

PREDICCIÓN DE REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LOS BOVINOS EN CONDICIONES TROPICALES

D.G. Fox¹
F. Juárez²
A.N. Pell¹
D.P. Lanna³

INTRODUCCIÓN

Nosotros utilizamos al ganado para convertir forrajes, granos y subproductos en alimento para consumo humano, en una gran variedad de sistemas con diferentes suelos, clima, composición alimentaria y tipos de ganado. En el pasado, los ganaderos y especialistas del trópico han usado tablas de composición de alimentos y de requerimientos que han sido desarrolladas en los Estados Unidos bajo condiciones estandarizadas y controladas de investigación y que se emplean para todo tipo de ganado, alimento y condiciones de manejo y de clima. Un análisis de nuestra base de datos (Ainslie *et al.*, 1993 y datos sin publicar) indica que la productividad de las vacas está restringida al nivel permitido por el nutrimento más limitante. La eficiencia energética está influenciada por el balance de aminoácidos. Nuestros análisis indican que una predicción precisa de los requerimientos depende de la posibilidad de estimar éstos y la disponibilidad de carbohidratos, proteína, crecimiento microbiano, TND, EM, EN, incremento calórico (HI), proteína metabolizable (PM), proteína neta y aminoácidos esenciales degradados en el animal. La formulación de raciones para cubrir los cambiantes requerimientos nutritivos del ganado requiere que se consideren los factores que influyen sobre los mismos y la disponibilidad de energía y aminoácidos absorbidos.

La eficiencia de la producción de bovinos en zonas tropicales puede ser mejorada usando modelos que consideren la variación individual, a través de predecir acuciosamente los requerimientos y la utilización del alimento en cada situación productiva particular. A fin de ser útil en cada rancho, el modelo debe ser capaz de utilizar datos que estén generalmente disponibles. Debido a que no todos los datos de entrada que alimentan al sistema están disponibles en cada rancho, este modelo debe permitir ajustes locales de las variables hasta que la producción predicha (ganancia diaria, producción y composición de leche, así como calificación de condición corporal) y la observada coincidan. Las respuestas observadas a cambios en manejo y alimentación

¹Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Cornell, Ithaca, N. Y.. EUA

²Becario INIFAP-CONACYT. México

³Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Cornell. Ithaca. N Y . El 'A

pueden ser explicadas por efectos predichos sobre la fermentación ruminal, digestión intestinal, utilización de energía y aminoácidos y la cantidad y composición de los productos finales. La excreción de nutrientes y los factores de seguridad (que a menudo producen gastos en demasía) se pueden minimizar con el uso de un sistema mejorado de alimentación, diseñado para cada situación particular.

El sistema de proteína y carbohidratos netos de Cornell (CNCPS) fue diseñado con este propósito. Ha sido escrito y validado por Russell *et al.* (1992), Sniffen *et al.* (1992), Fox *et al.* (1992), O'Connor *et al.* (1993), Ainslie *et al.* (1993), Tylutki *et al.* (1994), Fox *et al.* (1995), Pitt *et al.* (1996) y el 1996 Beef NRC. El CNCPS puede ser usado como herramienta de enseñanza para estudiantes y consultores, para diseñar e interpretar experimentos, para aplicar resultados de investigación, para desarrollar tablas de requerimientos nutricionales para vacas de cualquier tipo o nivel de producción y para evaluar y mejorar programas de alimentación en ranchos.

Aunque este documento está escrito con un punto de vista nutricional, es importante recordar que la condición nutricional del animal tiene un efecto significativo sobre su reproducción. La habilidad para obtener un balance energético positivo es importante para la eficiencia reproductiva dado que la ovulación usualmente no sucede hasta 10-14 días después de que la disponibilidad de energía excede a su demanda (NRC, 1996).

Este documento resume la estructura del CNCPS y su aplicación en obtener el balance energético en vacas. Se incluyen además, discusiones de los ajustes adicionales hechos al CNCPS para vacas en el trópico (mantenimiento, tamaño adulto esperado, y producción máxima de leche en razas tropicales y las fracciones de carbohidratos y proteínas de los alimentos tropicales) tal y como lo resumió Lanna *et al.*, (1996) y un ejemplo que es parte de la Tesis doctoral de F. Juárez. El resumen presentado aplica solamente al NRC 1996 para ganado de carne, ya que su estructura es similar al CNCPS.

La estructura del Sistema de Cornell de Carbohidratos y Proteína Neta

Para predecir los requerimientos y la utilización de alimentos en cada situación particular, usamos modelos que integran nuestros conocimientos acerca de los efectos del alimento y su consumo, digestión y tasa de pasaje sobre los valores de energía de los alimentos, el escape de proteína dietaria y la eficiencia del crecimiento microbiano. Un modelo se define como un conjunto de ecuaciones y coeficientes de transferencia que describen las funciones fisiológicas del ganado (Gill *et al.*, 1989). Se incluyen predicciones de requerimientos de tejidos específicos (mantenimiento, crecimiento, preñez, lactancia y reservas tisulares), y abasto de nutrientes para cubrir requerimientos (consumo de materia seca, tamaño del "pool" de proteína y carbohidratos en el alimento y sus tasas características de digestión y paso, crecimiento microbiano, digestión intestinal y el metabolismo de los nutrientes absorbidos).

El objetivo de un modelo es describir matemáticamente la respuesta de cada compartimento, o de varios compartimentos interconectados a una o varias variables. Un modelo se considera mecánico cuando simula el comportamiento de una función usando elementos de un nivel inferior (Gill *et al.*, 1989). La mayoría de las respuestas biológicas **son dinámicas; son** integradas, no lineales y cambian con el tiempo (Savant, 1981). No existe un modelo totalmente mecánico que simule con precisión el total del metabolismo del animal bajo cualquier condición y con poco riesgo (Gill *et al.*, 1989). En la actualidad no contamos con toda la información disponible en todos los compartimentos del modelo como para desarrollar uno de estos modelos (de bajo riesgo) para la formulación de raciones. Esta falta de información impide el desarrollo de un modelo verdaderamente mecanístico en el corto tiempo. La validación adecuada de un modelo mecanístico también presenta problemas porque no se cuenta con datos de validación a los niveles de agregación adecuados.

En la mayoría de los sistemas aplicados (NRC, 1985; NRC, 1989; INRA, 1989; CSIRO, 1990; AFRC, 1993), la predicción del metabolismo de nutrientes no está tan avanzada como la predicción de la fermentación ruminal debido al número y complejidad de los diferentes ciclos metabólicos que ligan el tejido y los compartimentos metabólicos, las múltiples interacciones entre nutrientes, y los sofisticados mecanismos de regulación del metabolismo que dirigen el uso de los nutrientes absorbidos (homeorresis y homeostásis) (Savant, 1991). Por lo tanto, la mayoría de los sistemas usan una combinación de los modelos mecanísticos y empíricos.

Estos sistemas generalmente asumen una cinética estacional y son estáticos. Estos usan representaciones estadísticas de datos para describir la respuesta agregada de todo el compartimento. El proceso de desarrollo del CNCPS ha sido similar a la gestación de otros sistemas y por lo tanto se han enfrentado a problemas similares. El primer problema a resolver es decidir cual es el nivel más adecuado de agregación de las ecuaciones: ¿estamos tratando de modelar funciones celulares, la productividad de un animal o bien de toda la granja?.

El segundo problema es la definición clara del objetivo del modelo. El desarrollo de las ecuaciones para modelar las funciones fisiológicas es esencial y es el corazón del modelo. Otro aspecto importante es decidir la mezcla apropiada de elementos empíricos y mecánicos para representar funciones fisiológicas. Estas decisiones están influenciadas por la disponibilidad de datos de validación y desarrollo, la probabilidad de que los datos de alimentación al sistema estén disponibles y por los beneficios y los riesgos de su uso que están asociados. a la sensibilidad del modelo. Uno de los primeros objetivos al desarrollar el CNCPS fue que el programa fuera útil al nivel de la explotación. Por lo tanto, todos los datos de alimentación al sistema deben de estar disponibles en el rancho y la salida del modelo debe proveer información de diagnóstico que permitiría el refinamiento de los programas de alimentación en cada situación particular. Otro objetivo fué desarrollar una estructura flexible que pudiera ser actualizada y refinada continuamente a medida que se van generando nuevos conocimientos.

El CNCPS contiene una estructura y una jerarquía biológicamente apoyadas que permiten la evaluación de dietas para toda clase de animales sobre una gran variedad de ganado, alimento, condiciones de manejo y medio ambiente con el propósito de ajustar requerimientos de nutrientes y la utilización del alimento. La experiencia de los autores con productores y consultores dictó la estructura y los niveles de agregación del modelo. El desarrollo de submodelos de diferentes funciones fisiológicas (consumo de alimento, fermentación ruminal, digestión intestinal, metabolismo, mantenimiento, crecimiento, preñez, lactación y reservas) permite la incorporación de nuevos conocimientos en la estructura respectiva de los submodelos apropiados. El CNCPS usa información que está disponible universalmente, entendible y aplicable para describir al ganado y que puede ser fácilmente usada en fórmulas programáticas para calcular respuestas. La mayoría de las fracciones críticas de proteínas y carbohidratos pueden ser obtenidas a través de análisis de alimentos en el laboratorio, a pesar de no estar universalmente disponibles. Debido a que en algunos puntos de decisión se requieren conocimientos nutricionales, es preferible que el usuario esté familiarizado con esta disciplina. A causa de la gran sensibilidad del sistema, el riesgo de uso es también alto. Sin embargo, con la experiencia, el CNCPS puede ser usado para evaluar la interacción entre el tipo de animal y el nivel de producción, medio ambiente, composición de los alimentos y factores de manejo. También se pueden identificar modificaciones que deben hacerse para cubrir las necesidades del animal y de la fermentación ruminal bajo una gran variedad de condiciones.

La siguiente sección resume los componentes primarios del CNCPS incluyendo modificaciones para condiciones tropicales. Para más detalles en componente específicos del CNCPS por favor consulte a Russell *et al.* (1992), Sniffen *et al.* (1992), Fox *et al.* (1992), O'Connor *et al.* (1993), Ainlie *et al.* (1993), Tylutki *et al.* (1994), Fox *et al.* (1995), y Pitt *et al.* (1996).

Requerimientos de mantenimiento para energía y aminoácidos

La energía de mantenimiento está determinada por el peso y la tasa metabólica, ajustes para raza, estado fisiológico, tratamiento nutricional previo, actividad, medio ambiente (temperatura y velocidad del aire, superficie del animal y aislamiento) y pérdida o ganancia de calor requerida para mantener la temperatura corporal constante. La proporción del consumo de energía y proteína y su composición necesaria para funciones productivas, no puede predecirse con precisión hasta que las necesidades de mantenimiento no se conozcan. La producción de calor del alimento y del animal y la energía neta deben conocerse a fin de poder estimar el balance energético. Para predecir los requerimientos de aminoácidos se debe conocer la cantidad de nitrógeno endógeno fecal y las pérdidas debidas a la tasa de intercambio metabólico.

Para utilizar el CNCPS en el trópico, el requerimiento de mantenimiento debe ser ajustado. Los coeficientes usados para ajustar los requerimientos de mantenimiento de animales en ayuno con una actividad voluntaria del 10% en los trópicos son: ganado de carne *Bos Taurus*, .077; vacas lecheras *Bos Taurus*, .080; novillos y novillonas *Bos*

Taurus, .086, *Bos Indicus*, .070; y doble propósito, .076. Esta base se ajusta por el efecto de la temperatura del mes previo y la condición corporal para considerar el efecto del plano de nutrición previo. El NRC de 1996 contiene una revisión excelente de los factores que afectan los requerimientos de mantenimiento. Los requerimientos de mantenimiento señalados por el CNCPS están actualmente siendo revisados para considerar en forma más precisa los efectos de actividad voluntaria y de temperaturas por arriba de los 20 °C (Fox y Tylutki, 1997) y estarán en la próxima versión del CNCPS.

Requerimientos de energía y aminoácidos para deposición de tejidos y síntesis de leche

Los requerimientos de crecimiento se basan en la composición esperada de la ganancia de tejido corporal. Esta a su vez es calculada considerando el peso maduro para reemplazos del pie de cría o el peso esperado a un determinado peso maduro, considerando el tamaño corporal, y el efecto de ingredientes e implantes anabólicos. La referencia estándar para calcular requerimientos de crecimiento es 467 kg para vacas en situaciones de alimentación típicas en Norte América, tal y como lo describen Tylutki *et al.* (1994). Esto se modificó por el NRC (1996) a tres diferentes pesos estándar que son: 478, 462 y 435 kg para vacas alimentadas a un nivel que les permita contener 28.6, 26.8 y 25.2% de grasa corporal, los que a su vez están asociados con los patrones americanos y canadienses tipos estándar A, selecto o AA y de elección (choice) o AAA respectivamente. En el CNCPS tropical, se usa una referencia estándar de 400 kg debido a que el ganado en crecimiento es usualmente vendido con menores valores de grasa corporal (18-22% de grasa).

Los requerimientos de gestación se predicen de las demandas uterinas y del producto, considerando las diferencias en el peso esperado al nacer y el día de gestación. El crecimiento diario del producto se calcula separadamente del óptimo crecimiento diario de las vaquillas de reemplazo. Las demandas de gestación afectan significativamente los requerimientos del animal durante los últimos 60 días de preñez.

Los requerimientos de lactancia se basan en la cantidad y composición de la leche producida. Para ganado de carne y de doble propósito en donde la cantidad total de leche no se conoce, la producción de leche se calcula de una curva de lactancia usando la producción esperada de leche y el día de lactancia. Para el CNCPS tropical, se añadieron los siguientes valores máximos de producción de leche para razas tropicales basados en datos de la universidades brasileñas de Sao Paulo y Viscosa; Nellore, 5; Guzerat, 5; Gir, 10; Canchin, 6 y Santa gertrudis, 5.

Las reservas se usan para cubrir las demandas de nutrientes cuando el consumo es inadecuado. Las reservas se deben considerar cuando se evalúa la capacidad de una dieta para cubrir los requerimientos del animal, especialmente bajo condiciones de estrés ambiental, escasez de alimentos o lactancia temprana. La apreciación visual es usada para asignar una calificación de condición corporal, que se usa a su vez para predecir la

composición corporal y las reservas energéticas. El ciclo de movilización y almacenamiento de reservas durante la lactancia y el período seco se refleja en el cambio en la condición corporal.

Predicción del consumo y degradación ruminal de las fracciones de carbohidratos y proteínas del alimento y crecimiento microbiano. La energía absorbida y los aminoácidos disponibles para cubrir los requerimientos dependen de la estimación precisa del consumo de materia seca, y del tamaño y la tasa de digestión de cada una de las fracciones de carbohidratos y proteínas presentes en todos los ingredientes de la ración. La estimación del crecimiento microbiano es esencial para predecir la cantidad de energía y proteína disponible para el animal. Estas predicciones están basadas en la disponibilidad del sustrato. El aspecto más importante en el CNCPS es la determinación precisa del consumo de materia seca, y se insiste en contar con valores verdaderos de consumo de materia seca para alimentar al sistema. Se usan valores estimados del consumo de materia seca sólo como un punto de referencia para propósitos de diagnóstico.

El CNCPS asume que existe una interacción entre el consumo de materia seca, la digestión y la tasa de pasaje. Por ejemplo, a medida que el consumo de materia seca se incrementa durante la lactancia, la tasa de pasaje también aumenta resultando en una menor digestibilidad. Esta disminución en la digestibilidad es más aparente en las fracciones que son digeridas más lentamente como por ejemplo la pared celular. El sitio de digestión también puede cambiar. Por ejemplo, el almidón que no es digerido en el rumen debido a una rápida tasa de pasaje se va a digerir en el intestino delgado. Esto no sucede con la pared celular porque existe muy poca digestión de esa pared celular en el post-rumen. Segundo, el porcentaje de la pared celular que escapa los cambios de digestión, depende de la digestión y las tasas de pasaje. Las tasas variables de digestión y de paso tiene similares efectos en la digestibilidad total y en el sitio de digestión de la fracción proteica del alimento. Los alimentos que son fácilmente fermentable son degradados en el rumen, mientras que aquellos que son más lentamente degradados, se degradan en el rumen y en el intestino delgado. La proporción digerida en cada fracción del tracto digestivo depende de la digestión y de la tasa de pasaje de las fracciones proteicas de los alimentos.

Los microorganismos del rumen pueden ser clasificados de acuerdo con los diferentes tipos de carbohidratos que fermentan. En el CNCPS están clasificados en aquellos que fermentan carbohidratos estructurales (CE) y aquellos que fermentan carbohidratos no estructurales (CNE), tal y como lo describe Rusell, *et al.* (1992). Los microorganismos que degradan CE crecen lentamente, fermentando celulosa y hemicelulosa y utilizando amonio como su principal fuente de nitrógeno para la síntesis de proteína microbiana. Por el contrario, los microorganismos que usan CNE crecen rápidamente, y fermentan almidón, pectinas y azúcares y pueden utilizar amonio y aminoácidos como fuentes de nitrógeno.

Los microorganismos que degradan CE y los que usan CNE tienen distintos requerimientos de mantenimiento. La eficiencia de crecimiento de las bacterias que fermentan CNE se maximiza cuando la disponibilidad de péptidos es igual al 14% de los

carbohidratos no estructurales disponibles. Estos valores son conservadores y se basan en las observaciones de Russell *et al.* (1992) de que los requerimientos de mantenimiento de *Streptococcus bovis*, un fermentador de almidón, es seis veces mayor que el de *Fibrobactersuccinogenes* que fermenta principalmente fibra. Por lo tanto el requerimiento de proteína degradable es para asegurar que las dos poblaciones microbianas puedan crecer en forma óptima. La tasa de crecimiento de cada una de las dos fracciones microbianas es directamente proporcional a la tasa de digestión de carbohidratos, asumiendo que el nitrógeno está disponible en una forma útil y en cantidad suficiente. De tal manera que el grado de digestión depende de factores tales como nivel de consumo de materia seca, tamaño de partícula, tasa de hidratación, lignificación y las características de cada fracción de carbohidratos y proteínas.

Las cantidades de EM y PM dependen de la tasa de digestión y de pasaje de cada una de las fracciones de carbohidratos y proteínas. Las tasas de digestión son específicas para cada ingrediente y son afectadas por el tipo de almidón y de proteína, por el grado de lignificación y el procesamiento. La intensidad de la digestión ruminal está en función de la competencia entre digestión y pasaje. Y varía con el tipo de alimento (forraje vs. grano) y tamaño de la partícula (eNDF). Hay cuatro distintos requerimientos de fracciones de nitrógeno que deben ser cubiertos al evaluar una ración con el CNCPS; dos categorías microbianas (amonio y péptidos para la población microbiana CE y péptidos y amonio para la población bacteriana CNE), y dos categorías animales (PM y aminoácidos esenciales). Al evaluar una dieta, se debe determinar que tan bien se están cubriendo cada uno de estos cuatro requerimientos.

El pH del rumen es uno de los factores más importantes que limitan el crecimiento microbiano. El CNCPS relaciona las características físicas de los alimentos con su efectividad para estimular la masticación y los movimientos ruminales. Usamos el contenido total de la pared celular y el tamaño de la partícula dentro de las clases de alimentos, para estimar la FDN efectiva (FDNe), basado en la definición de Mertens (1988). El valor de la FDNe en el CNCPS se define como el porcentaje de FDN retenida en una criba de 1.18 mm. Otros factores que afectan la FDNe son el grado de lignificación, hidratación y la densidad física. Beauchemin (1991), publicó una excelente revisión de los factores que influyen la producción de amortiguadores y en general el pH ruminal en bovinos. Pitt *et al.* (1996), describieron la relación existente entre los valores de FDNe del CNCPS, el pH del rumen y la digestión de CE. La producción y el crecimiento de masa microbiana que degrada CE decae rápidamente cuando el pH es menor a 6.2. Esto ocurre cuando el contenido de FDNe está por debajo del 20%. El CNCPS disminuye la producción microbiana en 2.5% Unidades porcentuales por cada unidad de FDNe que disminuye en la dieta, abajo del 20%. Por lo tanto, la estimación de la FDNe de la dieta debe corregirse para predecir en forma más precisa la producción de aminoácidos y la digestión de paredes celulares.

En el CNCPS los alimentos se dividen en cuatro fracciones de carbohidratos y cinco fracciones de proteínas. El tamaño y la tasa de digestión de cada una de estas fracciones se usan para calcular la cantidad de CE y CNE que están disponibles para cada una de las poblaciones microbianas. Las tasas de digestión y de pasaje se han publicado para

alimentos comunes en norte América (Sniffen et al. 1992; NRC, 1996). Casi todas las fracciones importantes de carbohidratos y proteínas pueden ser determinadas en forma rutinaria en laboratorios de análisis de alimentos, usando el sistema de Van Soest de análisis de ingredientes (Van Soest *et al.* 1991) que incluye FDN, PC, proteína soluble, y proteína insoluble en detergente neutro y ácido.

Establecimiento de las tasas de digestión para forrajes tropicales usados en el CNCPS

El Cuadro 1 presenta las fracciones de carbohidratos y proteínas y las tasas de digestión determinadas en forrajes de México. Todas las fracciones de carbohidratos y proteínas fueron medidas y las tasas de digestión de los primeros cuatro forrajes fueron determinadas usando el procedimiento de producción de gas de Pell y Schofield (1993). Estos análisis y las evaluaciones siguientes son parte de la tesis de doctorado de F. Juárez (fecha aproximada de terminación enero de 1998) en un estudio desarrollado en colaboración con el INIFAP en Veracruz, México. La estación experimental está localizada en la costa del sureste de México a 19°02' de latitud, 96°08' de longitud y 12 msnm. La región tiene un clima Aw (clasificación de Köppen) (Laj, 1987) con una precipitación pluvial anual promedio de 1728 mm y una época de lluvias que comprende de junio a noviembre. La temperatura máxima es de alrededor de 35 °C, la mínima de 15 °C y el promedio de 25 °C, con un cambio estacional de alrededor de 3 °C. La humedad relativa es de 81 %. El suelo fue clasificado como Oxisol, que es predominantemente arena con 15% de arcilla. El pH del suelo tiene valores entre 5.3 a 5.6. Los pastos fueron crecidos en monocultivos. Cada parcela de pasto fue fertilizada con 100 kg/ha de N en el comienzo de las lluvias. Antes del inicio del experimento, todas las parcelas experimentales fueron cortadas a 5 cm de altura. Después de 35 ó 45 días de rebrote, muestras de pasto fueron cortadas a una altura de 10 cm. El primer corte se colectó el 25 de Julio y el segundo el primero de Agosto. En cada fecha de muestreo se colectaron alrededor de dos kilos de cada uno de los pastos. Alrededor de 500 g de cada uno se congeló inmediatamente a -15 °C, y otros 500 g fueron secados a 100 °C durante 24 h en una estufa de aire forzado para determinación de MS. Al final del período de muestreo, las muestras congeladas fueron liofilizadas, colocadas en bolsas para congelación de 30 x 25 cm y enviadas al laboratorio de Cornell para su análisis.

Todas las muestras se molieron a través de una criba de 1 mm en un molino tipo Wiley (Modelo 4, Arthur H., Thour Co., Philadelphia, P.A.), siguiendo los procedimientos marcados por la AOAC (1990), la materia seca se obtuvo a 100 °C durante 24 horas, la proteína cruda (N x 6.25) por el procedimiento de Macro Kjeldahl, además de cenizas y grasa soluble en solvente. La fibra detergente neutro (FDN) (sin sulfato de sodio), fibra detergente ácido (ADF), lignina permanganato y carbohidratos no estructurales fueron determinados siguiendo las indicaciones de Van Soest (1991).

La primera sección del Cuadro 1, muestra las fracciones determinadas químicamente; la segunda sección muestra los coeficientes de digestión (KD) para carbohidratos (CHO), azúcares (A), almidón y pectina (B1), FDN disponible (B2), y la proteína rápida (B1), intermedia (B2) y lenta (B3). Los carbohidratos totales se calculan

como 100- (proteína + grasa + cenizas), usando datos analíticos o de tablas. Después, los carbohidratos se dividen en estructurales (CE) y no estructurales (CNE) al substrair FDN de los carbohidratos totales. La FDN disponible se calcula con la ecuación: FDN disponible = FND-proteína FDN- (lignina/FDN) x 2.4 .

CUADRO 1. FRACCIONES DE CARBOHIDRATOS Y PROTEÍNAS Y TASAS DE DIGESTIÓN DE FORRAJES DE MÉXICO'

CARACTERIS TICA	UNIDAD %	ESTRE LLA	GUINEA	LLANE RO	BRIZAN THA	DECUM BENS	HUMIDÍ COLA	ALE MÁN	REMO LINO
Concentrado	MS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Forraje	MS	100	100	100	100	100	100	100	100
Materia Seca	BH	21.5	18.4	20.8	19.8	20.1	14.0	15.2	19
FDN	MS	71.6	66.9	67.7	63.7	67.1	70.3	68.3	
Lignina	FDN	7.3	6.8	6.7	5.9	6.5	7.2	4.7	
PC	MS	10.0	9.6	12.1	11.7	8.9	9.8	9.3	10.5
Solubilidad	PC	35.7	28.7	18.2	37.5	40.4	39.9	29.6	19.7
NNP	Psol	40.1	39.2	91.0	68.3	64.8	53.6	74.8	58.4
PIDN	PC	34.1	34.5	46.7	10.1	10.6	17.1	25.6	43.2
PIDA	PC	8.1	8.1	6.1	2.9	4.5	4.3	4.8	8.3
Almidón	CNE	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5
Grasa	MS	1.6	3.0	2.6	2.8	2.0	2.0	1.8	4
Cenizas	MS	11.0	12.7	8.9	11	1	10.3	10.6	12.3
FDN efectiva	FDN	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0
CHO-A KD	hr	13.2	8.3	14.4	20.0	25.0	25.0	25.0	25.0
CHO-131 KD	hr	13.2	8.3	14.4	20.0	30.0	30.0	30.0	30.0
CHO-B2 KD	hr	4.2	6.8	7.4	8.2	3.0	3.0	3.0	0
Prot-B1 KD	hr	135	135	135	135	135	135	135	75
Prot-B2 KD	hr	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	
Prot-B3 KD	hr	5.3	10.5	9.9	4.9	0.1	0.1	0.1	
Metionina	PND	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Lisina	PND	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Arginina	PND	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Treonina	PND	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Leucina	PND	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Isoleucina	PND	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Valina	PND	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
Histidina	PND	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Fenilalanina	PND	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Triptófano	PND	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5

'Estrella = *Cynodon plectostachyus*; Guinea = *Panicum maximum* Var. guinea; Llanero = *Andropogon gayanus*; Brizantha = *Brachiaria brizantha*; Decumbens = *Brachiaria decumbens*; Humidícola = *Brachiaria humidicola*; Alemán = *Echynocloa polystachya*; Remolino = *Paspalum notatum*

Traxler *et al.* (1998) examinó recientemente si la lignina x 2.4 predecía adecuadamente el tamaño de la fracción indigestible. Esta ecuación fué satisfactoria a pesar de que se desarrolló de manera mecánica. Se utilizan datos bibliográficos para

establecer la distribución de azúcares y almidón en la fracción de CNE. Las fracciones protéicas son expresadas como porcentaje de la PC. La fracción "A" es NNP y la fracción "B1 " es proteína verdadera que se degrada casi completamente en el rumen. Ambas fracciones se incluyen al analizar en laboratorio a la proteína soluble. La fracción "C" de proteína se determina como proteína insoluble en detergente ácido (PIDA) y se considera no disponible. La fracción de proteína "B3" o proteína degradada lentamente puede ser determinada al sustraer el valor obtenido por PIDA del valor determinado para la proteína insoluble en detergente neutro (PIDN). La fracción "B2", que es parcialmente degradada en el rumen, dependiendo de sus tasas de digestión y de pasaje, puede ser estimada de la siguiente ecuación: $B2 = CP - (SoIP + B3 + C)$.

El comportamiento de las dos fracciones microbianas (CE y CNE) se predice en base a la integración de las tasas de digestión y pasaje. Esta información se utiliza después para determinar los requerimientos nitrogenados de cada fracción microbiana, la cantidad de proteína microbiana producida y la PM disponible, los carbohidratos disponibles para la digestión intestinal y la EM derivada de la dieta. El crecimiento microbiano se ajusta para la FDNe, usando los valores mostrados en la segunda sección del Cuadro 1 . Las tasas de pasaje están en función del consumo, del porcentaje de forraje y el valor de FNDe. La predicción de la proteína disponible a nivel ruminal se usa para determinar el balance de nitrógeno para las bacterias CE y CNE. La PM de la fracción de proteína alimentaria no degradada (excluyendo la proteína microbiana), se calcula de la cantidad de proteína alimentaria que es digerida post-ruminalmente menos la fracción de proteína indigestible.

El contenido de aminoácidos en el alimento se estima a través de la concentración de aminoácidos en la proteína no degradada tal y como lo describe O'Connor *et al.* (1993). La digestibilidad intestinal de los aminoácidos (Sección 3, Cuadro 1), se asume como el 100% de la fracción B1 y B2, y el 80% de la fracción proteica B3 que escapa de la degradación ruminal.

Estas tablas demuestran la importancia de medir el tamaño de las fracciones y las tasas de digestión de los alimentos tropicales; ya que son muy diferentes de las de ingredientes cultivados en áreas templadas. La importancia de medir estas fracciones de proteínas y carbohidratos será demostrada posteriormente en el estudio de caso en México, con ganado de doble propósito.

Predicción de la digestión intestinal. Para predecir la digestibilidad intestinal y las pérdidas fecales se utilizan coeficientes empíricos derivados de datos de la literatura. Sin embargo, se reconoce la necesidad de un modelo más mecanicista que incorpore la integración de la digestión y el pasaje para predecir la digestión intestinal.

Sin embargo, la precisión de la predicción de las fracciones digeridas depende del conocimiento preciso del flujo ruminal. Para la mayoría de los alimentos, 75% de la digestión ocurre en el rumen, por lo tanto, es más importante estar seguros de que nuestras estimaciones de la fermentación ruminal sean precisas, de tal manera, que se

refine el modelo intestinal. El uso de un submodelo intestinal más complejo puede producir errores si no se cuenta con información confiable sobre la fracción protéica y de carbohidratos, además de su digestión y pasaje.

Predicción de la energía y aminoácidos absorbidos y su metabolismo y valores biológicos.

Un submodelo metabólico debe predecir el incremento calórico y la eficiencia del uso de carbohidratos ácidos grasos volátiles (AGV's), lípidos y aminoácidos absorbidos para diferentes funciones biológicas, basados en cambios en los estados productivos. Nuestra incapacidad para predecir productos finales de la fermentación ruminal y la complejidad de los ciclos metabólicos del animal obligan a usar coeficientes de transferencia simples para predecir la absorción de nutrientes a fin de que el modelo funcione bien bajo una variedad de condiciones de campo. Pitt *et al.* (1996) describen la predicción de los productos finales de la fermentación como un primer paso dentro del CNCPS. La ecuación usada para predecir EM de ED refleja la variación en la cantidad de metano producido al consumir distintas dietas. La ecuación usada para vacas lecheras en lactancia para predecir ENL a partir de EM refleja la eficiencia energética asociada con una mezcla típica de metabolitos en la EM, basado en datos de cámara respiratoria (Moe, 1981) y validados con datos independientes (Roseler, 1994). Las ecuaciones usadas para vacas en crecimiento para predecir ENm y EN de crecimiento reflejan la amplia variedad de metabolitos que son usados por el ganado no lactante y en crecimiento, los cuales se han validado con poco sesgo en un amplio rango de contenidos de EM (NRC, 1996).

Predicción del consumo de MS. Es importante usar valores reales del consumo de materia seca (CMS) cuando estén disponibles. Sin embargo, muy pocos productores conocen el CMS en el trópico, a excepción de los establos y corrales de engorda. El OMS está determinado por la demanda (requerimientos de mantenimiento, la tasa de crecimiento y la producción de leche), hasta los límites de la capacidad ruminal en el caso de dietas con alto contenido de paredes celulares, o bien por controles quimostáticos en dietas a base de concentrados (NRC, 1989). En condiciones tropicales donde las dietas se basan en forrajes con altos contenidos de paredes celulares, la predicción del OMS debe reflejar el efecto de esa concentración de paredes celulares.

Texler *et al.* (1997) desarrollaron un modelo compuesto usando la ecuación del NRC, 1994 para vacas de cría de ganado de carne más un componente lineal para producción lechera: $CMS = PV^{.25*} (.1462 ENm - .0517 ENm^2 - .0074) + .305 LCG$.

Para vacas en el trópico produciendo menos de 15 kg/día de leche corregida a un 4% de grasa (LCG 4%) y consumiendo dietas altas en forraje conteniendo más de 55% de FDN, se sugiere añadir 1.7 kg (la cantidad del sesgo promedio) para predecir los valores de consumo. Es probable que no se requieran ajustes para producciones substancialmente menores. Esta ecuación y las de los modelos CNCPS y el NRC 1996 para vacas en crecimiento, consideran los efectos de demanda y de llenado físico. Para razas tropicales de ganado de carne, nosotros empezamos por reducir el CMS cuando la dieta contiene aproximadamente 2/3 de concentrado; resultados de la Universidad de Sao

Paulo indican que las razas tropicales son menos tolerantes a dietas altas en concentrado. Se hacen ajustes por temperatura y disponibilidad forrajera al consumo básico.

Ejemplo de la aplicación en México

Se desarrolló un estudio de caso con datos de las vacas de doble propósito del Campo Experimental "La Posta" (INIFAP), Veracruz, México. Los datos de la vaca madura que se usan para alimentar el CNCPS fueron: vaca 3/4 Holstein x 1/4 Cebú a la mitad de su tercer lactancia en agosto. El peso corporal fue de 500 kg, la producción lechera fue de 12 kg de leche al día y el animal ganó medio kg de peso por día.

Esta vaca es representativa de un hato que se ha evaluado por 16 años. El hato fue manejado con pastoreo rotacional de pasto Pangola (*Digitaria decumbens*). Las vacas fueron ordeñadas mecánicamente dos veces al día, y consumieron un suplemento diario de 3.5 kg de concentrado.

La predicción del alimento requerido para cubrir los balances observados de energía y proteína fué comparada con algunos modelos (NRC de ganado lechero, 1989; NRC ganado de carne, 1996) y el CNCPS versión tropical usando la composición y la tasa de digestión de las fracciones de proteínas y carbohidratos del pasto Pangola (*Digitaria decumbens*) del archivo de alimentos o de mediciones de laboratorio. El manejo animal y los datos de entrada del medio ambiente se presentan en el Cuadro 2 y los valores de la composición de alimentos aparecen en el Cuadro 3. Debido a que el consumo de la pastura no se midió, nosotros comparamos los modelos al intercambiar el consumo de pasto hasta que el balance real de energía se cubrió (calculado a partir de la ganancia diaria de peso). Las vacas estuvieron en un balance positivo de energía, ya que estaban ganando .567 kg/día.

Los cálculos que se hicieron al utilizar el NRC (1996), fueron: 1 kg de peso corporal = 5.82 Mcal EN, $0.567 * 5.82 = 3.3$ Mcal EN de reserva ganadas/día. El requerimiento de EM se calculó al aplicar la eficiencia de uso de EM por cada función fisiológica (mantenimiento, lactancia, ganancia de peso).

El consumo de pasto se cambio gradualmente hasta que se obtuvo un balance de + 3 Mcal EN (sistemas NRC) ó *4.4 Mcal EM (CNCPS).

El CMS predicho por cada sistema fue similar excepto para el NRC (1996) que fue 1 kg/día menor que los otros (Cuadro 4). Sin embargo, el CMS necesario para el balance energético observado fue poco realista para cada sistema excepto el CNCPS cuando se usaron los valores reales de las fracciones de carbohidratos y sus tasas de digestión. En ese nivel de consumo, la PM aportada fué ligeramente superior (12 g) que la PM requerida. El NRC lechero y de carne nivel 1, no consideran la diferencia en digestibilidad de las paredes celulares debido a que estos usan valores tabulares de contenido de EN de los alimentos. El NRC para ganado de carne hace una evaluación en la que se tiene un mayor consumo de alimento que el NRC che leche porque incrementa los

requerimientos de mantenimiento en un 20% cuando la vaca está lactando, lo cual no es apropiado aquí.

CUADRO 2. CARACTERÍSTICAS DEL ANIMAL Y DEL MEDIO AMBIENTE UTILIZADOS PARA PREDECIR LOS REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES

CARACTERÍSTICAS	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN O UNIDAD
Tipo de animal	2	Vaca lechera en lactancia
Edad	74	Meses
Sexo	4	Vaca
Peso vivo	508	Kg
Tipo racial	2	Carne leche
Peso adulto	550	Kg
Condición corporal	5	1 = muy delgada - 5 = muy gorda
Sistema de cruzamiento	2	Cruzamiento en dos sentidos
Raza de la madre	17	Brahman
Raza del semental	15	Holstein
Días gestantes	0	Días
Días desde el parto	210	Días
Número de lactación	3	
Producción promedio del hato	3660	Kg
Producción de leche	12	Kg
Grasa de la leche	3.6	Kg
Proteína en la leche	3.2	Kg
Producción relativa de leche	5	1-9
Peso esperado de la cría al nacimiento	38	Kg
Descripción del manejo		
Aditivos	1	Ninguno
Tamaño del potrero	2	Hectáreas
Disponibilidad de forraje diario	1	MS kg/PDMI
Forraje disponible al inicio	3000	Kg/hectárea
Frecuencia de alimentación	24	Número de veces diarias
Método de alimentación	1	Forraje y grano separados
Descripción del medio ambiente		
Velocidad del viento	16	kph
Temperatura previa	27	°C
Temperatura actual	28	°c
Exposición a tormentas	1	Si
Disminución de la temperatura por la noche	1	No enfría
Longitud del pelo	0.6	cm
Grosor del pelo	1	Delgado
Cubierta del pelo	1	Limpia
Respiración del ganado	2	Rápida

CUADRO 3. DESCRIPCIÓN DE LOS ALIMENTOS UTILIZADOS PARA PREDECIR LOS REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD %	PANGOLA	GRANO DE SORGO	PASTA DE SOYA	MELAZA	UREA	MINERALES
Concentrado	MS	0.0	100	100	100	100	100
Forraje	MS	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Materia Seca	BH	26.8	89.0	89.8	73.0	99.0	100
FDN	MS	69.5	13.3	14.9	0.0	0.0	0.0
Lignina	FDN	7.5	6.1	2.1	0.0	0.0	0.0
PC	MS	8.9	11.6	49.9	8.0	291	0.0
Solubilidad	PC	41.9	12.0	20.0	100	100	0.0
NNP	PsoI	36.3	33.0	55.0	100	100	0.0
PIDN	PC	32.5	10.0	5.0	0.0	0.0	0.0
PIDA	PC	5.4	5.0	2.0	0.0	0.0	0.0
Almidón	CNE	5.0	90.0	90.0	0.0	0.0	0.0
Grasa	MS	2.4	3.1	1.5	0.0	0.0	0.0
Cenizas	MS	8.6	2.0	7.2	8.0	0.0	100
FDN efectiva	FDN	41.0	34.0	23.0	0.0	0.0	0.0
CHO-A KD	hr	19.7	150	300	500	0.0	0.0
CHO-131 KD	hr	19.7	12.0	25.0	30.0	0.0	0.0
CHO-B2 KD	hr	5.3	5.0	6.0	20.0	0.0	0.0
Prot-131 KD	hr	135	135	230	350	400	0.0
Prot-B2 KD	hr	11.0	6.0	11.0	11.0	0.0	0.0
Prot-B3 KD	hr	5.3	0.1	0.2	0.3	0.0	0.0
Metionina	PND	0.7	0.8	1.0	0.0	0.0	0.0
Lisina	PND	2.8	3.6	5.4	0.0	0.0	0.0
Arginina	PND	2.8	7.1	6.6	0.0	0.0	0.0
Treonina	PND	2.8	2.3	3.5	0.0	0.0	G.0
Leucina	PND	5.5	4.3	7.2	0.0	0.0	0.0
Isoleucina	PND	2.8	3.0	4.7	0.0	0.0	0.0
Valina	PND	3.8	2.8	5.1	0.0	0.0	0.0
Histidina	PND	1.0	1.4	2.8	0.0	0.0	0.0
Fenilalanina	PND	3.5	2.8	4.9	0.0	0.0	0.0
Triptófano	PND	4.5	0.8	1.6	0.0	0.0	0.0

CUADRO 4. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA DIETA USANDO DIFERENTES MODELOS

VARIABLE	NRC LECHE 1989	NRC CARNE 1996	CNCPS: TASAS DEL ARCHIVO DE ALIMENTOS	CNCPS: TASAS ESTIMADAS
EM requerida	30.3	28.8	26.4	26.4
EM disponible	34.7	33.3	30.8	30.8
Diferencia, Mcal	4.4	4.4	4.4	4.4
PM requerida	1 113	997	1456	1217
PM disponible	900	1367	1330	1229
Diferencia, g/d	-212	370	-126	12
CMS estimado	12.26	11.38	12.6	
CMS requerido	15.3	19.95	17.3	12.9
Diferencia, %	125	175	137	14.3
				111
Alimentos, kg MS				
Pasto Pangola	11.8	16.45	13.8	10.8
Grano de sorgo	2.24	2.24	2.24	2.24
Pasta de soya	0.77	0.77	0.77	0.77
Melaza de caña	0.35	0.35	0.35	0.35
Urea	0.04	0.04	0.04	0.04
Minerales	0.10	0.10	0.10	0.10

El CNCPS no mejoró lo hecho por el NRC lechero, si no se conocen los valores de las fracciones de los carbohidratos. El consumo predicho se reduce en un 10% en cada sistema por el efecto de la temperatura sobre el consumo voluntario; sin este ajuste, el CMS necesario sería de 14.3 kg, que es similar al requerimiento de alimento con el CNCPS cuando los valores reales de la fracción de carbohidratos y la tasa de gestación se conocen.

Este ejemplo y la discusión previa indican que la predicción correcta de la absorción de energía y proteína depende del tamaño de las fracciones de FDN, almidón, PC y proteína soluble, así como de su digestión y tasa de pasaje, así como de la composición de aminoácidos de los microbios. La predicción de los requerimientos de aminoácidos y energía digeridos depende de la predicción precisa de la proteína retenida, la composición de los aminoácidos de los tejidos y la eficiencia de uso de la energía y la proteína absorbida.

Nosotros consideramos que con valores adecuados de la composición de los alimentos y con el conocimiento de como usar esos valores en los programas de cómputo, modelos como el. CNCPS pueden ser usados como punto de partida para

predecir EM, EN y los requerimientos, y abasto de aminoácidos. Primero, los factores del animal, del ambiente y del alimento deben ser descritos tan detalladamente como sea posible. Sin embargo, debido a que muchos de los factores (tamaño corporal, condiciones del medio ambiente, tasas de digestión de los alimentos, tamaño de partícula, etc.) depende de la observación de campo, los factores de entrada deben ajustarse en una manera lógica hasta que el modelo prediga la productividad observada, antes de que otras alternativas puedan ser evaluadas. Esta estrategia permite que los requerimientos se calculen para cada animal, ambiente, CMS y composición de alimento.

Prioridades de Investigación

Las prioridades de investigación y los procedimientos rutinarios de análisis de alimentos dependen de la relación costo:beneficio y los procedimientos disponibles para medir variables sensibles. Existe poco beneficio en el desarrollo de modelos más complejos de balance de aminoácidos hasta que el primer factor limitante sea predicho adecuadamente.

Esto fue demostrado cuando se midieron los flujos duodenales de 80 dietas y fueron mejor predichos con el CNCPS (Savant, 1991) que con el modelo ruminal dinámico de bajo nivel de agregación de Baldwin *et al.* (1987).

Fox *et al.* (1995) condujeron un análisis de sensibilidad para probar la importancia relativa de refinar la predicción de factores que influyen sobre la fermentación ruminal (fracciones de carbohidratos y proteínas del alimento y sus tasas de digestión, y la composición de aminoácidos de la proteína microbiana) y aquéllos que influyen sobre los requerimientos del animal (requerimiento de proteína para mantenimiento, composición de aminoácidos del tejido y coeficientes metabólicos de transferencia) en mejorar la predicción de la calidad de la proteína de la dieta. Se realizó un análisis para identificar las variables de entrada a las cuales el modelo fuera sensible. Para esto, se usaron datos de Ainslie *et al.* (1993). Se consideraron las predicciones de GDP, EM, PM, aminoácidos esenciales (AAE) y la GDP permisible.

Sensibilidad a factores del alimento. Las variables del alimento a los cuales el CNCPS fué sensible contemplan: FDN, proteína soluble y tasas de digestión del almidón y la FDN. Un cambio en los valores usados para la composición de la proteína microbiana tiene un efecto dramático sobre los AAE y la ganancia de peso potencial. Los valores usados para AAE microbianos absorbidos en el CNCPS se basan en proteína microbiana verdadera (O'Connor *et al.*, 1993), que son diferentes de aquéllos reportados por Clark *et al.* (1992) para la totalidad de las bacterias. Por lo tanto, una de las más altas prioridades de investigación es incrementar nuestra habilidad para predecir con precisión el crecimiento y la composición microbianas.

La predicción del rendimiento microbiano y la digestión de la pared celular es muy sensible al FDN de la dieta. Sin embargo, actualmente la determinación de éste valor no es precisa. Se necesita más investigación para desarrollar métodos que permitan

cuantificar los valores de FDNe en cada situación, o bien desarrollar un método alternativo para relacionar características químicas y físicas del alimento con la predicción del pH ruminal.

Sensibilidad a factores animales. Los modelos computacionales nunca están completos y siempre existen áreas que necesitan refinarse. El CNCPS no es la excepción, por lo tanto, hemos delineado factores animales que necesitan atención adicional. Se incluyen en esta lista el nitrógeno metabólico fecal, los efectos de tamaño corporal y condición corporal sobre la composición de la ganancia de peso, y la eficiencia de uso de aminoácidos y energía.

La predicción de la cantidad de nitrógeno metabólico fecal, es un área en la que se necesita mayor investigación. El CNCPS y Rohr y Lebzien (1991), presentan valores similares para los requerimientos de nitrógeno metabólico fecal, pero el valor del CSIRO fue menor y con un sesgo mayor.

Se necesita más investigación sobre los efectos de peso metabólico sobre la EM para GDP potencial, porque la energía (grasa) del grano es muy variable. Adicionalmente, los efectos del cambio en condición corporal deben examinarse nuevamente. La GDP potencial en AAE se redujo cuando se usaron los valores de composición tisular de Rohr y Lebzien (1991), debido a sus altos valores. Se necesita más investigación para saber cuáles valores son correctos.

El uso de los coeficientes de transferencia fijos (NRC, 1985; INRA, 1989; Rohr y Lebsien, 1991), para estimar la eficiencia de uso de la proteína absorbida decrecen la R^2 e incrementan el sesgo al predecir la PM y los AAE de la GDP potencial, comparado con la ecuación de regresión del CNCPS. Este resultado indica que los factores animales más sensibles son el contenido de AAE de los tejidos y la eficiencia del uso de la proteína absorbida y que ésta eficiencia es diferente en distintas etapas del crecimiento.

Lobley (1992) indicó que el metabolismo de la proteína en los rumiantes es muy dinámico y una aproximación cinética era necesaria para predecir con acuciosidad los requerimientos de aminoácidos. Cambios pequeños ya sea en la tasa de síntesis o degradación, pueden causar grandes alteraciones en la tasa de ganancia y por otro lado, los requerimientos relativos de mantenimiento cambian con el nivel de producción. Lobley (1992) mostró que un novillo de 500 kg con una tasa de deposición neta de proteína de 150 g/día degrada y resintetiza por lo menos otros 2550 g.

Entonces balancear para deposición neta diaria considera sólo alrededor del 5.5% de la síntesis diaria de proteína. El concluye que la precisión de los modelos cinéticos es crítica, un cambio en 2% en la tasa de síntesis puede alterar la deposición neta de proteína de un 20 a un 40% y muchos de los procedimientos no son precisos entre 4 y 5%.

La validación del requerimiento de crecimiento del CNCPS de Tylytki *et al.* (1994), indica que el enfoque más agregado del CNCPS basafio en mediciones de composición

corporal total, consideró más variación con menos sesgo al predecir la retención de energía y proteína en un rango amplio de tipos de ganado que un modelo cinético de bajo nivel. Cuando se combina con un sistema que tiene limitaciones en predecir los aminoácidos absorbidos a partir de fuentes dietarias y microbianas, los errores pueden magnificarse con un inadecuado modelo metabólico mecanicista. En todos los casos, la EM disponible para GDP excedió a la PM y a Los AAE disponibles para GDP, sugiriendo que la eficiencia en la utilización de la energía absorbida estuvo influenciada por la suficiencia de AAE.

CONCLUSIONES

En el Siglo 21, los nutrientes van a ser usados más eficientemente para predecir la producción de carne y leche, a través del uso de modelos que proporcionen información precisa sobre la utilización de ingredientes y los requerimientos nutricionales en situaciones específicas de producción. Estos modelos deben permitir ajustes de cada situación de una forma lógica hasta que el ganado y el alimento sean acuciosamente descritos. Después, cuando la productividad estimada y la real (ganancia de peso, producción y composición de la leche, cambios en condición corporal) concuerden, se pueden formular programas de mejoramiento que minimicen los factores nutricionales de seguridad y la excreción de nutrientes. El reto será el desarrollo de sistemas agregados a un nivel que puedan predecir acuciosamente y reflejar nuestro entendimiento de la biología básica y que a la vez sean aplicable a nivel de las explotaciones. Se debe además considerar la información disponible en los ranchos, la habilidad del productor para monitorear y cuantificar variables y respuestas animales claves, y el conocimiento y las limitantes de tiempo del consultor usuario del programa.

BIBLIOGRAFÍA

Ainslie, S. J., Fox, D. G., Perry, T. C., Ketchen, D. J. & Barry, M. C. (1993). Predicting metabolizable protein and amino acid adequacy of diets fed to lightweight Holstein steers. *Journal of Animal Science* 71:1312.

AFRC. (1993). Energy and protein requirements of ruminants. CAB International, Wallingford, Oxon OX10 8 DE, UK.

AOAC. (1990). Official Methods of Analysis. 1 5th Ed., Assoc. Offic. Anal. Chem., Arlington, VA.

Baldwin, R. L., France, J., Beever, E., Gill, M. & Thornley, J. H. (1987). Metabolism of the lactating cow. I. Animal elements of a mechanistic model. *Journal of Dairy Research* 54:77.

Beauchemin, K. A. (1991). Ingestion and mastication of feed by dairy cattle. In *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 7:439.

- Clark, J. H., Klusmeyer, T. H. & Cameron, M. R. (1992). Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 75:2304.
- CSIRO. (1990). Feeding standards for Australian livestock. CSIRO Publications, East Melbourne, Australia.
- Fox, D. G., Sniffen, C. J., O'Connor, J. D., Van Soest, P. J. & Russell, J. B. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. III. Cattle requirements and diet adequacy. *Journal of Animal Science* 70:3578.
- Fox, D. G., Barry, M. C., Pitt, R. E., Roseler, D. K. & Stone, W. C. (1995). Application of the Cornell net carbohydrate and protein model for cattle consuming forages. *Journal of Animal Science* 73:267.
- Fox, D.G. & Tylutki, T. P. 1997. Environmental effects on dairy cattle requirements. *Proceedings Cornell Nutrition Conference*.
- Gill, M., Beever, D. E. & France, J. (1989). Biochemical bases needed for the mathematical representation of whole animal metabolism. *Nutrition Abstract Reviews* 2:181.
- INRA. (1989). Ruminant Nutrition. John Libbey Eurotext, Montrouge, France.
- Lal, R. 1987. Tropical ecology and physical edaphology. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Lanna, D. P. D., Fox, D. G. , Boin, C., Traxler, M. J., & Barry, M. 1996. Validation of the Cornell net carbohydrate and protein system estimates of nutrient requirements of growing and lactating zebu germplasm in tropical conditions. *J. Animal Science* 74:Supplement 1:287 (abstract).
- Lobley, G. E. (1992). Control of the metabolic fate of amino acids in ruminants: a review. *Journal of Animal Science* 70:3264.
- Mertens, D. (1988). Balancing carbohydrates in dairy rations. *Proceedings Large Dairy Herd Management Conference, Department of Animal Science, Cornell University*. p.150.
- Moe, P. W. (1981). Energy metabolism of dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 64:1120.
- National Research Council. (1984). Nutrient Requirements of Beef Cattle. National Academy Press, Washington, DC.

- National Research Council. (1996). Nutrient Requirements of Beef Cattle. National Academy Press, Washington, DC.
- National Research Council. (1989). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Academy Press, Washington, DC.
- National Research Council. (1985). Ruminant Nitrogen Usage. National Academy Press, Washington, DC.
- O'Connor, J. D., Sniffen, C. J., Fox, D. G. & Chalupa, W. (1993). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. IV. Predicting amino acid adequacy. *Journal of Animal Science* 71:1298.
- Pell, A. N., & Schofield, P. (1993). Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion in vitro. *J. Dairy Sci.* 76:1063.
- Pitt, R. E., Van Kessel, J. S., Fox, D. G., Pell, A. N., Barry, M. C. & Van Soest, P. J. (1996). Prediction of volatile fatty acids and pH within the net carbohydrate and protein system. *Journal of Animal Science* 74:226.
- Rohr, K. & Lebziem, P. (1991). Present knowledge of amino acid requirements for maintenance and production. *Proceedings 6th International Symposium Protein Metabolism and Nutrition*. Herning, Denmark.
- Roseler, D. K. (1991). The use of nutrition models in the commercial feed industry. *Proceedings Cornell Nutrition Conference* p 66.
- Roseler, D. K. (1994). Development and evaluation of feed intake and energy balance prediction models for lactating dairy cattle. PhD Thesis, Cornell University, Ithaca, NY.
- Russell, J. B., O'Connor, J. D., Fox, D. G., Van Soest, P. J. & Sniffen, C. J. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. I. Ruminant fermentation. *Journal of Animal Science* 70:3551.
- Savant, D. (1991). The use of modelling to predict animal responses to diet. *Proceedings Ralston Purina International Scientific Advisory Board Meeting*. Paris, France.
- Sniffen, C. J., O'Connor, J. D., Van Soest, P. J., Fox, D. G. & Russell, J. B. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science* 70:3562.

- Traxler, M. J., Fox, D. G., Van Soest, P. J., Pell, A. N., Lascano, C. E., Lanna, D. P., Moore, J. E., Lana, R. P., Velez, M., & Flores, A. (1998). Predicting unavailable fiber from lignin contents. *Journal of Animal Science* (Accepted for Publication).
- Traxler, M.J. 1997. Predicting the effect of lignin on the extent of digestion and the evaluation of alternative intake models for lactating cows consuming high NDF forages. Ph.D. thesis, Cornell University, Ithaca, NY.
- Tylutki, T. P., Fox, D. G. & Anrique, R. G. (1994). Predicting net energy and protein requirements for growth of implanted and nonimplanted heifers and steers and nonimplanted bulls varying in body size. *Journal of Animal Science* 72:1806.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B. & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74:3583.