

INTRODUCCION DE NUEVOS SISTEMAS PARA EXPRESAR EL VALOR NUTRITIVO DE LOS FORRAJES TROPICALES. II. PROTEINA

R. García Trujillo y O. Cáceres

**Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"
Perico, Matanzas, Cuba**

Se estudió la adaptación del sistema PDI (proteína digerible en intestino) para expresar el valor proteico de los forrajes. Se desarrolló una nueva fórmula para poder calcular la digestibilidad real de la proteína alimentaria en rumen, ya que la inicial del sistema sobrevalora esta fracción en nuestros forrajes. El análisis del valor PDIE y PDIN de los forrajes arrojó que como promedio la síntesis de proteína microbiana se ve limitada por el nitrógeno fermentable en rumen y que un equilibrio entre energía y proteína para la síntesis microbiana en un forraje con 60% DMO se logra con un contenido de alrededor de 11% de PB. Se obtuvieron un grupo de ecuaciones para predecir las diferentes fracciones del sistema PDI y la PBD y se brindan ejemplos de como usar el sistema.

Palabras clave: *Sistemas, valor nutritivo, forrajes tropicales*

Los sistemas de expresión del valor proteico de los alimentos para los rumiantes se han basado, hasta hace pocos años, únicamente en el uso de la proteína bruta (PB) y o la proteína bruta digerible (PBD), la cual es usada aún por los principales estandar de requerimientos (ARC 1965; Nehring y Haenlein, 1973; NRC, 1978). Sin embargo, a partir de la mitad de la década de los años 70 se han propuesto nuevos sistemas de expresión del valor proteico (Burroughs, Trenkle y Vetter, 1974; Satter y Roffler, 1975; Roy, Balch,

Miller, Orskov y Smith, 1977; Jarrige, Journet y Verité, 1978). La causa principal del surgimiento de estos sistemas, es la limitante que presentan la PB y PBD, ya que no diferencian proteínas de diferente calidad, ni tienen en cuenta el papel que juega la síntesis de proteína microbiana en el suministro de este nutriente por los animales.

Los nuevos sistemas expresan su valor proteico en proteína o aminoácido metabolizable o proteína digerida en intestino y todos cuantifican la necesidad de aportar nitrógeno no proteico, para la síntesis de proteína ruminal y la de proteína verdadera.

En el presente trabajo, se abordará la introducción a nuestras condiciones del sistema de proteína digerible en intestino (PDI), desarrollado por Jarrige y col. (1978).

MATERIALES Y METODOS

Bases del sistema PDI. El PDI de cualquier alimento está integrado por la suma de dos fracciones básicas, que son la proteína alimentaria digerida en intestino (PDIA) y la proteína microbiana digerida en intestino (PDIM).

En este sistema se ha tenido en cuenta que la síntesis de proteína microbiana está gobernada por dos factores principales, que son la energía y el nitrógeno fermentado en rumen, por lo que en el sistema, el PDIM se expresa en dos fracciones: la proteína microbiana digerida en intestino que permite sintetizar la energía fermentable en rumen (PDIME) y la proteína microbiana digerida en intestino que permite sintetizar el nitrógeno fermentable en rumen (PDIMN). Tomando en cuenta este principio del sistema, a cada alimento se le asignan dos valores de PDI: el PDIE (PDI que permite la energía) y el PDIN (PDI que permite el nitrógeno fermentado en rumen), expresándose de la forma siguiente:

$$(1) \text{PDIE} = \text{PDIA} + \text{PDIME}$$

$$(2) \text{PDIN} = \text{PDIA} + \text{PDIMN}$$

En cada una de las expresiones el valor PDIA es el mismo, siendo el valor real de PDI de un alimento menor (PDIE o PDIN), indicando el mayor valor, el potencial de PDI.

Cuando se confecciona una ración es necesario equilibrar el valor de PDIE con el PDIN y ambos con los requerimientos de PDI de los animales. En una ración en que se hayan balanceado previamente los aportes de energía y el consumo de MS, los déficit de PDIE con los requerimientos de PDI se cubren con una fuente natural de proteína y las diferencias entre PDIN con los requerimientos con una fuente de NNP.

El sistema contempla también que parte de las diferencias entre PDIE y el PDIN pueden ser cubiertas por el reciclaje del nitrógeno a razón de 4,15 g de PDIN/Mcal de EM consumida para animales con altos requerimientos y de 6,93 g de PDIN/Mcal de EM para animales de bajos requerimientos.

El cálculo de cada una de las fracciones que integran el sistema PDI es como sigue:

$$(3) \text{ PDIA} = \text{PB} (1-S) 0,65 \times \text{dr} \text{ (g/kg MS)}$$

Donde:

S es la solubilidad de la proteína,

dr es la digestibilidad real de la proteína alimentaria en intestino

0,65 es un factor que representa el escape a la degradación de la proteína insoluble en rumen

La dr se determina por la fórmula siguiente:

$$(4) \text{ dr} = \frac{\text{PAI} - \text{PANDI}}{\text{PAI}}$$

Donde:

PAI (proteína alimentaria que llega a intestino), se calcula por la fórmula:

$$(5) \text{ PAI} = \text{PB} (1-S) 0,65$$

mientras que PANDI (proteína alimentaria no degrada en intestino) se calcula por la fórmula:

$$(6) \text{ PANDI} = \text{MNND} - 0,025 \text{ MOD} - 0,057 \text{ MOND}$$

En esta fórmula la MNND es la materia nitrogenada no digerible expresada como PB/kg MS, MOD es la materia orgánica digerible y MOND es la materia orgánica no digerible; los tres se expresan en g/kg MS. Esta última fórmula no predice el PANDI de los forrajes tropicales por lo que será objeto de estudio en este trabajo.

Las fórmulas para calcular el PDIME y el PDIMN son las siguientes:

$$(7) \text{ PDIME} = 135 \times 0,80 \times 0,70 \times \text{kg MOD} = 75,6 \times \text{kg MOD (g/kg MS)}$$

$$(8) \text{ PDIMN} = \text{PB} [S + 0,35 (1-S)] \times 0,80 \times 0,70 \text{ (g/kg MS)}$$

En estas fórmulas, 135 representa la síntesis de proteína microbiana en g/kg MOD; el factor 0,80, el nitrógeno microbiano que es proteína verdadera; el 0,70 la digestibilidad de la proteína microbiana en intestino, mientras que 0,35 significa que el 35% de la proteína insoluble se degrada en rumen.

Bases experimentales de la adaptación. Tomando como base 123 resultados de digestibilidad con carneros cuya metodología de trabajo ha sido descrita por García-Trujillo y Cáceres (1982) y que abarcó los forrajes buffel biloela, pasto estrella jamaicano, bermuda cruzada-1 y bermuda cruzada-68, sorgo bicolor, guinea SIH-127, guinea likoni y king grass, se desarrolló un grupo de ecuaciones que correlacionan la materia nitrogenada no digerible (MNND) con el nitrógeno total (NT), la materia orgánica digerible (MOD) y la materia orgánica no digerible (MOND), con el fin de confeccionar ecuaciones similares a la ecuación (6) que puedan predecir el PANVDI, ya que como se expuso anteriormente esta ecuación desarrollada por los franceses no se adapta a nuestras condiciones.

El contenido de PB y la digestibilidad de la MO oscilaron entre 3-12% y 52-73%, respectivamente.

Además se calcularon los valores promedio de PDI de nuestros forrajes y se desarrollaron ecuaciones de producción de las diferentes fracciones del PDI y la PBD, para lo cual se asumió provisionalmente una $S = 0,30$ y se emplearon las fórmulas básicas 3, 7, 8 y 10.

RESULTADOS

Ecuación para predecir PANDI. Se obtuvo una ecuación para estimar la MNND (ecuación 9) que se transformó según la ecuación 10 para estimar el PANDI. Al comparar los resultados que se obtienen de la dr con esta ecuación (tabla 1) con los que se obtienen al procesar nuestros datos con la ecuación propuesta por los franceses (ecuación 6), se observa claramente que esta última sobrestima el valor de dr de nuestros forrajes, mientras nuestra ecuación (10) da valores más lógicos y algo inferiores a los obtenidos por los franceses para las gramíneas de clima templado. La ecuación 10 fue obtenida de los datos que aportaron los pastos buffel biloela y bermuda cruzada-1, ya que las ecuaciones obtenidas de otros forrajes o su unión no presentaron una buena estimación de la dr y, por lo general, el coeficiente que multiplica la MOD fue negativo.

$$(9) \text{ MNND} = 0,501 + 0,045 \text{ NT} + 0,033 \text{ MOD} + 0,009 \text{ MOND} \quad r = 0,73^{***}$$

$$(10) \text{ PANDI} = \text{MNND} - 0,033 \text{ MOD} - 0,009 \text{ MOND}$$

En todas estas ecuaciones se expresan sus términos en g/kg de MS y la MNND y el NT en forma de PB.

Valores promedio de PDI de nuestros forrajes. Los valores promedios de la PB, PBD y las fracciones del PDI, obtenidos para los forrajes más importantes se muestran en la tabla 2.

Tabla 1. Cálculo de la dr de la proteína alimentaria en intestino de 103 muestras de forrajes tropicales por dos ecuaciones.

Ecuación	dr %	DS $\bar{x} \pm$
(6) francesa	102	22
(10) nuestra	67	17
\bar{x} para gramíneas de clima templado ¹	75	

¹ Demarquilly, Andrieu y Sauvant, 1978

Tabla 2. Valores promedios de PB, PBD y PDI de 103 muestras de forrajes tropicales (g/ka MS).

	PB	PBD	PDI				
			PDIA	PDIME	PDIMN	PDIE	PDIN
\bar{x}	80,7	46,7	20,6	41,8	24,6	66,5	49,7
DS $\bar{x} \pm$	24,6	21,9	9,9	3,6	7,5	12,1	16,3

Los valores de la PB y la PBD son medios, aunque el ES indica un desplazamiento considerable en nuestras condiciones de ambos parámetros. Los valores de PDI muestran que nuestros forrajes tienen como promedio más posibilidad de producir proteína microbiana a partir de la energía que del nitrógeno, con una magnitud diferencial entre el PDIE y el PDIN de 25%.

La diferencia entre los valores de PDIN y PDIE disminuye con el incremento del nivel de PB del forraje como se muestra en la figura 1 construida a partir de las ecuaciones siguientes:

$$(11) \text{ PDIE} = 0,335 \text{ PB} + 37,39 \text{ (g/kg MS)} \quad r^2 = 0,52^{***}$$

$$\text{ES } b \pm 0,01 \quad n = 103$$

$$(12) \text{ PDIE} = 1,718 \text{ DMO (\%)} - 39,6 \text{ (g/kg MS)} \quad r^2 = 0,53^{***}$$

$$\text{ES } b \pm 0,16 \quad n=102$$

$$(13) \text{ PDIN} = 0,590 \text{ PB} + 1,75 \text{ (g/kg MS)} \quad r^2 = 0,80$$

$$\text{ES } b \pm 0,028 \quad n = 103$$

Otras correlaciones encontradas fueron las siguientes:

$$(14) \text{ PDIA} = 0,408 \text{ PBD} + 5,68 \text{ (g/kg MS)} \quad r^2 = 0,81^{***}$$

$$\text{ES } b \pm 0,01.9 \quad n = 101$$

$$(15) \text{ PBD} = 0,853 \text{ PB} - 22,35 \text{ (g/kg MS)} \quad r^2 = 0,92^{***}$$

$$\text{ES } b \pm 0,025 \quad n = 102$$

DISCUSION

Para la adopción del sistema PDI a nuestras condiciones en la actualidad ha sido necesario asumir, provisionalmente, una solubilidad fija de los forrajes de 30%, que es la media reportada por Demarquilly y col. (1978) para forrajes y son valores similares a los encontrados por All y Stobbs (1980) y Coto (comunicación personal) cuando han usado soluciones tampones. Asumir esta solubilidad significa que la degradación en rumen de la proteína es de 54%, valor muy cerca al encontrado al analizar los experimentos de la literatura, agrupados por Jarrige y col. (1978) sobre pasaje de N a intestino y el cual arrojó una media de degradación de $58,5\% \pm 11,8$. No obstante, debemos trabajar para establecer una técnica adecuada para estimar la solubilidad de nuestros pastos ajustada al sistema PDI.

Por otro lado, ha sido necesario desarrollar una nueva ecuación para calcular el PANDI y a éste la dr de la proteína en intestino, debido a la sobreestimación de la ecuación (6) y la cual fue posible obtener solamente analizando un grupo reducido de forrajes que tenían un buen equilibrio entre el nitrógeno y la DMO y por tanto permitía explotar por los microorganismos del rumen, el potencial energético de nuestros pastos.

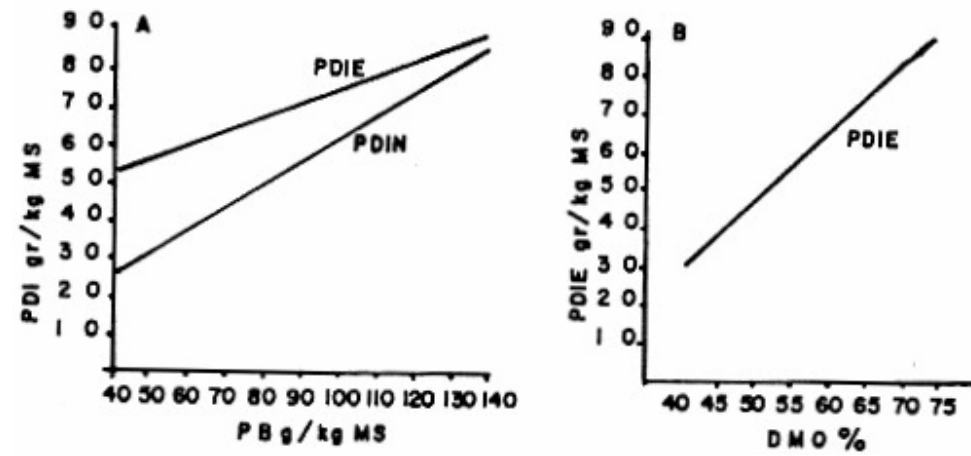


Fig. 1. Relaciones entre la PB y la DMO con el PDIE y el PDIN.

Los valores que encontramos de la *dr* usando nuestra fórmula (10) son más variables que los reportados por Demarquilly y col. (1978, 70-85%); sin embargo, es lógico que esto ocurra si tenemos en cuenta el mayor grado de lignificación de nuestros pastos y que parte del N de la planta está asociado a esta fracción. La gran variación de la *dr* de la proteína alimentaria en intestino ha sido reportada también por Hogan (1975), Smith, Salter, Mac Allan y Williams (1976) y Armstrong, Savage y Harrison (1977).

Los valores promedios de PDIE y PDIN muestran claramente un déficit de nitrógeno para la síntesis de proteína microbiana. Satter y Roffler (1975) han señalado que para un contenido de nutrientes digerible similar al obtenido por nosotros como promedio (60%) es necesario un 11% de PB, para lograr el máximo de síntesis de proteína microbiana, lo cual es muy similar a los resultados encontrados por nosotros si se comparan los gráficos A y B de la figura 1.

Los forrajes templados presentan un mayor contenido de PDIN y de PDIE que los nuestros como es de esperarse. Un análisis de 41 resultados de forraje verde presentados por Demarquilly y col. (1978) arrojan valores de PDIN de $94,3 \pm 26,6$ y de PDIE de $98,3 \pm 16,6$, lo que muestra que como media el nitrógeno está en déficit con relación a la energía; esta diferencia no es tan amplia como en nuestros forrajes y por otro lado, el error estandar mayor del PDIN señala que en muchas ocasiones estará en exceso.

Las correlaciones para predecir la PBD, el PDIN partir de la PB y el PDIA a partir de la PBD muestran altos coeficientes de determinación, lo que nos permite estimar estos valores con un alto grado de predicción, mientras que las ecuaciones para

estimar el PDIE tuvieron coeficientes de determinación medios, por lo que el cálculo del PDIE se pudiera efectuar a través de la suma de las ecuaciones 7 y 14.

La validación del sistema en la producción animal se realizará en el siguiente trabajo; no obstante, el sistema PDI nos permitirá formular raciones más eficientes y económicas. En el anexo 1 se presenta el método de trabajo del sistema.

ANEXO 1

Método de cálculo de balance con el sistema PDI. Para balancear una ración por el sistema PDI deben seguirse los pasos siguientes:

1. Hacer el balance de energía y consumo de las raciones.
2. Cubrir el déficit entre PDIE de los alimentos suministrados y los requerimientos de PDI con una fuente de proteína verdadera.
3. Calcular el aporte de PDIN que hace la fuente de proteína verdadera y sumarla al aporte de los alimentos balanceados.
4. El déficit de PDIN entre los alimentos suministrados y el requerimiento de PDI se cubre con NNP.

Ejemplo: Se desea conocer la necesidad de suplementos proteicos para llenar los requerimientos de PDI de un animal que se le han balanceado previamente los requerimientos de energía en pastos y concentrado, si se dispone de soya y urea. El consumo de PDIE y PDIN es de 325 y 230 g respectivamente, mientras que el requerimiento es urea.

	PDIE	PDIN
Consumo (g)	325	230
Requerimientos (g)	400	400
Déficit	75	170

1. Cálculo de la necesidad de aporte de PDIE con soya.

1 kg MS de soya contiene 261 g de PDIE y 347 de PDIN

$$\begin{array}{rcl} 261 & & 1 \\ 75 & & x \end{array}$$

$$x = 0,287 \text{ kg de soya}$$

2. Aporte de PDIN por los 0,287 kg de soya

$$\begin{array}{rcl} 1 & & 347 \\ 0,287 & & x \end{array}$$

$$x = 99,5 \text{ g de PDIN}$$

3. Cálculo del déficit de PDIN

$$170 - 99,5 = 70,5 \text{ g}$$

4. Cálculo del suministro de urea

1 kg de urea contiene 1 610 g de PDIN

$$\begin{array}{rcl} 1 & & 1\ 610 \\ x & & 70,5 \end{array}$$

$$x = 0,043 \text{ kg de urea}$$

Finalmente se concluye que la ración base debe ser 287 g de soya en base seca y 43 g de 230 g de urea.

SUMMARY

The adaptation of the DIP (digestible intestine protein) system to express the protein value of forage was studied. A new formula was developed to be able to calculate the real digestibility of the feeding protein, in rumen because the initial formula overestimate this fraction in our forage. The analysis of the DIPE (digestible intestine

protein to permit the energy's synthesis) and DIPN (digestive intestine protein permitted by the nitrogen fermented in rumen) values, in the forage showed that the microbial protein synthesis was limited by the fermentable nitrogen in rumen. The equilibrium between energy and protein necessary for the microbial synthesis in a forage with 60% ODM (organic dry matter) was approximately achieved with 11% of CP (crude protein). It was obtained a group of equations to predict the different fractions of the DIP system and the DCP (digestible crude protein) and examples are offered to develop this system.

REFERENCIAS

- ALL, T. & STOBBS, T.H. 1980. **Animal feed and technology**. 5:183
- ARC. 1965. The nutrient requirement of farm livestock. N-2. Ruminants. London
- ARMSTRONG, D.G.; SAVAGE, E.P. & HARRISON, D.G. 1977. In: Protein metabolism and nutrition
- BURROUGHS, W.; TRENKLE, A.H. & VETTER, R.L. 1974. **Vet. Med. Small Anim. Clin.** 69:713
- DEMARQUILLY, C.; ANDRIEV, J. & SAUVANT, D. 1978. Alimentation des ruminants. Chap 16. Ed. INRA. Pub. Versailles
- GARCIA-TRUJILLO, R. & CACERES, O. 1982. **Pastos y Forrajes**. Revista de la EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. 5:343
- HOGAN, J.P. 1975. **J. Dairy Sci.** 58:1164
- JARRIGE, R.; JOURNET, M. & VERITE, R. 1978. Alimentation des ruminants. Ed. INRA. Pub. Versailles
- NEHRING, K. & HAENLEIN, G.F.W. 1973. **J. Anim. Sci.** 36:949

- NRC. 1978. Nutrient requirements of domestic animals. No. 3. Dairy cattle. Ed. Nat. Acad. Sci. Washington, D.C.
- ROY, J.H.B.; BALCH, C.C.; MILLER, E.L.; ORSKOV, E.R. & SMITH, R.H. 1977. Proc. 2nd Int. Symp. on protein metabolism and nutrition. pp. 126. Wageningen
- SATTER, L.D. & ROFFLER, R.E. 1975. **J. Dairy Sci.** 58:1219
- SMITH, R.H.; SALTER, D.N.; Mc ALLAN, A.B. & WILLIAMS, A.P. 1976. Tracer studies on non protein nitrogen for ruminants III 139. Int. Atomic Energy Agency Vienne