

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLIN	
Facultad de Ciencias Agropecuarias	Departamento de Producción Animal
Sección de Nutrición Animal	



EL MODELO NRC 2001

Héctor Jairo Correa Cardona
Universidad Nacional de Colombia

Departamento de Producción Animal
hjcc_unal@hotmail.com

EL MODELO NRC 2001¹

4.1. Introducción.

Recientemente fue publicada la séptima edición de The nutrient requirements of dairy cattle del National Research Council (2001). En esta edición se hace una descripción de las bases metodológicas para predecir los requerimientos de nutrientes y el aporte que hacen los alimentos, a partir de la literatura científica y experiencias prácticas que se publicaron durante la última década y fueron revisadas para este fin. Sobre la base de esta información se actualizaron las ecuaciones matemáticas que se incluyeron en la sexta revisión de The nutrient requirements of dairy dattle (Nacional Research Council, 1989) y se generaron nuevas ecuaciones, todas las cuales se incorporaron en el modelo 2001. Los autores de esta última edición reconocen que algunos usuarios preferirán utilizar tablas de requerimientos para una situación promedio, de tal manera que la revisión incluye, además, tablas de requerimientos. De igual manera, los autores reconocen que aunque existe alguna incertidumbre al utilizar el modelo para estimar los requerimientos nutricionales, consideran que es importante y fundamental avanzar en el conocimiento científico y su aplicación mediante la construcción de modelos de predicción, que como el modelo 2001, esta basado en un alto número de datos. Sin embargo, aseguran, así mismo, que este tipo de modelos es la única manera efectiva de tener en cuenta la variación en los diversos factores que determinan los requerimientos nutricionales de los animales: *“A diferencia de los valores tabulados estáticos, los modelos de predicción tal como el que se suministra en esta última edición puede describir animales en diferentes estados con diferentes necesidades. Un modelo puede acomodar las fluctuaciones causadas por el efecto de ingredientes alimenticios o la absorción de*

¹ Este documento fue presentado en el curso de educación continuada: Nutrición y alimentación de la vaca en transición. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Medellín, 20 a 22 de junio de 2001.

nutrientes y consecuentemente, sobre el potencial productivo del animal, lo cual afecta sus requerimientos nutricionales". El modelo 2001 fue diseñado para suministrar información práctica sobre situaciones específicas en un formato bastante amigable.

4.2. Estructura del modelo.

El modelo del National Research Council (2001) está dividido en dos grandes componentes: uno para la predicción de requerimientos y otro para el cálculo del suministro de nutrientes. Dentro de esta estructura, hay sub-modelos para las funciones de mantenimiento, crecimiento, lactancia y preñez, así como para el consumo de materia seca, minerales, reservas corporales, suministro de energía y proteína, aminoácidos y evaluación de la dieta. Comprende, así mismo, un modelo aparte para animales jóvenes.

4.2.1. Predicción de requerimientos:

El componente de requerimientos está dividido en cuatro secciones principales e independientes: mantenimiento, crecimiento, lactancia y preñez. Por otro lado, los requerimientos son planteados de manera diferente para cuatro grupos de animales: vacas lactantes, vacas secas, novillas de reemplazo, y animales jóvenes.

En este documento se hará una discusión sobre los componentes del modelo que tienen que ver con animales adultos, haciendo énfasis en animales en transición.

4.2.1.1. Mantenimiento.

4.2.1.1.1. Requerimientos energéticos.

Los requerimientos energéticos para mantenimiento y producción de leche se expresan como energía neta de lactancia (EN_L). El modelo fundamenta el cálculo de los requerimientos energéticos para mantenimiento en el peso metabólico de los animales, haciendo un ajuste por las demandas energéticas que se originan

por la actividad física del pastoreo. Esto último significa un avance importante con relación al modelo anterior (National Research Council, 1989). El cálculo del peso metabólico también presenta una novedad ya que este es calculado restando del peso vivo del animal, el peso correspondiente al útero grávido, el que a su vez, es estimado a partir del peso esperado de la cría al nacimiento, el peso adulto y los días de preñez:

$$EN_{\text{mant}} \text{ (Mcal/d)} = (((PV - PUG)^{0.75}) * a1) + EN_{\text{mact}}$$

$$PUG = (18 + ((DP - 190) * 0.665)) * (PCN/45)$$

donde PV = peso vivo; PUG = peso del útero grávido; a1 = factor de corrección para vacas maduras ($0.08 = 80 \text{ kcal/kg PV}^{0.75}$); EN_{mant} = variable para calcular los requerimientos por actividad; DP = días de preñez; PCN = peso de la cría al nacimiento = $\text{Peso Adulto} * 0.06275$

Los requerimientos por actividad física, que pueden representar hasta 10% de incremento en los costos energéticos para mantenimiento, se calculan con base en la distancia que recorre el animal desde el sitio de ordeño hasta el potrero, el grado de dificultad del terreno recorrido y el peso vivo del animal:

$$EN_{\text{mact}} = (((\text{Distancia} * \text{viajes}) * (0.00045 * PV)) + (0.0012 * PV))$$

De otra parte, cabe señalar que la base sobre la que se estiman las eficiencias parciales (k) de conversión de EM en EN_L en el modelo del National Research Council 2001 es el trabajo de Moe y Tyrrel (1972). Estos autores mostraron que la eficiencia en la que es usada la EM para funciones de mantenimiento es de 0,62 y para producción de leche es de 0,64, las cuales son consideradas muy similares

entre sí lo que permite que tanto la EN para lactancia como para mantenimiento se expresen en una misma unidad, EN_L (National Research Council, 2001). Sin embargo, en vista de que, como un proceso fisiológico normal, la vaca moviliza reservas corporales durante el posparto temprano para cubrir parcialmente las demandas de energía para la producción de leche, se hace necesario considerar este proceso para el cálculo de los requerimientos. Moe *et al.* (1970; citados por el National Research Council, 2001) establecieron que la eficiencia con la que son utilizadas las reservas corporales (tejido adiposo) para la producción de leche es de 0,82%. Con base en esta información, el modelo del National Research Council 2001 calcula los aportes energéticos, en términos de EN_L, que hacen las reservas corporales para la producción de leche:

$$EN_L \text{ (mcal/kg)} = \text{Reservas energéticas} * 0.82$$

El contenido energético de las reservas corporales es calculado a partir de la composición corporal de los animales la cual esta calculada, a su vez, en el grado de condición corporal de los animales en una escala de 1 a 9 (GCC (9)). En vista de que la escala de 1 a 5 para establecer el GCC es más comúnmente utilizada que la escala de 1 a 9 y es de esta forma como se ingresa la información en el modelo Nacional Research Council 2001, este hace la conversión de una escala en otra mediante la siguiente ecuación:

$$GCC (9) = ((GCC - 1)*2) + 1$$

Esta última ecuación es utilizada en el submodelo para predecir requerimientos energéticos para mantenimiento en novillas de reemplazo.

La relación entre composición corporal y grado de condición corporal se realiza mediante una ecuación de regresión para el caso del contenido de grasa y otra para el contenido de proteína:

Proporción de grasa corporal = $0.037683 * GCC$ (9)

Proporción de proteína corporal = $0.200886 - 0.0066762 * GCC$ (9)

Teniendo en cuenta la proporción de grasa y de proteína corporal, en el modelo se hace el cálculo del contenido energético del animal en función del calor de combustión para las proteínas (5.55 Mcal/kg) y para las grasa (9.4 Mcal/kg). Así mismo, el modelo considera la eficiencia con la que es utilizada la energía metabolizable para la deposición de reservas y, con base en esta información, en el modelo también se estima la energía requerida para la deposición de reservas corporales.

Estos cálculos son la base para estimar el tiempo requerido para perder o recuperar un grado de condición en vacas lactantes.

4.2.1.1.2. Requerimientos proteicos.

Los requerimientos de proteína son expresados como proteína metabolizable (PM), definida esta como la proteína verdadera que es digerida posruminalmente y los aminoácidos que son absorbidos por el intestino. Los requerimientos de mantenimiento se calculan factorialmente como la suma de los requerimientos para cubrir los gastos por la proteína que se pierde por descamaciones de la piel, urinaria, metabólica y endógena. Las dos primeras están calculadas a partir del peso metabólico corregido por el peso de útero grávido, en tanto que la proteína para el reemplazo de las pérdidas metabólicas fecales se calcula a partir del consumo de materia seca total (MSCtotal) y la proteína metabolizable de origen bacterial (PMBact) que es sintetizada en rumen, y la proteína endógena se calcula a partir del consumo de materia seca únicamente:

$$PM_{mant} = (0.3 ((PV - PUG)^{0.6})) + (4.1((PV - PUG)^{0.5})) + ((MSC_{total} * 1000 * 0.03) - (0.5 * ((PMBact / 0.8) - (PMBact)))) + 4.72 * MSC_{total}$$

La PMBact es calculada bajo dos condiciones: cuando la energía de la dieta es limitante para el crecimiento microbial y cuando el limitante es la proteína degradable en el rumen (PDR). En el primer caso se estima que la síntesis de PMBact equivale a 130 gr por cada kg de nutrientes digestibles totales (NDT) y, en el segundo caso, se estima que esta equivale a 850 gr por cada kg de PDR. Esto se verá nuevamente más adelante (sección 4.2.3.2).

4.2.1.1.3. Minerales.

Los requerimientos por minerales se calculan de manera más simple que para energía y proteína metabolizable. Para dar un ejemplo, el cálculo de los requerimientos por calcio (Ca) para mantenimiento considera la suma del calcio fecal y urinario en función del PV y los días en lactancia (DEL) el primero y solo el PV el segundo, así:

Si los DEL > 0, entonces Fecal = $3.1 * (PV/100)$

Si DEL =, entonces Fecal = $1.54 * (PV/100)$

Para el caso del fósforo (P) los cálculos son tan simples como para el Ca.

4.2.1.1.4. Vitaminas.

Los requerimientos por las vitaminas A, D y E es mucho más simple aún ya que estos se calculan por un método no factorial con base en el PV del animal utilizando ecuaciones diferentes para vacas lactantes, vacas secas y novillas de reemplazo: en el caso de la vitamina D esta se calcula para animales adultos y para el caso de la vitamina E, se establece una diferencia entre animales en pastoreo o en estabulación (Tabla 2):

Tabla 2. Ecuaciones para predecir los requerimientos de vitaminas en ganado lechero.

Vitamina	Tipo de Animal	Ecuación
A (1000 UI/kg)	Vaca lactante	0.11*PV
	Novilla o vaca seca	0.08*PV
D (1000 UI/kg)	Días de preñez > 190	0.016*PV
	De otra manera	0.03*PV
E (UI/kg)	Vaca seca en pastoreo	0.5*PV
	Novilla o vaca lactante en pastoreo	0.26*PV
	Vaca seca en estabulación	1.6*PV
	Novilla o vaca lactante en estabulación	0.8*PV

4.2.1.2. Lactancia.

4.2.1.2.1. Requerimientos de energía.

El requerimiento de energía neta para lactancia (EN_L) está definido como la energía contenida en la leche producida. La concentración de EN_L en la leche es equivalente a la suma de los calores de combustión de los componentes individuales de la leche: grasa, proteína y lactosa, cuyos valores de calor de combustión son, respectivamente, 9.29, 5.71 y 3.95 Mcal/kg. La proteína de la leche se calcula con base en el factor 6.38 y contiene aproximadamente 7% de nitrógeno no proteico (NNP). El calor de combustión promedio de los componentes del NNP es de 2.21 Mcal/kg, de tal manera que en el caso en el que se estable el valor de proteína total (PT) y no el de proteína verdadera en la leche, se debe emplear el valor de 5.47 Mcal/kg como calor de combustión. Cuando los componentes individuales de la leche son establecidos, los requerimientos de EN_L por producción se calcula como:

$$EN_L \text{ (Mcal/kg)} = 0.0929*\%Grasa + 0.0547*\%PT + 0.0395*\%Lactosa$$

Cuando sólo se miden la grasa y la proteína y se asume que el contenido de lactosa es de 4.85%, estos requerimientos se calculan así:

$$EN_L \text{ (Mcal/kg)} = 0.0929*\%Grasa + 0.0547*\%PT + 0.192$$

Finalmente, cuando sólo se conoce el valor del contenido grasa se utiliza la siguiente ecuación:

$$EN_L \text{ (Mcal/kg)} = 0.360 + 0.0929 * \% \text{Grasa}$$

4.2.1.2.2. Requerimientos de proteína.

Los requerimientos de proteína para lactancia (PMLact) están basados en la cantidad de proteína secretada en la leche y la eficiencia con la que es utilizada la PM en lactancia, la cual se asume de 0.67. Este valor es el resultado del balance cero o menos para PM en 61 de 206 dietas reportados en la literatura revisada por los autores. De esta manera, la ecuación para estimar la PMLact es:

$$PMLact \text{ (g/d)} = (\text{Producción}/0.67) * 1000$$

4.2.1.2.3. Minerales.

De nuevo, los requerimientos por minerales para lactancia se calculan de manera simple. Así, para el Ca estos se calculan de acuerdo a la raza, con base en la leche producida:

$$\text{En Holstein y Shorton, Ca (g/d)} = 1.22 * \text{Producción}$$

$$\text{En Jersey, Ca (g/d)} = 1.45 * \text{Producción}$$

$$\text{Para otro tipo de raza, Ca (g/d)} = 1.37 * \text{Producción}$$

Para el caso del P, los requerimientos se calculan a partir de una única ecuación:

$$P \text{ (g/d)} = 0.9 * \text{Producción}$$

4.2.1.3. Gestación.

4.2.1.3.1. Requerimientos energéticos.

Los requerimientos energéticos para gestación se calculan únicamente a partir de los 190 días de gestación asumiendo un máximo de 279 de días de preñez. Estos dependen del peso esperado al nacimiento de la cría (PCN: ya se había definido previamente) y los días de preñez, incluyendo una constante para la eficiencia con la que es utilizada la energía metabolizable (EM) para gestación(0.14):

$$EM \text{ (Mcal/d)} = (((0.00318*DP - 0.0352)*(PCN /45))/0.14$$

Para convertir EM en EN_L se asume una eficiencia de 0.64; por lo tanto, los requerimientos de EN_L para preñez se calculan como:

$$EN \text{ (Mcal/d)} = (((0.00318*DP - 0.0352)*(PCN /45))/0.218$$

4.2.1.3.2. Requerimientos proteicos.

Al igual que los requerimientos de EN_L, los de proteína se calculan con base en los días de preñez y el PCN, asumiendo que la eficiencia con la que es utilizada la PM para preñez es de 0.33:

$$PM_{preñ} = (((0.69*DP)-69.2)*(PCN/45))/0.33$$

4.2.1.3.3. Minerales.

Los requerimientos de Ca y P para gestación, al contrario del calculo para mantenimiento y lactancia, involucran ecuaciones de mayor complejidad aunque basadas exclusivamente en los días de preñez:

$$Ca \text{ (g/d)} = 0.02456 * (\text{Exp}((0.05581 - (0.00007 * DP)) * DP) - 0.02456 * \text{EXP}((0.05581 - (0.00007 * DP - 1)))) * (DP - 1))$$

$$P \text{ (g/d)} = 0.02743 * \text{Exp}(((0.05527 - (0.000075 * DP)) * DP)) - 0.02743 * \text{Exp}(((0.05527 - (0.000075 * (DP - 1)))) * (DP - 1)))$$

4.2.2. Consumo de materia seca.

El consumo de materia seca (CMS) es estimado en este modelo a partir de una ecuación que incluye únicamente factores relacionados con el animal y que son medidos fácilmente en campo. Componentes de la dieta no se incluyeron en este modelo debido a que las aproximaciones más comúnmente utilizadas en formulación de dietas para ganado lechero se realizan para estimar requerimientos nutricionales y se necesita un valor estimado de CMS antes que los ingredientes de la dieta sean considerados. De no ser así, y se considerasen factores de la dieta, habría un conflicto entre la estimación del CMS de una dieta determinada y la composición de la misma dieta. Los autores señalan que las ecuaciones que incluyen componentes dietarios son más útiles para evaluar el alimento consumido más bien que para predecir lo que se espera que los animales consuman. En otras palabras se puede señalar que la ecuación propuesta en esta edición es una ecuación *a priori* y no *a posteriori*.

Para las vacas en lactancia se utiliza una ecuación de predicción del CMS basada en la producción de leche corregida por grasa (LCG), el peso metabólico del animal y las semanas en lactancia (SEL):

$$\text{CMS (kg/d)} = (0.372 * \text{LCG} + 0.0968 * \text{PV}^{0.75}) * (1 - e^{(-0.192 * (\text{SEL} + 3.67))})$$

El término $1 - e^{(-0.192 * (\text{SEL} + 3.67))}$ se utiliza para ajustar la disminución en el CMS durante las primeras semanas posparto.

Para vacas secas durante los últimos 21 días de preñez, la ecuación que predice el CMS es:

$$\text{CMS (kg/d)} = ((1.97 - (0.75 * \text{Exp}(0.16 * (\text{DP} - 280)))) / 100) * \text{PV}$$

4.2.3. Suministro de nutrientes.

El otro gran componente del modelo National Research Council 2001 es el que permite predecir los aportes de nutrientes desde los alimentos suministrados a los animales. Este componente es bastante interesante ya que a diferencia de otros modelos, la predicción del valor energético y proteico de los alimentos es dinámica, esto es, no hay valores únicos que se puedan tabular. Para el caso de vacas lactantes tanto los valores de energía como de proteína dependen del peso vivo del animal, los días en lactancia, la producción de leche y la composición de la leche. Para el caso de las vacas secas, estos valores varían en función del peso vivo de la vaca y los días de preñez. Esto es, en su conjunto, los valores de energía y proteína de los alimentos dependen de aquellos factores que determinan el CMS de los animales.

4.2.3.1. Valor energético de los alimentos.

El método utilizado para obtener y expresar los valores de energía de los alimentos en el modelo 2001 es diferente al utilizado en las ediciones anteriores. Esto implica cierta dificultad para comparar los valores obtenidos en esta edición frente a los valores publicados en la edición anterior. En la edición anterior de The nutrient requirement of dairy cattle (National Research Council, 1989), a los alimentos se les asignaron valores de NDT que fueron determinados experimentalmente usando alimentos similares. Las concentraciones de energía digestible (ED), metabolizable (EM) y neta de lactancia (EN_L) para cada alimento fueron estimadas a partir de los valores de NDT con base en las siguientes ecuaciones :

$$\text{ED (Mcal/kg)} = 0.04409 * \text{NDT (\%)}$$

$$EM \text{ (Mcal/kg)} = 1.01 * ED \text{ (mcal/kg)} - 0.45$$

$$EN_L \text{ (mcal/kg)} = 0.0245 * NDT \text{ (\%)} - 0.12$$

Esta es una propuesta a la que se le reconocen muchos problemas (National Research Council, 2001): los valores tabulados existentes son apropiados únicamente para alimentos similares a los utilizados en los ensayos de digestibilidad; para muchos alimentos, el valor de NDT no se puede medir directamente; las ecuaciones usadas para hacer las conversiones de NDT a EM y EN_L se derivaron de ensayos con dietas completas de manera que para muchos alimentos, los valores de TDN están fuera del rango de TDN de las dietas experimentales. Finalmente, se hace un descuento constante de 8% para estimar EN_L asumiendo que los animales están consumiendo a tres veces el consumo de mantenimiento.

Debido a estos problemas, los valores tabulados de NDT en la última edición se calcularon a partir de la composición química de los alimentos en lugar de calcularlos experimentalmente. Además, los valores de EN_L se calcularon basados en el consumo real y en la digestibilidad total de la dieta.

El contenido de NDT de los alimentos, como porcentaje de la materia seca, se calcula como la suma de las digestibilidades verdaderas (dv) de las fracciones energéticas, esto es, de la proteína (PC), los carbohidratos estructurales (FDN), los carbohidratos no fibrosos (CNF) y el extracto étereo (EE). Se asume que la pérdida endógena fecal de NDT es constante del 7%.

La digestibilidad verdadera de cada fracción se estima empíricamente a partir de la composición química del alimento, así:

$$\text{Digestibilidad verdadera de la proteína cruda de forrajes (dvPCf)} = PC * \exp(-1.2*(PCIDA/PC))$$

Digestibilidad verdadera de la proteína cruda de concentrados (dvPCc) =
 $(1 - (0.4 * (PCIDA/PC))) * PC$

Digestibilidad verdadera de los carbohidratos no fibrosos (dvCNF) =
 $0.98 * (100 - ((FDN - PCIDN) + PC + EE + Cenizas)) * FAP$

Digestibilidad verdadera de la fibra en detergente neutro (dvFDN) = $0.75 * (FDN - PCIDN - L) * (1 - (L/(FDN - PCIDN)))^{0.667}$

donde PCIDA = proteína cruda indigerible en detergente ácido; PCIDN = proteína cruda indigerible en detergente neutro; FAP = Factor de ajuste por procesamiento; L = lignina en detergente ácido.

Se asume que la digestibilidad verdadera de las grasas es del 100%

Con la finalidad de corregir el efecto del procesamiento de los alimentos sobre la digestibilidad de los carbohidratos no fibrosos, se utilizan factores de ajuste calculados empíricamente. De esta manera se incrementa el valor de digestibilidad para la cebada rolada (1.04) en comparación al ensilaje de maíz maduro (0.87).

Los alimentos de origen animal no presentan cantidades significativas de CNF pero algunos de estos presentan residuos insolubles en detergente neutro de naturaleza química diferente a la celulosa, hemicelulosa y lignina por lo cual se emplea una ecuación diferente a las propuestas arriba. Así mismo, para los suplementos ricos en grasa se proponen ecuaciones diferentes: una para alimentos grasos que posean glicerol y otra para los que no lo poseen.

En la sexta edición de *The nutrient requirement of dairy cattle* (National Research Council, 1989) se estimaba el contenido de ED de los alimentos multiplicando el valor de NDT por una constante (4.409 Mcal/kg de NDT). En vista de que el

contenido energético de las fracciones nutricionales es diferente, en la nueva versión, este esquema se abandona y en su lugar, el contenido de ED de los alimentos se calcula multiplicando el contenido estimado de nutrientes digestibles por sus calores de combustión haciendo una corrección por la energía metabólica fecal.

Por ejemplo, para la mayoría de alimentos:

$$\text{ED (mcal/kg)} = (\text{dvCNF}/100) \cdot 4.2 + (\text{dvFDN}/100) \cdot 4.2 + (\text{dvPC}/100) \cdot 5.6 + (\text{EE}/100) \cdot 9.4 - 0.3$$

La corrección por energía metabólica fecal resulta de multiplicar un valor constante de pérdida asumida en NDT de 7% por su calor de combustión (4.4 Mcal/kg).

En vista de que al incrementarse el consumo de alimento se reduce la digestibilidad del mismo, el modelo introduce una ecuación empírica para calcular el porcentaje de disminución en la digestibilidad en función del CMS.

$$\text{Descuento} = [(\text{NDT} - [(0.18 \cdot \text{NDT}) - 10.3]) \cdot \text{CMS}] / \text{NDT}$$

Esta difiere marcadamente del modelo anterior que consideraba una disminución constante del 4% para consumos de tres veces el de mantenimiento. Esto implica que sobre la base de esta corrección, el valor energético de los alimentos no son constantes si no que varían en función del CMS. Algo muy similar sucede con la valoración de la proteína. Este factor de ajuste se utiliza para corregir el cálculo de ED.

La EM es calculada a partir de la ED utilizando la misma ecuación que se empleaba en la sexta versión (National Research Council, 1989) pero haciendo una corrección que genera un incremento en 0.0046 % por cada unidad de

incremento en el contenido de EE por encima de 3%, lo que implica que se incrementa el valor de EM de alimentos altos en EE.

Finalmente, para estimar el contenido de EN_L de los alimentos se emplea una ecuación derivada por Moe y Tyrrell (1972) que hace la estimación a partir de la EM para alimentos con menos de 3% de grasa:

$$EN_L = (0.703 * (EM \text{ (Mcal/kg)}) - 0.19)$$

Sorprendentemente, se introduce una modificación para ajustar la mejor eficiencia de transformación de EM a EN_L para las grasas y que fue calculada en 0.8 a partir de solo tres observaciones. Una ecuación diferente es utilizada para alimentos con más de 3% de grasa.

4.2.3.2. Valor proteico de los alimentos.

El modelo parte por estimar el rendimiento de proteína microbial (PCM). Esta depende de la energía y la proteína disponible en rumen. Aunque el valor de los NDT no es el mejor estimador de la energía disponible en rumen, este es utilizado (corregido por el CMS) para estimar el rendimiento microbial.

$$PCM \text{ (g/d)} = 0.13 * NDT$$

El requerimiento de PDR se estimó con base en la relación entre el valor de PDR y N microbial que se encontró en una serie de datos analizados. Esta relación fue, en promedio, de 1.18. De esta manera, el requerimiento de PDR es:

$$PDR_{req} \text{ (g/d)} = PCM * 1.18$$

Cuando el consumo de PDR es menor que PDR_{req} , el rendimiento microbial se predice como:

$$\text{PCM (g/d)} = \text{PDR} * 0.85$$

Para calcular el sitio de la digestión de las proteínas, se requieren datos tanto de la tasa de digestión (Kd) como de la tasa de pasaje (Kp) de la PC. Mientras que el valor de Kd se debe obtener a partir de procedimientos *in situ*, el valor de Kp es estimado con base en el CMS, el contenido de FDN (para forrajes secos) y el porcentaje que del total de MS consumida, corresponda al alimento concentrado (para alimentos concentrados):

$$\text{Kp (forrajes húmedos)} = 3.054 + 0.614 * \text{CMS (\% PV)}$$

$$\text{Kp (forrajes secos)} = 3.362 + 0.479 * \text{CMS (\% PV)} - 0.007 * (\text{Concentrado, \% PV}) - 0.017 * \text{FDN (\% MS)}$$

$$\text{Kp (concentrados)} = 2.904 + 1.375 * \text{CMS (\% PV)} - 0.02 * (\text{Concentrado, \%PV})$$

Para calcular la proteína que se degrada en rumen (PDR) y la que escapa a la degradación ruminal (PNDR), se requiere estimar las fracciones A, B y C de las proteínas también por el método *in situ*. Estos valores se introducen en las ecuaciones correspondientes:

$$\text{PDR (\% PC)} = A + B(\text{Kd}/(\text{Kd} + \text{Kp}))$$

$$\text{PNDR (\% PC)} = B(\text{Kp}/(\text{Kd} + \text{Kp})) + C$$

La suma de PDR y PNDR debe dar 100%.

La proteína endógena que alcanza el duodeno es estimada a partir del CMS:

$$\text{PM}_{\text{endo}} \text{ (g/d)} = (1.9 * \text{CMS}) * 6.25$$

La proteína metabolizable (PM) total es la suma de los aportes de la PCM, PNDR y PM_{endo} .

4.2.3.3. Predicción del aporte de aminoácidos.

La estimación de los aminoácidos que alcanzan el duodeno, se puede hacer por dos métodos: un primer método es el factorial que involucra la estimación de la cantidad de PCM, PNDR y proteína endógena (PEn) que alcanza el duodeno, así como la composición de cada una de estas proteínas y su tasa de digestión. El otro método es el semifactorial o de regresión multivariada que permite que algunos parámetros sean estimados por regresión. Debido a que este método permite realizar correcciones parciales y no exige que se asignen valores de aminoácidos a la proteína microbial y endógena (solo se requiere el contenido de aminoácidos de los alimentos), fue el método elegido para la séptima versión de *The nutrient requirement of dairy cattle* (National Research Council, 2001). Este método predice la cantidad de aminoácidos que alcanza el duodeno sin diferenciar si son de origen microbial, endógeno o alimenticio. Esta aproximación exige que se desarrollen ecuaciones de predicción individuales para cada aminoácido y una para el flujo del total de los aminoácidos al duodeno.

En general, las ecuaciones para predecir la cantidad de aminoácidos que alcanzan el duodeno se basaron en dos parámetros: el primero es el % de cada aminoácido individual contenido en la PNDR (X_1). En realidad este valor se calcula aritméticamente al multiplicar el CMS de cada alimento por el contenido de PC del alimento, el contenido de PNDR del alimento y el aminoácido en el alimento. Por ejemplo, para lisina:

$$PNDR_{\text{lis}} = \sum \text{CMS} * \text{PC} * \text{PNDR} * \text{lis}, \text{ y esto para cada alimento } (X_1)$$

El segundo parámetro es el porcentaje que de la PM es la PNDR (X_2).

Para lisina la ecuación que predice la cantidad de este aminoácido que alcanza duodeno es:

$$\text{Lis} = 13.66 + 0.3276 * X_1 - 0.07497 * X_2$$

De esta manera, se hacen los cálculos para los demás aminoácidos esenciales. Para cada uno de ellos existe una ecuación diferente. En vista de que no existen datos de requerimientos de aminoácidos, este submodelo sólo aporta la información de la cantidad de aminoácidos esenciales que alcanza el duodeno pero no permite realizar balances. Este ha de ser uno de los retos a enfrentar hacia el futuro en la nutrición de rumiantes

La dirección en INTERNET en la que se ubica la séptima edición de The nutrient requirement of dairy cattle es:

<http://books.nap.edu/catalog/9825.html>

La dirección en INTERNET en la que se ubica el software del MODELO 2001 es:

<http://search.nap.edu/html/dairymodel/>

Moe, P. W., and H. F. Tyrrell. 1972. The net energy value of feeds for lactation. *J. Dairy Sci.* 55:945– 958.

Moe, P. W., H. F. Tyrrell, and W. P. Flatt. 1970. Partial efficiency of energy use for maintenance, lactation, body gain, and gestation in the dairy cow. *Proc. 4th Symp. Energy Metab. EAAP Publ.* 13:65. Cited by National Research Council. 2001. *The nutrient requirement of dairy cattle. Seventh edition.* National Academy Press, Washington, D. C. 381 p.

National Research Council. 1989. *The nutrient requirement of dairy cattle. Sixth edition.* National Academy Press, Washington, D. C.

National Research Council. 2001. *The nutrient requirement of dairy cattle. Seventh edition.* National Academy Press, Washington, D. C. 381 p.

LA SECCIÓN DE NUTRICIÓN ANIMAL DEL DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA EN SU SEDE DE MEDELLÍN HA VENIDO DESARROLLANDO DESDE PRINCIPIOS DE LA DÉCADA DE 1990 LA LÍNEA DE PROFUNDIZACIÓN EN EVALUACIÓN DE RECURSOS ALIMENTICIOS Y SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN ANIMAL, LÍNEA QUE SE APOYA EN LAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN CON EL MISMO NOMBRE AL INTERIOR DE LAS CUALES SE REALIZAN TRABAJOS DE GRADO CON ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE ZOOTECNIA.

ESTA SECCIÓN HA CONSIDERADO NECESARIO PONER A CONSIDERACIÓN DEL PÚBLICO INTERESADO EN LOS DIVERSOS TEMAS RELACIONADOS CON LA NUTRICIÓN Y LA ALIMENTACIÓN ANIMAL ARTÍCULOS TÉCNICOS QUE SIRVAN DE APOYO Y GUÍA PARA EL MANEJO RACIONAL DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL QUE EXISTEN EN EL PAÍS.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
DEPARTAMENTO DE PRODUCCION ANIMAL
SECCION DE NUTRICION ANIMAL

Tel 430 90 24 Fax: 430 9025 Cll 64 x Cra 65 Autopista Norte AA 1027

Medellín - Colombia