

Energía digestible (ED) derivada de dos opciones basadas en su composición química¹

Digestible Energy Derived from Two Sources of Chemical Composition

Cecilia Jiménez Plasencia <https://orcid.org/0000-0003-1705-792X>

Carlos A. Pérez Córdoba <https://orcid.org/0009-0007-3105-9450>

Fernanda Ojeda Martínez <https://orcid.org/0009-0002-1903-0587>

José Zorrilla Ríos* <https://orcid.org/0000-0003-0323-3320>

Departamento de Producción Animal. División de Veterinaria. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco, México.

*Autor de correspondencia: jose.zorrilla@academicos.udg.mx

¹Nota de investigación

Resumen

Objetivo. Comparar la predicción en el contenido de energía digestible (ED) de ingredientes empleados en la alimentación de rumiantes.

Materiales y métodos. A partir de la composición nutricional obtenida por química húmeda bajo dos modelos matemáticos que difieren en su vía de estimación del contenido del total de nutrientes digestibles (TND) se obtiene la ED. Una vez que se tiene el valor de TND por cualquiera de ambos métodos, la derivación de ED sigue un procedimiento similar. En la comparación de la diferencia en ED de cada una de los 46 pares de medias analizadas se adoptó la prueba de Pares T-Test para mediciones repetidas (datos apareados o relacionados). **Resultados.** Se obtuvo un valor inferior promedio de 0.664 Mcal/kg de MS ($P < 0.001$) de ED para el método basado en el contenido de la FDA. La simpleza en la estimación directa de FDA en comparación con la sumatoria de los valores parciales teóricos en la digestibilidad de proteína cruda, grasa cruda x 2.25, fibra cruda

Abstract

Objective. To compare of two mathematical models for the prediction of the concentration of digestible energy (DE) in ingredients used in the feeding of ruminants is presented. **Materials and Methods.** Both approaches differ on the data used for the estimation via wet chemistry for the content of the Total Digestible Nutrients (TDN). Once this value is generated by either method, both approaches followed a similar step to arrive at a DE estimate. The used of a Paires T-Test was used to compare the difference for each pair of values. **Results.** A difference of 0.664 Mcal/kg of DM ($P < 0.001$) of DE was detected for the FDA approach. Simplicity in generating a value for FDA in comparison to the summatory of the TDN components such as the relative theoretical values of nutrient digestibility's for crude protein, crude lipids x 2.25, crude fiber and free nitrogen extract by difference, is an approach bound to a greater source of human errors in its determination due to a direct relationship of

y por diferencia, el extracto libre de nitrógeno, que por su naturaleza constitutiva involucra en mayor número de determinaciones, predispone a la acumulación de posibles errores humanos en su obtención. **Conclusión.** El modelo a partir de FDA tiene menor variabilidad detectada en los valores generados de ED.

Palabras clave:

Predicción nutricional, química húmeda, ingredientes, rumiantes.

the greater the number of elements the greater the opportunity for errors. **Conclusion.** The FDA-based model has less variability detected in the ED values generated.

Keywords

Prediction, nutritional value, wet chemistry, feedstuffs, ruminants.

En la literatura especializada en nutrición de rumiantes se citan valores para la energía digestible (ED, Mcal/kg de MS) de ingredientes y dietas utilizadas en su alimentación, valores que en su mayoría son derivaciones matemáticas de diversos compuestos nutricionales, en virtud de que su determinación directa es difícil de llevar a cabo por el equipo y la experiencia *ad hoc* requeridos para ello.

Consecuentemente, para la estimación indirecta del contenido de ED es necesario adoptar alguna derivación matemática disponible para ello, la elección ésta basada en la preferencia empírica exclusiva del usuario.

El propósito de la presente nota es comparar el grado de concordancia y discrepancia apreciable entre dos derivaciones matemáticas diseñadas a estimar el contenido de ED, cuando éstas dos opciones son implementadas en forma simultánea en un mismo conjunto de ingredientes. Ambas alternativas de modelos matemáticos contemplan la estimación del contenido de ED a partir del cálculo de su concentración del TND como un paso intermedio, pero una lo hace a partir de su contenido de FDA (Undersander *et al.*, 1993) y, la otra, partiendo de la sumatoria de las digestibilidades teóricas parciales de sus nutrientes en la forma de proteína cruda, grasa cruda, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno (Polo, 2010).

Para el caso de la estimación de la ED, partiendo de su contenido del porcentaje de la FDA, el total de nutrientes digestibles (TND) se deriva de la siguiente secuencia matemática:

$$\text{TND \%} = 96.35 - (\% \text{ FDA} \times 1.15) \quad \text{ecuación (1)}$$

Una vez estimado el nivel de TND, la ED se calcula con la siguiente expresión matemática:

$$\text{ED, Mcal/kg MS} = 0.04409 \times \% \text{ TND} \quad \text{ecuación (2)}$$

En el caso de la valoración de la ED a partir de la estimación del contenido del TND (Polo, 2010), como resultado de la sumatoria de las digestibilidades teóricas parciales de la proteína cruda (PC), la grasa cruda (GC) x 2.25, la fibra cruda (FC) y el extracto libre de nitrógeno (ELN), esta se obtiene aplicando el siguiente proceso matemático:

$$\text{TND, \%} = [(\% \text{ PC} * 80) + (\% \text{ Grasa} * 90 * 2.25) + (\% \text{ FC} * 50) + (\% \text{ ELN} * 90)] / 100 \quad \text{ecuación (3)}$$

A partir del estimado de % de TND, se deriva el contenido de energía digestible (ED) con la siguiente ecuación:

$$\text{ED, Mcal/kg MS} = \text{TND} * 4.4 * 10 \quad \text{ecuación (4)}$$

La diferencia entre ambos métodos radica básicamente con el que se estima el valor del TND, o sea en un caso a partir del contenido de la FDA (ecuación 1) y en el otro a partir de la sumatoria de las digestibilidades parciales de los nutrientes constitutivos PC, GC, FC y ELN (ecuación 3). Una vez obtenido su estimado de TND, ambos métodos derivan el contenido de ED a partir de una misma ecuación (2 y 4), respetando la expresión matemática tal y como la reporta cada autor en su trabajo original.

Los datos empleados de la composición bromatológica de cada ingrediente considerado en el estudio, siguieron las recomendaciones analíticas de química húmeda señaladas por los métodos oficiales de análisis del Colegio Oficial de Químicos Analíticos (AOAC Internacional, 2019) y los adoptados en el *Manual de análisis instrumental* del Laboratorio de Nutrición Animal del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara (Jiménez *et al.*, 2021). Para el caso de la determinación de la FDA equivalente al residuo remanente después de la digestión con H_2SO_4 y CTAB, ésta se llevó a cabo bajo la metodología número 14 de ANCOM (Acid Detergent Fiber in Feeds - Filter Bag Technique for DELTA. pp 2. 6/10/20).

El origen del banco de datos de las muestras de alimento incluidas fue variable, desde análisis solicitados en forma particular, como de ingredientes empleados en alguna prueba de alimentación, correspondiente al período comprendido entre los años 2008 y 2021.

El total de los 46 casos analizados para FDA cubrieron un rango de entre 10.38 y 56.44%, con un promedio de 39.0% y una desviación estándar de 14.59%. El valor promedio, la desviación estándar y el rango de máximo y mínimo para el porcentaje de TND generados a partir de estos niveles de FDA fueron de 65.48, 15.18, 84.22 y 13.31%, respectivamente.

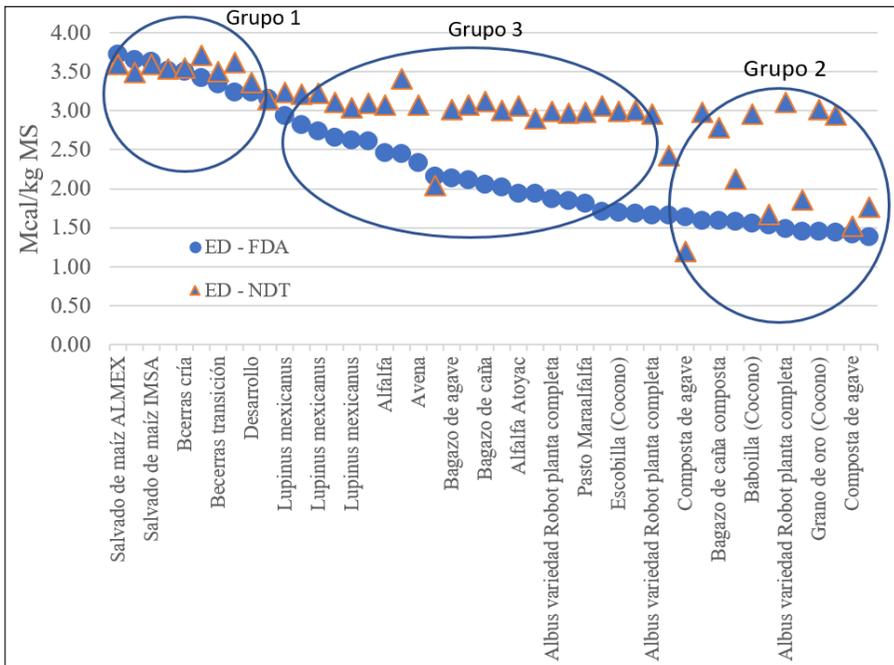
La ED estimada resultó en promedio de 2.27 Mcal/kg de MS, con una desviación estándar de 0.74 y un máximo y un mínimo de 3.72 y 1.39 Mcal/kg de MS, respectivamente.

En comparación, el valor promedio estimado de ED a partir del porcentaje de TND generados como la sumatoria de la digestibilidad aparente de cuatro nutrientes mostró un promedio de 65.58%, con una desviación estándar de 15.18 y valores máximo y mínimo de 84.22 y 13.31, respectivamente; los cuales, traducidos a la ED estimada, generaron un valor promedio de ED de 2.89 Mcal/kg de MS con una desviación estándar de 0.67 y valores máximo y mínimo de 3.71 y 0.59 Mcal/kg de MS, respectivamente. Dado que las estimaciones de ED bajo cada uno de los dos métodos considerados fueron obtenidas de la misma muestra, en la comparación de la diferencia de cada una de los 46 pares de medias analizadas (cuadro 1) se adoptó la prueba de Pares T-Test aplicado con la

plataforma de Statistix 10.0 para mediciones repetidas (datos apareados o relacionados). El resultado de este proceso arrojó un valor de menos 0.664 Mcal/kg de MS con un error estándar de 0.0814 ($P < 0.001$), para la diferencia del valor de la ED estimada a partir de la FDA en comparación con el TND, cuando esta diferencia se determina para cada par en la misma muestra.

Subsecuentemente y con el propósito de identificar objetivamente la presencia de discrepancias o concordancias en las diferencias de ED, se implementó un ejercicio de estratificación de los datos de ED estimados a partir de FDA del mayor al menor valor y contrastándolos con los correspondientes valores de ED generados a partir de la sumatoria de TND, calculados ambos para el mismo ingrediente. Este ejercicio dio lugar a la identificación gráfica de las relaciones grupales mostradas en el gráfico 1, en donde se observan tres posibles.

Gráfico 1
Posibles agrupaciones de resultados



Grupo 1. Donde los valores de ED bajo ambas alternativas coinciden, correspondiendo a valores que fluctúan > 3.2 Mcal de energía digestible.

Grupo 2. En el otro extremo de la escala, cuando se tiene un rango de ED estimada a partir del contenido de FDA de entre 1.4 y 1.7 Mcal/kg de MS, el comportamiento de los valores de ED estimada por el método de NDT no guarda patrón alguno, estando sus valores esparcidos entre un rango de 1.5 a 3.0 Mcal/kg de MS.

Grupo 3. Un rango de valores en constante decremento de ED estimada a partir de FDA de entre 2.9 y 1.7 Mcal/kg MS, mientras que al ejercerse su estimación de ED a partir de TND, mostraron una sostenida concentración de ED que fluctuó entre 3 y 3.2 Mcal/kg MS.

Si bien es cierto que ambos procesos son extrapolaciones de otras determinaciones y que al no disponerse de valores de ED medidos directamente, las dos estimaciones adolecen del mismo grado de incertidumbre. Se argumenta que la estimación de ED con base a su contenido de la FDA podría especularse por ser generada a partir de un proceso de medición directa (Jiménez *et al.*, 2021), en comparación con la de TND que incluye tres mediciones directas (PC, GC, FC) y una derivada (ELN). Tendría menor posibilidad de acumular errores de medición parciales de la ED, como podría suceder que entre más estimaciones de componentes intervengan en su derivación.

Una ventaja adicional en la elección de la alternativa de estimación de ED a partir de su contenido de FDA es su menor costo de determinación de un solo componente, en comparación con tres (PC, GC y FC) en la opción alterna.

Se concluye que los resultados presentados sugieren la posibilidad de adoptar preferentemente la estimación de ED en ingredientes empleados en la alimentación de rumiantes, a partir de los valores generados con datos de la FDA y en virtud de la estimación directa de FDA, en comparación con la sumatoria de los valores parciales teóricos en la digestibilidad de proteína cruda, grasa cruda x 2.25, fibra cruda y por diferencia, el extracto libre de nitrógeno, que por su naturaleza de estar constituida con mayor número de determinaciones la predispone a la acumulación de posibles errores humanos en su obtención. La menor variabilidad detectada en los valores generados de ED, a partir de la FDA, abonan en este sentido. Un elemento adicional a considerarse en favor de la adopción de FDA, podría ser su menor costo de operación con el ahorro de horas-laboratorio en su ejecución.

Literatura citada

- ANCOM. (2020). *Acid Detergent Fiber in Feeds - Filter Bag Technique for DELTA*. Pp. 2. 6/10/20).
- AOAC. (2019). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis of AOAC International*. 21st Edition, AOAC, Washington DC. Pp. 1-72.
- Jiménez, P.C.; Ramírez, N.L. y Mancilla, M.B.L. (2021). *Análisis Instrumental en Dietas para la Producción Animal, Manual de Prácticas*. Jalisco, México: Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, División de Ciencias Veterinarias, Departamento de Producción Animal, Academia de Nutrición Animal, Universidad de Guadalajara. 39 p.
- Polo, N. (2010). http://tirsomestre.blogspot.com/2010/05/nutrientes-digestibles-totales-tdn_17.html. (Consultado 12 de enero 2023).
- Undersander, D.J.; Howard, W.T. y Shaver, R.D. (1993). Milk *per acre* Spreadsheet for Combining Yield and Quality into a Single Term. *J. Prod. Ag.* 6(2): 231-235. <https://doi.org/10.2134/jpa1993.0231>

Recepción: 27 de febrero de 2023

Aceptado: 5 de mayo de 2023

Cuadro I
 Datos originales empleados en el estudio

	FDA %	DIG %	ED a partir de FDA		ED a partir de NDT		Diferencia en ED FDA - NDT
			NDT %	ED, Mcal/ kg MS MS	NDT %	ED, Mcal/ kg MS MS	
Salvado de maíz ALMEX	10.38	80.81	84.41	3.72	81.66	3.59	0.13
Salvado de maíz CPI	11.77	79.73	82.81	3.65	79.27	3.49	0.16
Salvado de maíz IMSA	12.25	79.36	82.26	3.63	81.59	3.59	0.04
Lechero	14.44	77.65	79.74	3.52	80.27	3.53	-0.02
Bcerras cría	14.76	77.40	79.38	3.50	80.74	3.55	-0.05
Vaquillas desarrollo	16.28	76.22	77.63	3.42	84.22	3.71	-0.28
Becerras transición	17.86	74.99	75.81	3.34	79.63	3.50	-0.16
Lupinus mexicanus	19.94	73.37	73.42	3.24	82.32	3.62	-0.38
Desarrollo	19.96	73.35	73.40	3.24	76.43	3.36	-0.13
Lupinus mexicanus	21.69	72.00	71.41	3.15	71.44	3.14	0.01
Lupinus mexicanus	25.96	68.68	66.50	2.93	73.47	3.23	-0.30
Pelillo (Cocono)	28.22	66.92	63.90	2.82	72.88	3.21	-0.39
Lupinus mexicanus	29.76	65.72	62.13	2.74	73.17	3.22	-0.48
Lupinus mexicanus	31.36	64.47	60.29	2.66	70.50	3.10	-0.44
Lupinus mexicanus	32.17	63.84	59.35	2.62	69.10	3.04	-0.42
Malvaiscos	32.3	63.74	59.21	2.61	70.32	3.09	-0.48
Alfalfa	35.23	61.46	55.84	2.46	69.73	3.07	-0.61
Alfalfa	35.5	61.25	55.53	2.45	77.46	3.41	-0.96
Avena	37.82	59.44	52.86	2.33	69.84	3.07	-0.74
Tierno Los Altos	41.27	56.75	48.89	2.16	46.51	2.05	0.11
Bagazo de agave	41.75	56.38	48.34	2.13	68.47	3.01	-0.88
Carbanzo planta completa	42.23	56.00	47.79	2.11	69.95	3.08	-0.97
Bagazo de caña	43.34	55.14	46.51	2.05	70.92	3.12	-1.07
Albus variedad Robot planta completa	43.95	54.66	45.81	2.02	68.22	3.00	-0.98
Alfalfa Atoyac	45.5	53.46	44.03	1.94	69.53	3.06	-1.12
Cártamo	45.64	53.35	43.86	1.93	65.81	2.90	-0.96
Albus variedad Robot planta completa	46.93	52.34	42.38	1.87	67.98	2.99	-1.12
Albus variedad Robot planta completa	47.47	51.92	41.76	1.84	67.41	2.97	-1.12
Pasto Maraalfalfa	48.15	51.39	40.98	1.81	67.73	2.98	-1.17
Cocono	50.11	49.86	38.72	1.71	69.56	3.06	-1.35
Escobilla (Cocono)	50.32	49.70	38.48	1.70	68.08	3.00	-1.30
Alfalfa Mexicali	50.67	49.43	38.08	1.68	68.17	3.00	-1.32
Albus variedad Robot planta completa	51.02	49.16	37.68	1.66	67.09	2.95	-1.29
Composta de agave	51.09	49.10	37.60	1.66	54.96	2.42	-0.76
Composta de agave	51.63	48.68	36.98	1.63	27.11	1.19	0.44

Continúa en página siguiente

Viene de página anterior

			ED a partir de FDA		ED a partir de NDT		Diferencia en ED
	FDA %	DIG %	NDT %	ED, Mcal/ kg MS MS	NDT %	ED, Mcal/ kg MS MS	FDA - NDT
Albus variedad Robot planta completa	52.38	48.10	36.11	1.59	67.73	2.98	-1.39
Bagazo de caña composta	52.39	48.09	36.10	1.59	63.28	2.78	-1.19
Composta de agave	52.78	47.78	35.65	1.57	48.16	2.12	-0.55
Baboilla (Cocono)	53.06	47.57	35.33	1.56	67.13	2.95	-1.40
Composta de agave	53.56	47.18	34.76	1.53	38.09	1.68	-0.14
Albus variedad Robot planta completa	54.52	46.43	33.65	1.48	70.71	3.11	-1.63
Composta de agave	55.08	45.99	33.01	1.46	42.25	1.86	-0.40
Grano de oro (Cocono)	55.27	45.84	32.79	1.45	68.42	3.01	-1.56
Rye Grass (Cocono)	55.34	45.79	32.71	1.44	66.89	2.94	-1.50
Composta de agave	55.85	45.39	32.12	1.42	34.60	1.52	-0.11
Composta de agave	56.44	44.93	31.44	1.39	40.12	1.77	-0.38