

III. ESTIMACIÓN DEL VALOR NUTRITIVO PARA PRODUCCIÓN DE LECHE

Yamandú Acosta¹

1. INTRODUCCIÓN

En el proceso evolutivo, los rumiantes han sido los compañeros de ruta más apropiados para el hombre, debido a que además de proporcionarle carne, cuero, fibra y leche, pueden utilizar para su alimentación productos de valor escaso o nulo para el hombre.

La ventaja ecológica de los rumiantes se basa en la adaptación anatómica y fisiológica de su tracto digestivo, lo que les permite, mediante una predigestión microbiana (fermentación) de los alimentos fibrosos, la utilización de carbohidratos estructurales como la celulosa, uno de los compuestos orgánicos más abundantes de la naturaleza, y compuestos nitrogenados no proteicos, para satisfacer sus necesidades de energía y proteína.

Sin embargo, desde hace mucho tiempo se ha observado que los productos utilizados en la alimentación de rumiantes tienen diferente aptitud para promover distintos tipos y ritmos de producción. Lo anterior, unido al hecho que la alimentación (producción y compra de alimentos) constituye uno de los componentes más caros en las explotaciones de producción animal, han llevado al desarrollo de diversas metodologías para determinar el valor nutritivo de los alimentos.

El objetivo de este trabajo es comentar y discutir brevemente los posibles usos y limitaciones de los indicadores de valor nutritivo más típicos que brindan los resultados de análisis de un laboratorio de nutrición animal,

con la finalidad de optimizar el uso de los recursos nutritivos disponibles.

Antes de seguir adelante es conveniente hacer algunas precisiones de carácter general, y que se sugiere tener siempre presente cuando se consideren aspectos nutricionales de la producción animal.

En primer lugar, los análisis de valor nutritivo no son un fin en sí mismos; estos resultados sólo tienen valor en la medida que sirvan para predecir performance o comportamiento animal.

En segundo lugar, lo que se conoce como "sabiduría nutricional" natural de los animales no opera tal como en esquemas de producción intensivos. Ningún sistema intensivo de producción animal puede basar su eficiencia física y económica en el hecho de que sean los animales quienes decida qué y cuánto consumen. La eficiencia deberá basarse en una asignación planificada de los recursos alimenticios disponibles, de acuerdo con las metas de producción previstas.

2. UTILIZACIÓN DE NUTRIENTES

La información internacional disponible sobre el tema de utilización de nutrientes por la vaca lechera es abundante. Aquí solamente se hará una referencia introductoria a la utilización de los macronutrientes PROTEÍNA y ENERGÍA, por ser éstos los de mayor demanda relativa y de mayor importancia económica.

¹Ing. Agr., M.SC., Programa Nacional Bovinos para Leche, INIA La Estanzuela.

2.1. Proteína

La proteína es un nutriente vital, requerido para mantenimiento, reproducción, crecimiento y lactación. En la producción de leche, sólo la energía es requerida en mayor cantidad que la proteína (1).

Como ya se mencionó, los rumiantes, a través de la síntesis de proteína microbiana en el rumen, tienen la capacidad de utilizar diversas fuentes de nitrógeno para satisfacer al menos en parte los requerimientos del animal huésped (26). Esta capacidad de sintetizar proteína por los microorganismos del rumen, cuando la disponibilidad de nitrógeno no es limitante, depende básicamente de la disponibilidad de energía de la dieta. Diversos trabajos realizados en el extranjero indican que, en promedio, el 72 % de la variación observada en aporte de proteína microbiana al intestino del animal fue explicada por la disponibilidad de energía a nivel del rumen de las dietas utilizadas (8).

No obstante, en situaciones de alta demanda nutricional, como son animales en rápido crecimiento o la vaca lechera de altos rendimientos, el flujo de proteína microbiana al intestino puede no ser suficiente para satisfacer los requerimientos del animal. En

estos casos, ese déficit debe ser cubierto con proteína de la dieta que sea capaz de escapar a la degradación ruminal, dado que la capacidad de sintetizar proteína microbiana a partir de nitrógeno no proteico ha sido saturada (10).

En la Figura 1 se muestra este efecto. Una vez agotada la capacidad de síntesis de proteína microbiana del rumen, todo aumento en el suministro de nitrógeno no proteico hace que ese amonio escape del rumen para ser metabolizado en el hígado y luego ser eliminado en la orina y parcialmente devuelto al rumen vía saliva.

Por lo tanto para aumentar la oferta proteica a nivel del intestino, se hace necesario recurrir a la proteína del alimento. Así entonces, para un mismo nivel de proteína cruda (PC) de la dieta, el aporte es mayor para aquellos suplementos con una proporción mayor de proteína no degradable a nivel del rumen (ejemplo: harina de pescado).

En la Figura 2 se aprecia el efecto descrito sobre la producción de leche al variar simultáneamente el contenido de proteína cruda de la dieta y la sustitución de proteína verdadera por su equivalente en urea (nitrógeno no proteico) en un rango del 0 a 1 40% (23).

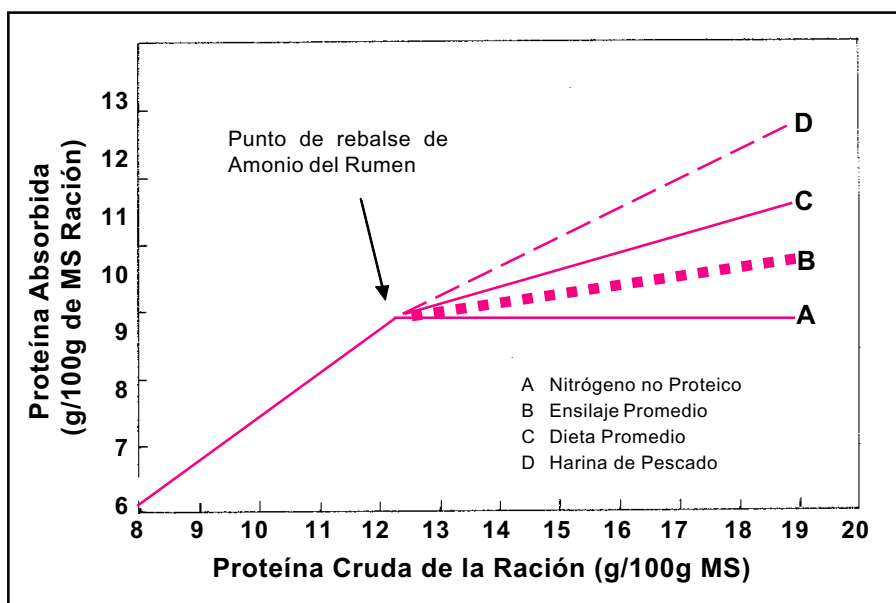


Figura 1. Efecto del tipo de proteína de la dieta sobre la cantidad de proteína absorbida a nivel del intestino. (Adaptado de Satter et al., 1977.)

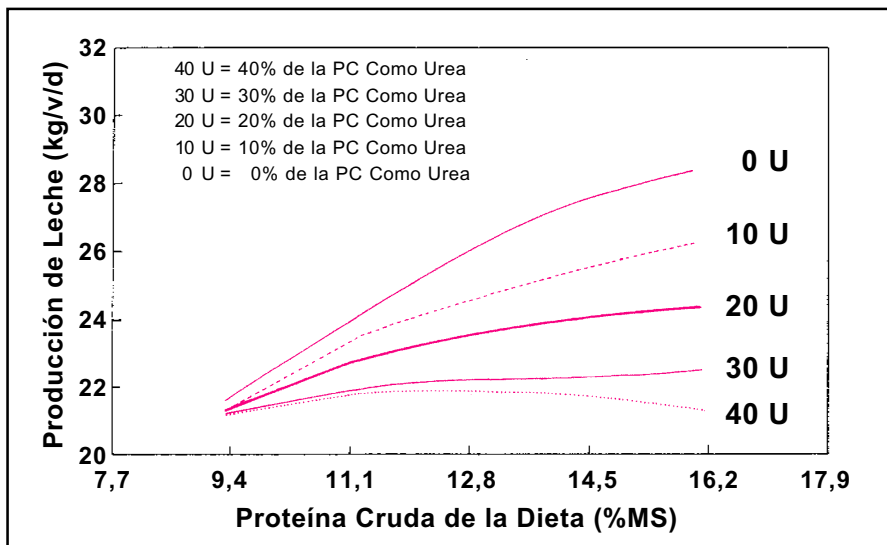


Figura 2. Efecto de variar simultáneamente la cantidad y el tipo de proteína de la dieta sobre la producción de leche. (Adaptado de Polan *et al.*, 1976.)



Figura 3.

De todos modos, existe en la bibliografía internacional información experimental que reporta producciones de más de 4.000 kg de leche por lactancia en base a dietas purificadas, libres de proteína, suplementadas con nitrógeno no proteico (27). Por lo tanto, las dietas a base de forrajes y concentrados con contenidos promedio de proteína no degradable en el rumen, no serían limitantes para niveles de producción del orden de los 4.500 a 5.000 kg de leche por lactancia (16).

2.2. Energía

Si bien no hay signos específicos provocados por deficiencia de energía, la misma se manifiesta en el ganado lechero por una reducción en el rendimiento de leche, pérdida de peso de los animales y disminución del comportamiento reproductivo (15).

Existen muchas formas para expresar los requerimientos energéticos de los animales y del valor energético de los alimentos. Según el esquema convencional (20), estos indicadores incluyen: energía digestible (ED), energía metabolizable (EM), energía neta de mantenimiento (ENm), energía neta de ganancia de peso (ENg), energía neta de lactación (ENl) y nutrientes digestibles totales (NDT).

2.3 Energía Digestible

Este término sólo toma en cuenta la pérdida de energía en forma de heces. En muchos casos la ED se estima a partir del contenido de nutrientes digestibles totales (% NDT) de un alimento, estimando un valor de 4.409 M cal de ED por kg. de NDT (20).

La mayor crítica al uso de este indicador es que el mismo está muy afectado por el nivel de consumo del animal, y que usualmente se estima mediante ensayos de digestibilidad con animales en niveles de consumo equivalentes (o muy cercanos) a mantenimiento, por lo cual para poder extrapolarlo a animales en producción es necesario una corrección por nivel de consumo.

En segundo lugar, se ha observado que la eficiencia con que se usa 1 kg. de NDT con propósitos productivos es diferente según que ese NDT provenga de forrajes o de concentrados. Esto se debe a que la depresión causada por el aumento en el nivel de consumo no es igual para todos los componentes del alimento, siendo mayor para los componentes de la fracción libre (13).

2.4. Energía Metabolizable

La EM toma en cuenta las pérdidas de energía en las heces y orina. Si bien a nivel experimental se han determinado los requerimientos de EM para vacas lecheras, existe relativamente poca información obtenida en forma directa sobre el contenido de EM de los alimentos. Por lo general, la EM se estima como una función de la ED (12).

2.5. Energía Neta

El sistema de energía neta (EN) ha sido propuesto como forma de reducir las imprecisiones que causa el uso de ED, NDT y EM. La EN toma en cuenta las pérdidas de energía debidas al proceso digestivo (heces, orina, gas, incremento calórico), así como diferencias debidas al nivel de consumo.

Sin embargo, la eficiencia de utilización de la EN de un alimento depende de si es usada para mantenimiento, crecimiento, engorde o lactación (12). Por esta razón, cada alimento tiene más de un valor de EN.

Afortunadamente, los animales en lactación utilizan la EN con aproximadamente la misma eficiencia tanto sea para mantenimiento como para producción de leche.

Esto permite utilizar un único valor (ENI) para presupuestar los requerimientos y evaluar los alimentos para vacas lecheras (12).

3. MÉTODOS DE EVALUACIÓN NUTRITIVA

3.1. Evaluación Visual

Todos los alimentos, y en especial los forrajes, normalmente se evalúan en base a la vista, el olor y el tacto. Si bien la evaluación visual tiene serias limitaciones para cuantificar la calidad de un alimento, determinadas características como el color, el olor, la cantidad de hojas y tallos, el estado de madurez del cultivo, y la contaminación con malezas, hongos y tierra, permiten una primera apreciación de la calidad, e incluso establecer un ranking entre forrajes comparables.

La evaluación visual para ayudar a identificar problemas que no pueden ser explicados por lo análisis de laboratorio corrientes, por lo que es recomendable usar el método visual conjuntamente con los datos de análisis químico.

3.2. Análisis Químicos

Los métodos químicos son actualmente los más difundidos y más ampliamente utilizados en el mundo. Estos métodos se basan en conocidos principios químicos y bioquímicos; a través de procesos de secado, extracción y pesado se determinan los principales componentes de valor nutritivo de los alimentos.

Para que el resultado del análisis sea válido es imprescindible utilizar un procedimiento de muestreo que asegure una muestra representativa del alimento a analizar.

3.2.A. Análisis Proximal

Es uno de los métodos más antiguos, con más de un siglo de formulado. Se basa en la partición de la fracción de materia seca (MS) en componentes de valor nutritivo conocido como extracción al éter (EE) (Lípidos), pro-

teína cruda (PC) (N total x 6,25), cenizas (Cen) {fracción mineral}, fibra cruda (FC) (parte de la celulosa y la lignina) y extracto no nitrogenado (ENN) (azúcares solubles, almidón y parte de la celulosa y la lignina).

La principal limitante de este método consiste en su baja precisión en la recuperación de algunos componentes de la pared celular. La fracción extracto no nitrogenado se calcula por diferencia:

$$\text{ENN} = \text{MS} - (\text{PC} + \text{FC} + \text{EE} + \text{Cen})$$

de esta forma parte de la lignina y la celulosa hidrolizada en el procedimiento de extracción de fibra cruda es computada como ENN. Esto explica porque en muchos experimentos la digestibilidad de la fracción FC (básicamente pared celular) resultó mayor que la de los ENN (almidones) (17).

3.2.B. Componentes de la Pared Celular por el Método de los Detergentes

Este método fue desarrollado en la década del 60 por el Dr. Peter Van Soest con el objetivo de solucionar un problema importante: el sistema tradicional de determinación



Figura 4.

de la fibra cruda no diferenciaba los componentes de la pared celular lo suficiente como para generar estimadores precisos del valor energético de los forrajes en un rango amplio de especies y estados de madurez.

3.2.B.1. Fibra Insoluble en Detergente Neutro (FDN)

La FDN es la porción de la muestra de forraje que es insoluble en un detergente neutro (pH 7,0). Está básicamente compuesta por celulosa, hemicelulosa, lignina y sílice, y se la nombra comúnmente como "fracción pared celular".

El contenido de FDN de un forraje aumenta con la madurez pero también hay diferencias importantes entre especies forrajeras. En general, a igualdad de estado de madurez, las gramíneas tienen un contenido de FDN más alto que las leguminosas; a su vez, las gramíneas tropicales tienen más "pared celular" que las gramíneas templadas.

El contenido de FDN de un forraje está negativamente correlacionado con el máximo consumo voluntario de ese material por los rumiantes. Por lo tanto, cuando se formulan raciones en forma muy precisa FDN es un buen indicador del potencial de consumo de esa dieta.

3.2.B.2. Fibra Insoluble en Detergente Ácido (FDA)

Es la fracción de la pared celular del forraje que es más comúnmente incluida en los resultados de laboratorio. Incluye celulosa, lignina y sílice.

La importancia de FDA radica en que está negativamente correlacionada con la disponibilidad de energía del forraje, por lo que se han desarrollado ecuaciones específicas para distintas especies forrajeras. Estas ecuaciones permiten estimar el valor energético de un material a partir del dato de su contenido de FDA.

A partir del residuo insoluble en detergente ácido se puede continuar la extracción y determinar el contenido de lignina y de celulosa de una muestra. La lignina es un compuesto no glúcido de la pared celular que

dificulta la accesibilidad de los microorganismos del rumen a la celulosa y la hemicelulosa, limitando la digestibilidad de esos componentes.

La Figura 5 muestra un esquema de partición de los componentes de la pared celular comparando el método de los detergentes con el de fibra cruda.

4. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación se presentan los indicadores de valor nutritivo más típicos de un informe de resultados de análisis de laboratorio, destacándose su significado y limitaciones.

4.1. Materia Seca (MS)

Es la fracción del alimento libre de agua e indica su concentración de nutrientes. Si bien la vaca lechera no tiene requerimientos de materia seca como tal, la MS es un indicador importante pues constituye una de las fuentes más importantes de variación de valor nutritivo (concentración de nutrientes) entre alimentos similares dado que el agua carece de relevancia desde el punto de vista del aporte de nutrientes.

En el caso de forrajes conservados (henos o ensilajes), su contenido de humedad

puede dar una pauta de lo más o menos riesgoso del proceso de conservación.

4.2. Proteína

4.2.A. Proteína Cruda (PC)

Es una medida del contenido de nitrógeno total de una muestra, y se expresa como N X 6,25, dado que la proteína de la mayoría de los forrajes tiene un contenido promedio de nitrógeno del 16%.

La importancia de este estimador se basa en el hecho que los rumiantes son capaces de utilizar nitrógeno no proteico, y satisfacer parte de sus requerimientos de proteína con proteína microbiana sintetizada en el rumen.

La otra ventaja que ofrece este parámetro es que la mayor parte de la información disponible sobre requerimientos nutricionales y sobre valor nutritivo de alimentos está expresada en términos de PC. Sin embargo, PC no indica ni la proporción de proteína verdadera y nitrógeno no proteico de un alimento, ni las características de degradabilidad ruminal de la misma.

4.2.B. Proteína Cruda no Disponible

La proteína cruda tampoco informa de la cantidad de nitrógeno adherido a la fracción fibra ácido detergente (ADIN), la cual no está disponible para los microorganismos del rumen.

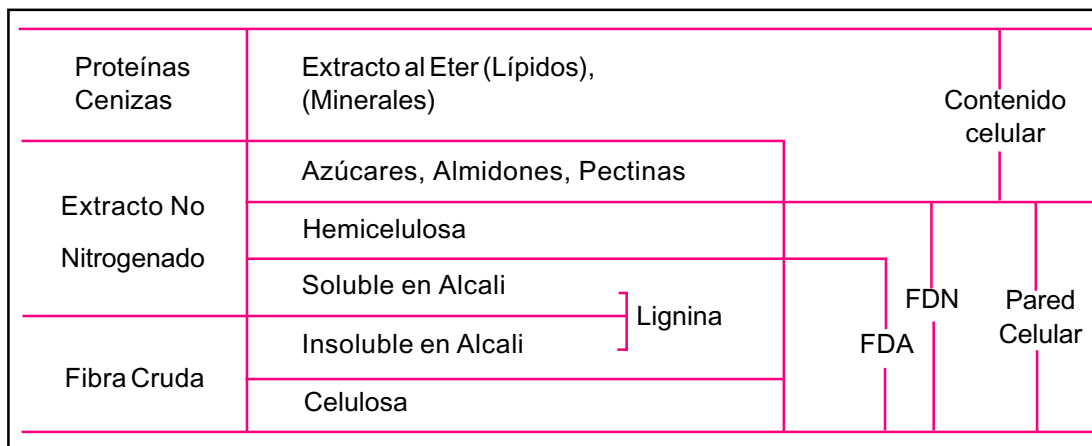


Figura 5. Comparación esquemática de las determinaciones de fibra cruda y componentes de la pared celular por el método de los detergentes (26).



Figura 6.

Si bien todos los alimentos tienen parte de su nitrógeno en forma no disponible, la mayoría de las estimaciones de requerimientos nutricionales y de respuesta a la suplementación con proteína cruda se basan en forrajes “normales”, con un contenido igual o inferior a 12% de su nitrógeno total asociado a la fracción FDA.

Sin embargo, cuando un forraje es expuesto a altas temperaturas, pueden ocurrir procesos de desnaturalización de las proteínas y de síntesis (productos de la reacción de Maillard, compuestos lignonitrogenados y condensados tanino-proteicos) que provocan una reducción de la disponibilidad del nitrógeno.

Este nitrógeno se encuentra asociado a la fibra detergente ácido (FDA) y se le conoce como ADIN (Acid Detergent Insoluble Nitrogen) o como su equivalente en proteína cruda ADIN-PC (ADIN x 6,25). El nitrógeno adherido a la fracción FDA es por lo tanto un excelente indicador de problemas de conservación de un forraje, especialmente calentamiento.

Valores de ADIN superiores al 12% de nitrógeno total indican reducción de la

digestibilidad de la proteína cruda por calentamiento, y valores superiores al 15% indican la ocurrencia de intenso calentamiento y, en consecuencia, considerable daño en la fracción proteína cruda.

4.2.C. Proteína Cruda Disponible (PCD)

En los casos en que se sospeche que puede haber ocurrido calentamiento (henos y ensilajes principalmente) es aconsejable solicitar la estimación del ADIN al laboratorio. Siempre que el ADIN sea mayor de 12% del nitrógeno total, es recomendable usar el parámetro proteína cruda disponible (PCD) en lugar de PC, para formular raciones. Para ello deberá realizarse la siguiente corrección:

$$PCD = \frac{\% PC \times [100 - (\%ADIN-PC - 12\%)]}{100}$$

4.3. Fracción Fibra

Básicamente, está constituida por los componentes de la pared celular, los cuales se encuentran entre las fracciones químicas menos digeribles de los alimentos, y que presentan buenas correlaciones con el valor energético de los alimentos.

4.3.1. Fibra Detergente Ácida (FDA)

Como ya se mencionara, FDA es un indicador de la disponibilidad de energía de la dieta, y es normalmente el parámetro utilizado para estimar la energía neta (EN) y los nutrientes digeribles totales (NDT) de un alimento.

Valores muy altos de FDA indican un material de baja calidad, pero dietas con contenidos menores a 20-21% de FDA pueden provocar disturbios digestivos, especialmente a nivel de rumen, y el síndrome de bajo tenor graso de la leche (15).

4.3.B. Fibra Detergente Neutro (FDN)

Es un indicador de la densidad de un alimento. Las dietas formuladas con contenidos mayores a 55% pueden mostrar limitaciones en su consumo voluntario máximo, y



Figura 7.

por lo tanto pueden no lograr satisfacer los requerimientos previstos. La mayoría de los laboratorios incluyen normalmente FDA en sus resultados; el FDN se incluye sólo cuando se lo solicita específicamente.

4.3.C. Fibra Cruda (FC)

Es un indicador que actualmente se usa poco debido a las razones ya discutidas. Algunos laboratorios lo incluyen en sus resultados de análisis, pero en estos casos también se puede calcular a partir de FDA, o bien a partir de un método modificado.

4.4. Energía

Como ya se adelantara, por lo general los valores de energía se calculan mediante ecuaciones que utilizan otros datos del mismo análisis del alimento. Como no todos los laboratorios usan las mismas fórmulas, es posible obtener valores de energía algo diferentes según la fuente utilizada.

4.4.A. Nutrientes Digestibles Totales (NDT)

Este indicador es normalmente estimado a partir del contenido de FDA de una muestra. Existen muchas ecuaciones para predecir NDT, dependiendo del laboratorio que las generó.

Por ejemplo:

a) Ecuación Promedio Para Gramíneas

$$\% \text{ NDT} = 92,51 - (\% \text{ FDA} \times 0,7965) [7]$$

b) Ecuación Promedio Para Pasturas Mezcla

$$\% \text{ NDT} = 102,56 - (\% \text{ FDA} \times 1,140) [7]$$

c) Ecuación Promedio Para Alfalfa

$$\% \text{ NDT} = 96,35 - (\% \text{ FDA} \times 1,15) [22]$$

d) Ecuación Promedio Para Ensilaje de Maíz

$$\% \text{ NDT} = 87,84 - (\% \text{ FDA} \times 0,70) [22]$$

4.4.B. Energía Digestible

Este parámetro se obtiene por ecuaciones (generalmente a partir del contenido de FDA de una muestra), por técnicas “*in vitro*”, o por ensayos de digestibilidad “*in vivo*”. El valor informado generalmente es la digestibilidad de la materia orgánica (DMO), ya que la fracción mineral no aporta energía.

4.4.C. Energía Neta

Es usual que los valores de energía neta se obtengan o bien directamente del conteni-

do de FDA de una muestra, o a partir de NDT, el cual es a su vez en muchos casos obtenido a partir de FDA.

Las ecuaciones para estimar energía neta suelen incluir un descuento estándar por nivel de consumo; para el caso de tablas norteamericanas, este descuento supone un nivel de consumo equivalente a 3 múltiplos del consumo de mantenimiento (7).

Debido a la diferente eficiencia con que la EN es utilizada por el animal según el estado fisiológico que se considere, cada alimento tiene más de un valor de EN; por ejemplo, para una dieta promedio y utilizando el valor de % NDT:

• **Para lactación**

$$\begin{aligned} \text{ENI (Mcal/kg MS)} &= \\ &= (\% \text{ NDT} \times 0,02456) - 0,119 \text{ [22]} \end{aligned}$$

• **Para mantenimiento**

$$\begin{aligned} \text{ENm (Mcal/kg MS)} &= \\ &= (\% \text{ NDT} \times 0,02906) - 0,291 \text{ [22]} \end{aligned}$$

• **Para ganancia de peso**

$$\begin{aligned} \text{ENg (Mcal/kg MS)} &= \\ &= (\% \text{ NDT} \times 0,02906) - 1,012 \text{ [22]} \end{aligned}$$

Como ya se mencionó, las vacas en lactación requieren un único valor de energía neta (ENI) dado que la eficiencia de utilización de la misma para lactación y para mantenimiento es similar.

A continuación, y modo de ejemplo, se presentan algunas ecuaciones para predecir ENI a partir de FDA para distintos alimentos, según diferentes fuentes.

• **Maíz grano**

$$\begin{aligned} \text{-ENI (Mcal/kg MS)} &= \\ &= 2,07 - (0,0176 \times \% \text{ FDA}) \quad [7] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{-ENI (Mcal/kg MS)} &= \\ &= 1,995 - (0,0057 \times \% \text{ FDA}) \quad [21] \end{aligned}$$

• **Maíz, mazorca entera**

$$\begin{aligned} \text{-ENI (Mcal/kg MS)} &= \\ &= 2,284 - (0,0507 \times \% \text{ FDA}) \quad [21] \end{aligned}$$

• **Raciones completas**

$$\begin{aligned} \text{-ENI (Mcal/kg MS)} &= \\ &= 1,909 - (0,015 \times \% \text{ FDA}) \quad [7] \end{aligned}$$

• **Mezcla de granos**

$$\begin{aligned} \text{-ENI (Mcal/kg MS)} &= \\ &= 1,784 - (0,0117 \times \% \text{ FDA}) \quad [7] \end{aligned}$$

• **Ensilaje de maíz**

$$\begin{aligned} \text{-ENI (Mcal/kg MS)} &= \\ &= 2,301 - (0,0273 \times \% \text{ FDA}) \quad [21] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{-ENI (Mcal/kg MS)} &= \\ &= 2,072 - (0,0176 \times \% \text{ FDA}) \quad [7] \end{aligned}$$

• **Leguminosas, principalmente alfalfa**

$$\begin{aligned} \text{-ENI (Mcal/kg MS)} &= \\ &= 2,302 - (0,0262 \times \% \text{ FDA}) \quad [21] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{-ENI (Mcal/kg MS)} &= \\ &= 2,302 - (0,0271 \times \% \text{ FDA}) \quad [7] \end{aligned}$$

• **Gramíneas**

$$\begin{aligned} \text{-ENI (McaVkg MS)} &= \\ &= 2,391 - (0,0273 \times \% \text{ FDA}) \quad [2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{-ENI (Mcal/kg MS)} &= \\ &= 2,391 - (0,0331 \times \% \text{ FDA}) \quad [7] \end{aligned}$$

• **Pasturas mezcla**

$$\begin{aligned} \text{-ENI (Mcal/kg MS)} &= \\ &= 2,398 - (0,0280 \times \% \text{ FDA}) \quad [21] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{-ENI (Mcal/kg MS)} &= \\ &= 2,301 - (0,0289 \times \% \text{ FDA}) \quad [7] \end{aligned}$$

5. GUÍA PARA EVALUAR DIETAS DE VACAS LECHERAS

A modo de resumen y ejemplo, a continuación se incluye el Cuadro 1 con una serie de criterios que servirán principalmente para diagnosticar sobre lo ajustado o no de una dieta para vacas lecheras, según los objetivos de producción propuestos.



Figura 8.

Cuadro 1. Estimaciones del rango de concentración de nutrientes de raciones para vacas lecheras, considerando varios niveles de producción.

Producción de leche (kg/día)	Proteína cruda (%)	Energía Neta de Lactación (Mcal/kg MS)	FDN (%)	FDA (%)
9 - 14	12 - 13		35 - 40	28 - 29
14 - 18	13 - 14	1.32 - 1.51	35 - 40	25 - 27
18 - 23	14 - 15		32 - 35	23 - 24
23 - 27	14 - 15	1.54 - 1.63	27 - 32	20 - 21
27 - 36	16 - 18		27 - 32	20 - 21
36 - 45	16 - 18	1.63 - 1.72	25 - 27	20 - 21