of ruminal digestion. *Federation Proceedings* 36: 187-192.

Mertens D. R. y Loften J. R. 1980. The effect of starch on forage fiber digestion kinetics in vitro. *Journal of Dairy Science* 63: 1437-1446.

Mijares L. H., Hernández M. O., Mendoza M. G., Vargas V. L. y Aranda I. E. 2012. Cambio de peso de toretes en pastoreo en el trópico: respuesta a suplementación con bloque multinutricional. *Universidad y Ciencia* 28: 39-49.

Miller K. V. y Wentworth J. M. 2000. Carrying capacity. In: Demarais S., Krausman P. R. (eds.), *Ecology and Management of Large Mammals in North America*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, pp. 140-155.

Milligan R. A., Chase L. E., Sniffen C. J., Knoblauch W. A. 1981. Least-cost balanced dairy rations. Newplan Program 31. Department of Animal Science and Department of Agricultural Economics. Cornell University, Ithaca, Nueva York.

Miranda-Romero L. A., Aranda-Osorio G., Vazquez-Mendoza P., Ortiz-Heredia A. y Lara-Bueno A. 2019. Ensilado de esquilmos de nopal; una alternativa alimenticia para la producción de rumiantes. Simposium Nopal y Maguey 2019. Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.

Mokoboki, K., Sebola, N. y Matlabe, G. (2016). Effects of molasses levels and growing conditions on nutritive value and fermentation quality of Opuntia cladodes silage. *Journal of Animal and Plant Sciences* 28: 4488-4495.

Morisse J. P., Maurice R., Boilletot E., Cotte J. P. 1993. Assessment of the activity of fructooligosaccharide on different caecal parameters in rabbits experimentally infected with E. coli O103. *Annales de Zootechnie* 42: 81-87.

Morones E., Mendoza G. D., Martínez J. A., Plata F. X., Palancares C. y Hernández, P. A. 2017. Effect of mineral block supplementation on *in vivo* digestibility and *in vitro* gas production with equine fecal bacteria. *Journal of Equine Veterinary Science*. 53: 81-85.

Moss A. R., Pierre J. J. y Newbold J. 2000. Review article methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales de Zootechnie* 49: 231-253.

Nagy K. A. 1982. Energy requirements of free-living iguanid lizards. In: Burghardt G. M. y Rand A. S. (eds.), *Iguanas of the World: their Behaviour, Ecology and Conservation*, Noyes, Park Ridge, New Jersey, pp. 49-59.

Nastis S. A. y Malechek J. C. 1988. Estimating digestibility of oak browse diets for goats by in vitro techniques. *Journal of Range Management* 41: 255-259.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2021. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Eighth revised ed. Washington, DC.

Ndlovu L. R. y Buchanan-Smith J. G. 1985. Utilization of poor quality roughages by sheep: Effects of alfalfa supplementation on ruminant parameters, fibre digestion and rate of passage from rumen. *Canadian Journal of Animal Science* 65: 693-703.

Nie Y., Speakman J.R., Wu Q., Zhang C., Hu Y., Xia M., Yan L., Hambly C., Wang L., Wei W., Zhang Z., Wei F. 2015. Exceptionally low daily energy expenditure in the bamboo-eating giant panda. *Science* 349:171–174.

Noblet J., Valancogne A. y Tran, G. 2008. EvaPig–Evaluation of Pig feeds. Equations and coefficients. Version 1.0. INRA, UMR SENAH, AFZ and Ajinomoto Eurolysine S.A.S.

Nouel G., Espejo M., Sánchez R., Hevia P., Alvarado H., Brea, A. y Mejías G. 2003. Consumo y digestibilidad de bloques nutricionales para conejos, compuestos por tres forrajeras del semiárido comparadas con soya perenne. *Bioagro* 15: 23-30.

NRC. 1977. Nutrient Requirements of Rabbits, Second revised ed. National Research Council. National Academy of Sciences, Washington, D.C.

NRC. 1982. United States-Canadian Tables of Feed Composition: Nutritional Data for United States and Canadian Feeds. Third revision ed. National Academy Press, Washington, D.C.

NRC. 1984. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 6th revised ed. National Academy of Sciences. National Academy of Sciences, Washington, DC.

NRC. 1985. Nutrient Requirements of Dogs. National Academy of Sciences, Washington, D.C.

NRC. 1985. Nutrient requirements of Sheep. National Academy of Sciences, Washington, D.C.

NRC. 1987. Predicting Feed Intake of Food- Producing Animals. National Research Council. National Academy of Sciences, Washington, D.C.

NRC. 1989. Nutrient Requirements of Horses, 5th ed. National Academy of Sciences, Washington, D.C.

NRC. 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle, 7th revised ed. National Academy Press, Washington, D.C.

NRC. 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle, Seventh revised ed. National Research Council. National Academy of Sciences, Washington, D.C.

NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Seventh Revised Edition. National Academy Press, Washington, D.C.

NRC. 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants, Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. National Academy Press, Washington, D.C.

NRC. 2012. Nutrient Requirements of Swine. Eleventh revised ed. National Academy of Sciences. Washington, D.C.

Oetzel G. R. y Barmore J. A. 1993. Intake of a concentrate mixture containing various anionic salts fed to pregnant, nonlactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 76: 1617-1623.

Oetzel G. R., Olson J. D., Curtis C. R. y Fettman M. J. 1988. Ammonium chloride and ammonium sulfate for prevention of parturient paresis in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 71: 3302-3309.

Oetzel G. R., Villalba F. P., Goodger W. J. y Nordlund K. V. 1993. A comparison of on-farm methods for estimating the dry matter content of feed ingredients. *Journal of Dairy Science* 76: 293-299.

Ohio State University. 2014. *Horse Nutrition. Bulletin* 762-00. http://ohioline.osu.edu/b762/b762_7.html

Oklahoma State University. 1990. Feeding and Managing Market Lambs and Replacement Ewe Lambs. Oklahoma Cooperative Extension Service. Division of Agricultural Sciences and Natural Resources. No. 572.

Olukosi O. A., Sands J. S. y Adeola O. 2007. Supplementation of carbohydrases or phytase individually or in combination to diets for weanling and growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science* 85: 1702-1711.

Ortega G. C., Hernández O., Vargas L., Mendoza G. D., Martínez P. A., Avendaño L. 2010. Sensitivity analysis of 1996 National Research Council model for supplemented grazing beef cattle. *Cuban Journal of Agricultural Sciences* 44: 1-7.

Ortega N. G. C. 2006. Evaluación del modelo NRC 1996 para ganado suplementado con caña de azúcar enriquecida. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Posgraduados.

Ortíz-Heredia M., Miranda-Romero L., Lara-Bueno A., Martínez-Hernández P., Sánchez del Real G. y Aranda-Osorio G. 2013. Comportamiento productivo de corderos con dietas de harina de nopal y ensilado de nopal-tuna. La Contribución del sector pecuario a la seguridad alimentaria en México. Chay, A. y Casanova, F. (eds.), Universidad Autónoma de Tabasco, México: 445-449.

Orzuna-Orzuna J.F., Dorantes-Iturbide G., Lara-Bueno A., Mendoza-Martínez G.D., Miranda-Romero L.A., Hernández-García P.A. 2021. Effects of dietary tannins' supplementation on growth performance, rumen fermentation, and enteric methane emissions in beef cattle: a meta-analysis. Sustainability 13: 7410. https://doi.org/10.3390/su13137410

Osuji P. O., Nsahlai I. V. y Khalili H. 1993. Feed evaluation. ILCA Manual 5. ILCA (International Livestock Centre for Africa) Addis Ababa, Ethiopia.

Pacheco L. F., Lucero A., Villca M. 2004. Dieta del puma (*Puma concolor*) en el Parque Nacional Sajama, Bolivia y su conflicto con la ganadería. *Ecología en Bolivia* 39: 75-83.

Pagan J. 2007. Feedsuffs for horses. http://freedownload.is/ppt/feedstuffs-for-horses.

Pagan J. D. 1998. Measuring the digestible energy content of horse feeds. In: Pagan JD (Ed.), Advances in Equine Nutrition, *Nottingham University Press* Nottingham, UK, pp. 71-76.

Pagan J. D. 2009. Forages: The Foundation for Equine Gastrointestinal Health. In: Advances in Equine Nutrition IV, Pagan J. D. (ed.), Kentucky Equine Research, Versailles, Kentucky, pp. 17-24.

Pagan J. D. y Hintz H. F. 1986. Equine energetics. I. Relationship between body weight and energy requirements in horses. *Journal of Animal Science* 63: 815-821.

Pagan J. D., Lawrence T. J. y Lawrence L. A. 2007. Feeding protected sodium bicarbonate attenuates hindgut acidosis in horses fed a high grain ration. Proceedings of the American Association of Equine Practitioners 52: 530-533.

Pagan J. D. y Nash D. 2009. Nutrition of the young equine athlete. In: Advances in Equine Nutrition IV, Pagan J .D. (ed.), Kentucky Equine Research, Versailles, Kentucky, pp. 161-171.

Palmer W. L. y Cowan R. L. 1980. Estimating digestibility of deer foods by an in vitro technique. *Journal of Wildlife Management* 44: 469-472.

Paul Chr. y Mika V. 1981. Landbauforsch. *Volkenrode* 31: 163-169.

Peoples A. D., Lochmiller R. L., Leslie D. M. y Engle D. M. 1994. Producing northem bobwhite food on sandv soils in semiarid mixed prairies. *Wildlife Society Bulletin* 22: 204-211.

Pérez A. P. 1995. Nutrición y alimentación del caballo XI Curso de Especialización FEDNA.

Pérez-Marín D. C., Garrido-Varo A., Guerrero-Ginel J. E. y Gómez-Cabrera, A. 2004. Near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) for the mandatory labelling of compound feedingstuffs: chemical composition and open-declaration. *Animal Feed Science and Technology* 116: 333-349.

Petrie M. J., Drobney R. D. y Graber D. A. 1997. Evaluation of true metabolizable energy for waterfowl. *Journal of Wildlife Management* 61: 420-425.

Pianka E. R. 1973. The structure of lizard communities. *Annual Review of Ecology*. Systems 4: 53-74.

Pinos R. J. M., González M. S., Mendoza M. G. D., García J. C., Miranda L., De la Cuz G. Y De Lerma V. 2005. Efecto de enzimas fibrolíticas exógenas en la degradación in vitro de ingredientes alimenticios y en la producción de leche de vacas Holstein. *Interciencia* 30: 752-757.

Pinos R. J. M., González S. M., Mendoza G. D., Bárcena R. G. y Cobos M. 2002. Efecto de enzimas exógenas en la digestibilidad *in vitro* de la pared celular de heno de alfalfa (*Medicago sativa*) o de Ballico (*Lolium perenne*). *Interciencia* 27: 28-32.

Pintle A. L. L. 2012. Valor nutritivo de la dieta de oso panda (*Ailuropoda melanoleuca*) de la dirección general de zoológicos y vida silvestre. Tesis médico veterinario zootecnista, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM.

Plascencia A., Mendoza G., Vázquez C. y Zinn R.A. 2003. Relationship between body weight and level of fat supplementation on fatty acid digestion in feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 81: 2653-2659.

Plata F. X., Ebergeny S., Resendiz J. L., Villareal O., Bárcena R., Viccon J. A. y Mendoza G.D. 2009. Palatabilidad y composición química de alimentos consumidos en cautiverio por el venado cola blanca de Yucatán (*Odocoileus virginianus yucatanensis*). *Archivos de Medicina Vetertinaria* 41: 123-129.

Plata F. X., Martínez J. A., Mendoza G. D., Hernández, P. A., Bárcena R. Y Villarreal. O. A. 2013. Incorporación de la cobertura de escape en un modelo de capacidad de carga para venado de cola blanca. *Archivos de Medicina Veterinaria* 45: 91-97.

Plata F. X., Mendoza G. D., Viccon J. A., Barcena R. y Clemente F. 2010. Comparación de métodos para estimar la capacidad de carga para venado cola blanca. XXXV Congreso de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia. Valladolid, España.

Plata F. X., Mendoza G. D., Viccon J. A., Bárcena R., Sánchez C. F. y Villarreal, O. A. 2011. Adecuación y análisis de sensibilidad de un modelo para la

estimación de la capacidad de carga del hábitat de venado cola blanca. *Archivos de Medicina Veterinaria* 43: 267-275.

Plata P. F., Mendoza G. D., Bárcena R. G. y González S. M. 1994. Effect of a yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) on neutral detergent fiber digestion in steers fed oat straw diets. *Animal Feed Science and Technology* 49: 203-210.

Plata P. X., Ricalde R. V., Melgoza L. M. C., Lara A. B., Aranda E. I. y Mendoza M. G. D. 2004. Un cultivo de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) y la monensina sódica en el comportamiento productivo de ovinos. *Rev. Cient. FCV-LUZ* 14: 522-525.

Poppi D., Minson D., Teruouth J. 1981. Studies of cattle and sheep eating leaf and stem fractions of grasses. II. Factors controlling retention of food in the reticulo-rumen. *Australian Journal of Agricultural Reserarch* 32: 109-121.

Poppi D. P., Hendricksen R. E. y Minson D. J. 1985. The relative resistance to escape of leaf and stem particles from the rumen of cattle and sheep. *Journal of Agricultural Science* (Camb.): 105: 9-14.

Prothero J. 1984. Scaling of standard energy metabolism in mammals: I. Neglect of circadian rhythms. *Journal of Theoretical Biology* 7: 1-8.

Ramírez G. R. 2004. Nutrición del venado cola blanca. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

Ramírez G. R., Haenlein G. F. W., Treviño A. y Reyna J. 1996. Nutrient and mineral profile of white-tailed deer (*Odocoileus virginanus*, texanus) diets in northeastern Mexico. *Small Ruminant Research* 23: 7-16.

Ramírez G. R., Quintanilla J. B. y Aranda J. 1997. White-tailed deer food habits in northeastern Mexico. *Small Ruminant Research* 25: 141-146.

Ramírez R. G., Haenlein G. F. W., Treviño A. y Reyna J. 2009. Nutrient and mineral profile of White-tailed deer (*Odocoileus virginianus*, texanus) diets in northeastern Mexico. *Small Ruminant Research* 23: 7-16.

Ramos E., Pino J. M. y Cuevas C. S. 1998b. Insectos comestibles del Estado de México y determinación de su valor nutritivo. Anales del Instituto de Biología de la UNAM. *Serie Zoología* 69: 65-104.

Ramos J. A., Mendoza M. G. D., Aranda I. E., García B. C. y Bárcena G. R. 1995. Caracterización del nitrógeno del pasto estrella con dos sistemas: proteína metabolizable y proteína cruda digestible. *Revista de la Facultad de Agronomía LUZ* 12: 209-220.

Ramos J. A., Mendoza M. G. D., Aranda I. E., García-Bojalil C., Bárcena G. R. y Alanís R. J. 1998a. Escape protein supplementation of growing steers grazing stargrass. *Animal Feed Science and Technology* 70: 249-256.

Razo O.P.B., Mendoza M.G.D., Vázquez G., Osorio T.A.I., González S.J.F., Hernández P.A., de la Torre H.M.E., Espinosa A.E. 2020. Polyherbal feed additive for lambs: effects on performance, blood biochemistry and biometry. *Journal of Applied Animal Research* 48(1):419-424.

Reddy N. R., Sathe S. K. y Pierson M. D. 1988. Removal of phytate from great northern beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Science* 53: 107-110.

Ribeiro, K. D. O., Garcia, M. C., Oliveira, A. R., Soares Junior, M. S. y Caliri, M. 2019. Characterization and proposal of potential use in foods of co-products from waxy maize wet milling. *Food Science and Technology* 39(2): 315-320.

Rios L. y Combellas J. 1996. Efecto de la suplementación con bloques multinutricionales sobre el crecimiento de bovinos de doble propósito pastoreando durante la estación seca. *Revista de la Facultad de Agronomía (Luz)* 13: 751-760.

Riquelme V. E. 1983. Metabolismo de energía. Colegio de Posgraduados, Centro de Ganadería. Chapingo, México. Notas del curso primavera 1983.

Robbins T. C. 1993. *Wildlife feeding and nutrition*. Second ed. Academic Press, Inc. Nueva York.

Robel R. J., Bisset A. R., Clement T. M., Dayton A. D. y Morgan K. L. 1979a. Metabolizable energy of important foods of bobwhites in Kansas. *Journal of Wildlife Management* 43: 982-987.

Robel R. J., Bisset A. R., Dayton A. D. y Kemp K. E. 1979b. Comparative energetics of bobwhites on six different foods. *Journal of Wildlife Management* 43: 987-992.

Roberfroid M. B. 1999. Caloric value of inulin and oligofructose. *Journal of Nutrition* 129: 1436S-1437S.

Rojo R.R. 1997. Consumo y digestibilidad de pastos tropicales en toretes con suplementación nitrogenada y *Saccharomyces cerevisiae*. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillo, estado de México, México.

Romero N. C., Salas M. R., García A. C., Mendoza G. M., Plata P. F., Cervantes M. R., Viana T. y Morales T. A. 2009. Efecto de una fitasa en la digestibilidad y actividad de tripsina y quimiotripsina en cerdos destetados. *Archivos de Zootecnia* 58: 363-369.

Rook, J. S. 2004. Feedlot Lamb Nutrition. MSU Extension & Ag Experiment Station. College of Veterinary Medicine.

Rosas-Rosas O., Valdez R. y Bender L. C. 2008. Jaguar and puma predation on cattle calves in Northeastern Sonora, Mexico. *Rangeland Ecology and Management* 61: 554-560.

Rosas-Rosas O., Valdez R., Bender L. C. y Daniel D. 2003. Food habits of pumas in Northwestern Sonora, Mexico. *Wildlife Society Bulletin* 31: 528-535.

Rosero N. R., Posada S. L. y Ortiz D. M. 2011. Programación lineal aplicada a la formulación de raciones para rumiantes. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia* 6: 53-60.

Rueda S.M.P. 2010. Determinación de la dieta del jaguar (*Panthera onca*) y puma (*Puma concolor*) en el Municipio de Tamasopo, San Luis Potosí. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillo, estado de México, México.

Rueda Z. P., Mendoza G. D., Crosby M. M. González G. y Reynoso V. H. 2010. Effect of feed type and sex on digestibility and feed efficiency utilization in black spiny-tailed iguana (*Ctenosaura pectinata*). *Zoo Biology* 29: 1-6.

Rueda-Zozaya P. R., Mendoza G. D., Martínez D. Y Rosas-Rosas O. C. 2013. Determination of the jaguar (*Panthera onca*) and puma (*Puma concolor*) diet in a tropical forest in San Luis Potosi, Mexico. *Journal of Appled Animal Research* 41: 484-489.

Sáenz L.L. 2004. La nutrición y alimentación del caballo Compendio bibliográfico. https://es.calameo.com/books/000366755bf52f4956f2e

Salas M., Martínez A., Mendoza M. G. D, Romero N. C., García C. A., Plata P. F. 2008. El uso de fitasas en la alimentación de cerdos. *Porcicultores* 66: 141-146.

Salas M. R, Torres A. I., Villarreal D. E., Juárez S. M. E. y Azaola A. 2013. Inulin as a growth promoter in diets for rabbits. *Revista Brasileira de Zootecnia* 42: 885-891.

Salas R. M. 2008. Efecto de fitasa de Aspergillus niger en la digestibilidad de nutrientes y actividad de tripsina y quimotripsina en cerdos destetados. Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

Salem H. B. y Nefzaoui A. 2003. Feed blocks as alternative supplements for sheep and goats. *Small Ruminant Research* 49: 275-288.

Samuelson K. L., Hubbert M. E., Galyean M. L., Löest C.A. 2016. Nutritional recommendations of feedlot consulting nutritionists: The 2015 New Mexico State and Texas Tech University survey. *Journal of Animal Science* 94:2648–2663.

Sánchez L. N. 2014. Evaluación de la adición de aceite de pescado en dietas para ovinos en finalización. Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

Sánchez T. M., Mendoza G. D., Gual-Sill F., Plata F. X., Martínez J. A., Lee H. y Crosby M. M. 2013. The effect of Muhlenbergia macroura dietary level on intake, digestibility and weight changes in volcano rabbit (*Romerolagus diazi*). *Journal of Applied Animal* Research 41: 234-239.

Sánchez T. M. 2009. Efecto del nivel de Muhlenbergia macroura sobre peso, consumo y digestibilidad en el conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*). Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco.

Sanginés R., González S., Garcia B. C., Mendoza G. y García M. 1989. Effect of zeranol and mineral supplementation on compensatory growth in lambs. I. Compensatory growth. *Journal of Animal Science* 67 (Suppl.1): 570(Abstr.).

Santiago H. R., Teixeira L. F. A., Lopes J. D., Cesar P. G., De Oliveira R. F., Clementuino D. L., Soares A. F. y De Toledo S. L. B. 2005. Brazilian tables for poultry and swine. Composition of feedstufs and nutritional requirements. Universidade Federal de Vicosa – Departmento de de Zootecnia, Brazil.

Schaller G. B., Jinchu H., Wenshi P. y Jing Z. 1985. The giant pandas of Wolong, 1st ed. *University of Chicago Press*.

Schingoethe D. J., Stegeman G. A. y Treacher J. R. 1999. Response of lactating dairy cows to a cellulase and xylanase enzyme mixture applied to forages at the time of feeding. *Journal of Dairy Science* 82: 996-1003.

Sharma L. C., Yadav P. S., Mandal A. B. y Sunaria K. R. 2004. Effect of varying levels of dietary minerals on growth and nutrient utilization in lambs. *Asian-Australian Journal of Animal Science* 17: 46-52.

Shenk J., Westerhaus M. 1995. The application of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to forage analysis. In: Fahey G.C. (ed.), Forage Quality Evaluation and Utilization, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 406-449.

Shipley L. A., Davila T. B., Thines N. J. y Elias B. A. 2006. Nutritional requirements and diet choices of the pygmy rabbit (*Brachylagus idahoensis*): A sagebrush specialist. *Journal of Chemical Ecology* 32: 2455-2474.

Shirima E. J. M., Mtenga L. A., Kimambo A. E., Laswai G. H., Mgheni D. M., Mushi D. E., Shija D. S. y Safari D. G. 2012. Economic analysis of Tan-

zanian long fat-tailed sheep with different ages at entry to the feedlot and level of molasses concentrate diet. *Livestock Research for Rural Development* 24: article 8.

Sims J. A., Parsons J. L., Bissell H. A., Sikes R. S., Ouellette J. R. y Rude B. J. 2007. Determination of bamboo-diet digestibility and fecal output by giant pandas. *Ursus* 18: 18-45.

Sirois P. K. 2009. Making nutrient composition tables relevant. In: Advances in Equine Nutrition IV, Pagan J. D. (ed.), Kentucky Equine Research, Versailles, Kentucky, pp. 7-15.

Sisneros E., Garcia-Bojalil C., Escobedo F., Garcia Winder M. 1989. Effects of mineral supplementation on reproductive performance of *Bos taurus* x *Bos indicus* cows. World Buiatrics Congress 2014 Cairns Australia.

Smith L. W., Goering H. K. y Gordon C. H. 1972. Relationships of forage compositions with rates of cell wall digestion and indigestibility of cell walls. *Journal of Dairy Science* 55: 1140-1147.

Soria-Díaz L., Monroy-Vilchis O., Rodríguez-Soto C., Zarco-González M. y Urios V. 2010. Variation of abundance and density of *Puma concolor* in zones of high and low concentration of camera traps in central Mexico. *Animal Biology* 60: 361-371.

Sosa A., Galindo J. y Bocourt, R. 2007. Metanogénesis ruminal: aspectos generales y manipulación para su control. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas* 41: 105-114.

Soto C. R. y Martínez R. D. 2001. Utilización de bloques de melaza y urea en la engorda intensiva de becerros criollos. 2001. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 9: 99-103.

Souza K. A., Ramos de Carvahho F. R., Chavez V. A. S., Ferreira de Andrade M., Germano C. R., Vieira B. A. M., Nunes de Medeiros A., Maior J. J. S., Bezerra de Andrade D. K. 2003. Dietary levels of energy for Santa Ines sheep: performance. *Revista Brasileira de Zootecnia* 32: 1937-1944.

Spalinger D. E., Robbins C. T. y Hanley, T. A. 1986. The asessment of handling time in ruminants: the effect of plant chemical and physical structure on the rate of breakdown of plant particles in the rumen of mule deer and elk. *Canadian Journal of Zoology* 64: 312-321.

Sprinkle J. 2008. Feeding Management for Show Lambs. Arizona Cooperative Extension AZ1053.

Stanton T. L. y LeValley S.B. 2006. Lamb Feedlot Nutrition. Colorado State University. Livestock Series Management. Fact Sheet no. 1.613.

Storm I. M. L. D., Hellwing A. L. F., Nielsen N. I. y Madsen J. 2012. Methods for measuring and estimating methane emission from ruminants. *Animals* 2: 160-183.

Stuth J. W. y Sheffield W. J. 2001. Determining carrying capacity for combinations of livestock, white-tailed deer and exotic ungulates. *In: Wildlife Management Handbook*, Texas A & M University System, Texas, pp. 5-12.

Suresh C., Das A., Katole S., Saini M. y Swarup D. 2013. Effect of Concentrate Supplementation on feed consumption, nutrient utilization and blood metabolite profile in captive spotted deer (*Axis axis*) fed oat (*Avena sativa*) and berseem (*Trifolium alexandrinum*) fodders based diet. *Zoo Biology* 32: 195-203.

Tedeschi L. O. 2006. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agricultural Systems* 89: 225-247.

Theodorou M. K., Williams B. A., Dhanoa M. S., McAllan A. B. y France, J. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology* 48: 185-197.

Tirado-Estrada G., Mendoza-Martínez G. D., Pinos-Rodríguez J. M., Quezada-Tristna T. Y Guevara-Lara F. 2011. Effects of two fibrolytic enzyme mixtures on growth performance, digestion and ruminal fermentation in lambs fed corn stover based diets. *Journal of Applied Animal Research* 39: 158-160.

Toppo S., Verma A. K., Dass R. S. y Mehra U. R. 1997. Nutrient utilization and rumen fermentation pattern in crossbred cattle fed different planes of nutrition supplemented with urea molasses mineral block. *Animal Feed Science and Technology* 64: 101-112.

Toral P. G., Belenguer A., Frutos P. y Hervas G. 2009. Effect of the supplementation of a high-concentrate diet with sunflower and fish oils on ruminal fermentation in sheep. *Small Ruminant Reserarch* 81: 119-125.

Tovar M.R. 1990. Sincronización de energía y proteína de ingredientes en el rumen. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillo, estado de México, México.

Troyer K. 1984. Diet selection and digestion in Iguana iguana: The importance of age and nutrient requirements. *Oecologia* 61: 201-207.

Trujillo F. V. 1978. Métodos matemáticos para la formulación de raciones balanceadas en la producción animal. CENAPRO, México.

Trujillo F. V. 1987. *Métodos matemáticos en la nutrición animal*, segunda ed. McGraw-Hill, México.

Tucker W. B., Harrison G. A. y Hemken R. W. 1988. Influence of dietary cation-anion balance on milk, blood, urine, and rumen fluid in lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 71: 346-354.

Turk M., Sandberg A.S., Carlsson N.G. y Andlid T. 2000. Inositol hexaphosphate hydrolysis by baker's yeast. Capacity, kinetics and degradation products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 100-104.

U.S. Dept. of Agriculture, *Agriculture Handbook*. No. 74.

Uden P. T., Rounsaville R., Wiggans G. R. y Van Soest P. J. 1982. The measurement of liquid and solid digesta retention in ruminants, equines and rabbits given timothy (*Phleum pratense*) hay. *British Journal of Nutrition* 48: 329-339.

Ünal Y., Kaya I. y Öncüer A. 2005. Use of urea–molasses mineral blocks in lambs fed with straw. *Revue Medicine Veterinary* 156: 217-220.

Urness P. J. 1973. Part II: Chemical analyses and *in vitro* digestibility of seasonal deer forages. Deer nutrition in Arizona chaparral and desert habitats. Arizona Game. *Forest and Range Experiment Station. Special Report* No. 3, Arizona, pp. 1-37.

USDA. 2002. Nutrient composition of whole vertebrate prey (excluding fish) fed in zoos. www.nal.usda-gov/awic/zoo.

Usman F. M., Siddiqui M.M. y Habib G. 2004. Effect urea–molasses block supplementation on nutrient digestibility and intake of ammoniated maize stovers in cow–calves. *Pakistan Veterinary Journal* 24: 13-17.

Valdez E. 2011. Práctica de formulación de dietas. Taller de nutrición de zoológicos. Congreso Veterinario León, Gto., México.

Valério G. L. J., Agosthinho M. A., Lima C. R., Garcia J., Da Silva C. L., Joana T.R., De Souza M. O. y Zeoula L. M. 2013. Intake, apparent digestibility and ruminal characteristics of the lambs fed with increasing levels of concentrate in tropical environment in the Valley of Guaporé–MT. Semina: Ciências Agrárias 34: 2497-2510.

Van Keulen J. y Young B. A. 1977. Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science* 44: 282-287.

Van Marken W. D. L. 1992. Digestion in an ectothermic herbivore, the green iguana (Iguana iguana): Effect of food composition and body temperature. *Physological Zoology* 65: 649-673.

Van Marken W. D. L., Wesselingh R. A., Vogel J. T. y Albers K. B. 1993. Energy budgets in free-living green iguanas in a seasonal environment. *Ecology* 74: 1157-1172.

Van Soest P. J. 1994. Nutritional ecology of the ruminants. Comstock Publishing Associates, *Cornell University Press*. Ithaca and London.

VandeHaar M. J. y Black J. R. 1991. Ration formulation using linear programming. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 7: 541-356.

Varga G. A. y Hoover W. H. 1983. Rate and extent of neutral detergent fiber degradation of feedstuffs in situ. *Journal of Dairy Science* 66: 2109-2115.

Varley P. F., Callan J. J. y O'Doherty J. V. 2010. Effect of phosphorus level and phytase inclusion on the performance, bone mineral concentration, apparent nutrient digestibility, and on mineral and nitrogen utilization in finisher pigs. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 49: 141-152.

Vázquez M. P., Miranda R. L. A., Aranda O. G. y Burgueño F. J. A. 2017. Contenido de nutrientes, fermentación *in vitro* y consumo de ensilados de nopal y nopal-tuna por ovinos. Memorias del XLI Congreso Nacional de Buiatría MVZ Eduardo Jaramillo Bolaños. Acapulco, Guerrero.

Vélez H.L. 1997. Importancia de la microbiota cecal en la iguana (*Ctenosaura pectinata*) desde sus hábitos alimenticios. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillo, estado de México, México.

Villareal O. A., Campos L. E., Castillo T. A., Cortes I., Plata P. F. y Mendoza G. D. 2008. Composición botánica de la dieta del venado Temazate rojo (*Mazama temama*), en la sierra nororiental del estado de Puebla. *Universidad y Ciencia* 24: 183-188.

Wachira A. M., Sinclair L. A., Wilkinson R. G., Enser M., Wood J. D. y Fisher A. V. 2002. Effect of dietary fat source and breed on the carcass composition, n-3 polyunsaturated fatty acid and conjugated linoleic acid content of sheep meat and adipose tissue. *British Journal of Nutrition* 88: 697-709.

Waghorn G. C. y Woodward S. L. 2004. Ruminant contributions to methane and global warming –a New Zealand perspective. The Science of Changing Climates– Impact on Agriculture, Forestry and Wetlands, University of Alberta, Edmonton, Alberta Canadian Society of Agronomy, Animal Science, and Soil Science.

Waldo D. R., Smith L. W. y Cox E. L. 1972. Model of cellulose disappearance from the rumen. *Journal of Dairy Science* 55: 125-129.

Wachter B., Blanc A.S., Melzheimer J., Höner, O.P., Jago M., Hofer H. 2012. An advanced method to assess the diet of free-ranging large carnivores based on scats. *PloS one* 7: e38066.

Wei F., Wang X., Wu Q. 2015. The giant panda gut microbiome. *Trends in Microbiology* 23:450–452.

White C.R., Seymour R.S. 2003. Mammalian basal metabolic rate is proportional to body mass 2/3. *PNAS* 100: 4046–4049.

Wachter B., Blanc A.S., Melzheimer J., Höner, O.P., Jago M., Hofer H. 2012. An advanced method to assess the diet of free-ranging large carnivores based on scats. *PloS one* 7(6): e38066.

Welle R., Greten W., Rietmann B., Alley S., Sinnaeve G., Dardenne P. 2003. Near-infrared spectroscopy on chopper to measure maize forage quality parameters online. *Crop Science* 43: 1407-1413.

White C. R. y Seymour R. S. 2005. Allometric scaling of mammalian metabolism. *Journal of Experimental Biology* 208: 1611-1619.

White N. A. 2007. Colic prevalence, risk factors and Prevention. In: Advances in Equine Nutrition IV, Pagan J. D. (ed.), Kentucky Equine Research, Versailles, Kentucky, pp. 313-326.

Wilkins R. J. 1969. The potential digestibility of cellulose in forage and faeces. *Journal of Agricultural Science* (Camb.) 3: 57-64.

Wolin J. M. 1960. A theoretical rumen fermentation balance. *Journal of Dairy Science* 40: 1452-1459.

Wu Y., Hu W. y Liu J. 2005. Effects of supplementary urea-minerals lick block on the kinetics of fibre digestion, nutrient digestibility and nitrogen utilization of low quality roughages. *Journal of Zhejiang Science* 6: 793-797.

Xicato G. y Trocino A. 2010. Energy and protein metabolism. In De Blas C., Wiseman J. (Eds.), *The Nutrition of the Rabbit*, CABI Publishing, United Kingdom, pp. 83-118.

Young C. C. 1998. Defining the range: The development of carrying capacity in management practice. *Journal of History Biology* 31: 61-83.

Zambrano G. R. 1986. Aspectos generales sobre engorda de bovinos en corral. Memorias del Seminario: Engorda de bovinos en corrales. Centro de Ganadería, Colegio de Posgraduados.

Zaragoza H. C., Mendoza G. M., Ibarra S. Z., Crosby M. M. G., Clemente F. S. y Aguilar B. V. 2004. Composición de la dieta de la codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) en el noroeste del Estado de México, México. *Veterinaria México* 35: 215-223.

Zinn R. A. 2004. Effect of salinomycin supplementation on characteristics of digestion and feedlot performance of cattle. *Journal of Animal Science* 63: 1996-2004.

Zinn R. A. 1988. Crude protein and amino acid requirements of growing-finishing Holstein steers gaining 1.43 kilograms per day. *Journal of Animal Science* 66: 1755-1763.

Zinn R. A. 1990. Influence of flake density on the comparative feeding value of steam-flaked corn for feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 68: 767-775.

Zinn R. A. y Mendoza, G. D. 2000. Uso de modelos de simulación para la evaluación de corrales de engorda. Memorias del Congreso Nutrición y manejo de la alimentación en ganado Bovino productor de carne. Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal, A.C. Guadalajara Jal. pp. 5-10.

Zinn R. A., Álvarez E. G. Montano M. F. y Ramírez J. E. 2000. Interaction of protein nutrition and laidlomycin on feedlot growth performance and digestive function in Holstein steers. *Journal of Animal Science* 78: 1768-1778.

Zinn R. A., Barreras A., Owens F. N. y Plascencia A. 2008. Performance by feedlot steers and heifers: daily gain, mature body weight, dry matter intake, and dietary energetics. *Journal of Animal Science* 86: 2680-2689.

Zinn R.A. y Ware R. A. 2007. Forage quality: digestive limitations and their relationships to performance of beef and dairy cattle. http://www.cals.arizona.edu/ans/swnmc/Proceedings/2007/Zinn_2007SWNMC.pdf

Zurita C. M. E., Aguilar B. C. V., González A. E., Mendoza G. D. M. y Arcos J. L. G. 2009. Composición de la dieta, consumo de proteína y energía en iguana negra, *Ctenosaura pectinata* Wiegmann, 1834, y densidad poblacional en Santos Reyes Nopala, Oaxaca. *Universidad y Ciencia* 25: 103-109.

Nutrición animal cuantitativa
se terminó de editar el 30 de marzo de 2022 en
los talleres gráficos de "Guzon Editorial", nathalieguz@hotmail.com.

Se emplearon los tipos Garamond y Ubuntu en diferentes puntos.

Venta en línea a través de:
www.casadelibrosabiertos.uam.mx

Catálogo de acceso abierto:
https://publicaciones.xoc.uam.mx/

Redes sociales:



Programa Editorial CBS
@editorialcbs

Nutrición animal cuantitativa

El libro describe en forma detallada setenta y cuatro ejercicios matemáticos con interpretación biológica, abarcando temas diversos que van desde la composición de alimentos, formulación de raciones, estimación de comportamiento con base al consumo de nutrientes, balances nutricionales, uso de modelos en animales domésticos y estimaciones de capacidad de carga silvestres en animales domésticos y silvestres.

El libro se diseñó para apoyar la formación de estudiantes de Medicina Veterinaria y Zootecnia y de profesiones afines, para desarrollar las competencias profesionales que se requieren en el área de la nutrición animal, presentando conocimiento que les permita evaluar y plantear estrategias de alimentación en unidades de cualquier especie doméstica o silvestre en sistemas intensivos o extensivos. Algunos ejercicios son de interés para los profesionales involucrados en el manejo de fauna en vida libre, ya que se presentan en forma detallada algunos cálculos que no son claros en los artículos científicos. También se presentan los cálculos de cinética de degradación ruminal que son de importancia para los estudiantes a nivel posgrado.

Casi la totalidad de los ejercicios del libro se basan en artículos científicos donde hubo participación y experiencia de al menos uno de los autores, por lo que el libro comparte el conocimiento de 40 años de experiencia en nutrición animal.

Este libro constituye una herramienta relevante para la enseñanza y para fomentar la investigación y será de gran ayuda para los estudiantes de licenciatura, posgrado y profesores de nutrición animal, así como para profesionales involucrados en alimentación animal.

Casa abierta al tiempo

9 786072 827516