

PREDICCIÓN DEL CONTENIDO EN ENERGÍA DIGESTIBLE DE ALIMENTOS PARA EQUINOS A PARTIR DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA PROXIMAL

Prediction of digestible energy content in equine feeds from the proximate chemical composition

N Nieves Núñez-Sánchez¹, Francisco Requena-Domenech², Marta García-Moya¹, Francisco Peña-Blanco¹, Estrella Agüera-Buendía² y Andrés Luis Martínez-Marín^{1}*

*¹Departamento de Producción Animal²Departamento de Biología Celular, Fisiología e Inmunología Universidad de Córdoba, Ctra. Madrid-Cádiz km 396, 14071 Córdoba, España*Autor para correspondencia: pa1martm@uco.es*

RESUMEN

Los estudios para predecir la energía digestible (ED) de alimentos (materias primas y piensos compuestos) para equinos a partir de los componentes químicos del esquema analítico de Weende (utilizado para el etiquetado de los piensos comerciales en numerosos países) son escasos. El objetivo del presente trabajo fue desarrollar una ecuación para la estimación del contenido de ED de alimentos para equinos, usando como predictores los valores de composición química de Weende. Se seleccionaron 116 materias primas (MP) vegetales (cereales, leguminosas, oleaginosas, numerosos subproductos y forrajes secos) con valores de composición química conocida. En dichas MP se estimó la fracción digestible de los componentes analíticos mediante ecuaciones de regresión desarrolladas a partir de la bibliografía. Se comprobó que la materia orgánica digestible (suma de los componentes digestibles calculados con las ecuaciones obtenidas) estuvo en consonancia con la calculada por otros autores. A partir de las ecuaciones de predicción de cada uno de los componentes digestibles y los respectivos calores de combustión, se obtuvo la ecuación general: $ED \text{ (kcal/kg de MS)} = -236 + 48,5 \times PB + 90,1 \times EE - 6,7 \times FB + 37,3 \times ELN$, donde PB es proteína bruta, EE es extracto etéreo, FB es fibra bruta, ELN son extractivos libres de nitrógeno y MS es materia seca. Los valores obtenidos con la aplicación de esta ecuación a las 116 MP utilizadas en el estudio no fueron diferentes ($P > 0,05$) de la predicción obtenida con ecuaciones de otros autores. En conclusión, la nueva ecuación podría utilizarse en la publicación de tablas de valor nutritivo de MP para equinos. También sería útil para calcular de forma rápida y precisa el contenido de ED de piensos comerciales.

Palabras clave: Caballos; alimentación; valor energético; digestibilidad; Weende

ABSTRACT

The prediction of the digestible energy (DE) content of feeds (either single feedingstuffs or compound feeds) for horses from the chemical components of Weende analytical scheme (used for the labelling of compound feeds in several countries) has not been much studied. The objective of the present work was to develop an equation for the estimation of DE content of commercial compound feeds, using the values of the analytical components declared on the label as predictors. A total of 116 feedingstuffs of plant origin (cereal and legume grains, several by-products and dry forages) with known chemical composition were selected, and the digestible fractions were calculated from regression equations developed from several papers. The digestible organic matter obtained from the sum of the digestible components was in agreement with that calculated according to other authors. A general equation derived from the prediction equations of each of the digestible components and their respective heats of combustion was obtained to predict the DE content: $DE \text{ (kcal/kg DM)} = -236 + 48.5 \times CP + 90.1 \times EE - 6.7 \times CF + 37.3 \times NFE$, where PB is crude protein, EE is ether extract, FB is crude fiber, ELN are nitrogen-free extractives and DM is dry matter. The DE values calculated after the application of this equation to the 116 feedingstuffs used in this study were not different ($P > 0.05$) to those obtained with the equations of other authors. In conclusion, the new equation could be used for the publication of tables of nutritional value of feeds for horses. It could also be useful for the fast and reliable calculation of the DE content of commercial compound feeds for horses.

Key words: Horses; feeding; energy content; digestibility; Weende

INTRODUCCIÓN

El conocimiento del valor de energía digestible (ED) de los alimentos para equinos (*Equus caballus*), ya sean materias primas (MP) o piensos compuestos (PC), es fundamental para la elaboración de raciones o para la predicción del contenido en energía metabolizable y neta de las mismas [26, 29, 33, 35]. La determinación directa o indirecta de la ED requiere de pruebas de digestibilidad, que son costosas y requieren mucho tiempo, trabajo y esfuerzo; por ello, desde hace décadas, se busca predecir la ED a partir de la composición química de los alimentos [33].

En numerosos países, la normativa exige a los fabricantes la declaración de los componentes analíticos del método de Weende [17] en la etiqueta de los PC comerciales (elaborados a partir de una variedad de MP), pero no se exige la declaración del contenido energético [36]. Sin embargo, conocer la ED de un PC comercial a partir de la composición química declarada en la etiqueta permitiría a los asesores nutricionales recomendar de forma más precisa la ración apropiada para un caballo o grupo de equinos en función de su estado nutricional [2].

Para el conocimiento de los autores, la única ecuación publicada para el cálculo de la ED en PC para equinos a partir de los componentes analíticos del método de Weende es la de Kienzle y Zeyner [26]. Sin embargo, los contenidos de extracto etéreo (EE) y fibra bruta FB de las raciones utilizadas por dichos autores para la obtención de la ecuación fueron inferiores a 8 y 35%, respectivamente, lo que podría hacerla inadecuada para la predicción de la ED de materias primas con una composición

química muy diferente. Así, por ejemplo, las (MP) para equinos recogidas en Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA) [9] tienen contenidos de EE y FB, sobre materia seca (MS), comprendidos entre 0,14 y 44,74%, y 0 y 53,28%, respectivamente (TABLA I).

El objetivo del presente trabajo fue doble. Primero, elaborar ecuaciones para la predicción de las fracciones digestibles de los componentes analíticos del método de Weende en equinos, a partir de investigaciones publicadas. En segundo lugar, con la información anterior, desarrollar una ecuación para la predicción del contenido de ED en alimentos simples y compuestos para equinos.

¹Valores expresados sobre materia seca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipos de alimentos y composición química

Para la estimación de los componentes digestibles, se seleccionaron un total de 116 MP de origen vegetal recogidas en las tablas de FEDNA [9], pertenecientes a los grupos granos de cereales y cereales procesados por calor (21) subproductos de cereales (29), frutos, tubérculos, melazas y vinazas (7), concentrados de proteína vegetal (37) y productos fibrosos (22). Los estadísticos descriptivos de los valores de composición química de los alimentos se muestran en la TABLA I.

Cálculo de la fracción digestible de los componentes analíticos

TABLA I
ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y LA ENERGÍA BRUTA
DE LAS MATERIAS PRIMAS PARA EQUINOS UTILIZADAS EN EL PRESENTE ESTUDIO (N = 116)

Componente ¹	Mínimo	Máximo	Mediana	Media
Materia seca, %	53,00	95,20	89,70	88,99
Materia orgánica, %	66,79	98,85	94,66	94,40
Cenizas brutas, %	1,15	33,21	5,34	5,61
Proteína bruta, %	2,71	70,27	16,12	21,61
Extracto etéreo, %	0,14	44,74	2,82	6,03
Fibra bruta, %	0,00	53,28	8,55	12,40
Extractivos libres de nitrógeno, %	14,24	89,09	52,03	54,35
Fibra neutro detergente (FND), %	0,00	78,99	25,37	28,92
Fibra ácido detergente (FAD), %	0,00	69,19	11,18	17,08
Lignina ácido detergente (LAD), %	0,00	52,41	2,42	5,75
Hemicelulosa (FND-FAD), %	0,00	35,31	9,49	11,83
Celulosa (LAD-FAD), %	0,00	46,63	8,13	11,33
Carbohidratos no fibrosos, %	0,00	86,24	27,17	37,86
Almidón y azúcares, %	0,89	84,40	18,86	30,44
Energía bruta, kcal/kg	3339	6816	4580	4674

¹Valores expresados sobre materia seca.

TABLA II
ECUACIONES DE REGRESIÓN, EN LA FORMA $Y = A + BX$, OBTENIDAS EN EL PRESENTE ESTUDIO
(N = 116) PARA EL CÁLCULO DE LOS COMPONENTES DIGESTIBLES EN MATERIAS PRIMAS PARA EQUINOS
(VALORES EXPRESADOS SOBRE MATERIA SECA)

Componente	Constante (±EEM)	Coefficiente (±EEM)	Predictor	R ²	RECM
Proteína bruta digestible, %	-3,10 (0,064)	0,85 (0,002)	Proteína bruta, %	0,99	0,4
Extracto etéreo digestible, %	-0,94 (0,031)	0,95 (0,003)	Extracto etéreo, %	0,99	0,3
Fibra bruta digestible, %	0,65 (0,214)	0,30 (0,013)	Fibra bruta, %	0,84	1,6
Extractivos libres de nitrógeno digestibles, %		0,89 (0,009)	Extractivos libres de nitrógeno, %	0,96	4,9
		-0,51 (0,032)	Fibra bruta, %		

Todas las constantes y coeficientes son significativos a $P < 0,05$.

EEM: error estándar de la media. RECM: raíz cuadrada del error cuadrático medio.

La fracción digestible de cada uno de los componentes analíticos de la materia orgánica (MO) de los alimentos se estimó a partir de trabajos previamente publicados. Se tuvo presente la significación biológica de los valores o las ecuaciones obtenidas por los autores consultados. Los valores de los componentes digestibles se expresaron en términos de digestibilidad aparente, salvo indicación expresa de lo contrario.

Proteína bruta digestible

La proteína bruta digestible (PBD) se calculó por regresión a partir de la proteína bruta (PB), tomando en consideración los trabajos de Cymbaluk [7], Fannesbeck [11], Glover y Duthie [14] y Pagan [35], que incluyeron los resultados obtenidos en 48; 72; 70 y 120 pruebas de digestibilidad, respectivamente.

Extracto etéreo digestible

Para la predicción del extracto etéreo digestible (EED), se tomó como referencia el trabajo de Kronfeld *et al.* [27], que incluyó 188 observaciones obtenidas con 23 alimentos y fue diseñada específicamente para estudiar la digestibilidad del EE en equinos. La ecuación asintótica de dichos autores sirvió para la obtención de los coeficientes de digestibilidad del EE de los alimentos del presente trabajo. Con dichos coeficientes, se calcularon los contenidos de EED. Finalmente, se elaboró una ecuación de regresión para predecir el EED a partir del EE.

Fibra bruta digestible y extractivos libres de nitrógeno digestibles

Debido a la conocida falta de homogeneidad química y digestiva de la FB y los extractivos libres de nitrógeno (ELN) [32, 37], fue necesario calcular la proporción de hemicelulosa (HEM), celulosa (CEL), lignina (LIG) y carbohidratos no fibrosos (CNF) en ambos componentes. Para ello, primero se estableció la relación de los contenidos de HEM, CEL y LIG con los valores de FB en las 116 MP utilizados en el presente estudio. A continuación, se consideró que los ELN estuvieron compuestos por la totalidad de los CNF, así como la HEM, CEL y LIG que no entraron a formar parte de la FB. Por último, se calcularon los valores de fibra bruta digestible (FBD) y extractivos libres de nitrógeno digestibles (ELND) según los modelos:

$$FBD (\% MS) = a \times HEM_{FB} + b \times CEL_{FB} + c \times LIG_{FB}$$

$$ELND (\% MS) = a \times HEM_{ELN} + b \times CEL_{ELN} + c \times LIG_{ELN} + d \times CNF_{ELN}$$

Donde: a, b, c y d son los coeficientes de digestibilidad de cada una de las fracciones y HEM, CEL, LIG Y CNF son los porcentajes sobre MS de cada una de las fracciones, en la FB (subíndice FB) o los ELN (subíndice ELN). Los coeficientes de digestibilidad de la HEM y CEL se consideraron constantes entre alimentos (0,53 y 0,48, respectivamente) y fueron la media de los valores reportados en los trabajos de Fannesbeck [10], Harbers *et al.* [16], Glade [13], Coverdale *et al.* [5], Hussein *et al.* [18], Miraglia *et al.* [30], Brandi *et al.* [3], Jensen *et al.* [22], Moreira *et al.* [31], Giunco *et al.* [12] y Kabe *et al.* [25]. La digestibilidad de la lignina se consideró nula [10]. El coeficiente de digestibilidad de los CNF se calculó para cada alimento como el resultado de dividir su

TABLA III
COMPARACIÓN DEL CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA DIGESTIBLE Y ENERGÍA DIGESTIBLE EN
MATERIAS PRIMAS PARA EQUINOS, CALCULADOS SEGÚN DIFERENTES SISTEMAS DE VALORACIÓN
(VALORES EXPRESADOS SOBRE MATERIA SECA)

	n	Presente trabajo	[6]	[26]	[33]	EEM	P
Materia orgánica digestible, %	110	66,1	70,3	-	-	0,87	<0,001
Energía digestible, kcal/kg	116	3305	-	3271	3213	39,0	0,10

EEM: error estándar de la media.

contenido en carbohidratos no fibrosos digestibles (CNFD) entre el de CNF totales. Los CNFD se calcularon a partir de trabajos de Fannesbeck [11] y Pagan [35]. Con los valores de FBD y ELND obtenidos según los procedimientos descritos anteriormente, se elaboraron sendas ecuaciones de regresión para la predicción directa de los mismos a partir de los ELN y la FB.

Materia orgánica digestible

La materia orgánica digestible (MOD) de cada MP se calculó como la suma de sus contenidos en PBD, EED, FBD y ELND. Para comprobar la fiabilidad de la predicción de las ecuaciones obtenidas en el presente trabajo, se calculó con ellas la MOD de las MP para equinos recogidos en las tablas de CVB [6] y se comparó con los valores de MOD reportados en dichas tablas.

Predicción de la energía digestible de los alimentos

Para la predicción de la ED de las MP a partir de sus componentes analíticos se siguió el procedimiento descrito por Zeyner y Kienzle [39]. Las ecuaciones obtenidas para la predicción de cada uno de los componentes digestibles se multiplicaron por los respectivos calores de combustión (PB, 5,71 kcal/g; EE, 9,51 kcal/g; FB, 4,80 kcal/kg, ELN, 4,18 kcal/g; según Kienzle y Zeyner, [26]) y se sumaron los resultados para obtener una nueva ecuación.

Los valores de ED calculados con la nueva ecuación y según Kienzle y Zeyner [26] y NRC [33] se compararon entre sí, usando como referencia la composición química de las tablas de FEDNA [9]. Es importante señalar que FEDNA [9] proporciona datos sobre el contenido de ED para equinos, pero no indica cual es el procedimiento de cálculo de la misma.

Análisis estadístico

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS 3.5 University Edition (SAS Institute, Cary, NC, USA). Se utilizaron los procedimientos MEANS (descriptivos), REG

(regresión lineal) y MIXED (medidas repetidas). La significación estadística se declaró a $P < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSION

Composición química de las materias primas

El hecho de que en el presente trabajo se incluyeran una amplia variedad de MP hizo que el intervalo de valores de composición química (TABLA I) sea mayor que el de los trabajos de Pagan [35] y Zeyner y Kienzle [39], en los que se estudió la digestibilidad *in vivo* de raciones basadas solamente en forrajes o en forrajes combinados con concentrados. Los intervalos más amplios se encuentran en el trabajo de Zeyner y Kienzle [39]: PB, 5,7-28,7%; FB, 4,2-34,7%; EE, 1,6-7,9%; ELN, 33,8-69,8%.

Predicción de los componentes químicos digestibles

En conjunto, las ecuaciones obtenidas (TABLA II) tuvieron unos valores de R^2 superiores a los obtenidos por Wardeh [38], quien presentó ecuaciones separadas de forrajes y alimentos groseros ($n = 36$), concentrados energéticos ($n = 13$) y concentrados proteicos ($n = 5$) para la predicción de los componentes digestibles de los alimentos a partir de los datos de composición química y digestibilidad recopilados por el *International Databank System* (International Feedstuffs Institute, Utah State University).

Todas las constantes y coeficientes son significativos a $P < 0,05$.

EEM: error estándar de la media. RECM: raíz cuadrada del error cuadrático medio.

De acuerdo con Lucas [28], la regresión del componente digestible sobre el componente bruto (CB) permite la estimación de la digestibilidad verdadera del (CB) (equivalente al valor del coeficiente de regresión) y la pérdida endógena fecal del mismo componente (equivalente al valor de la intersección). Este método es aplicable a los componentes químicos cuya presencia en las

heces tiene un doble origen, dietético y endógeno, como son la PB y el EE. Las ecuaciones presentadas en la TABLA II indican que la digestibilidad verdadera de la PB alcanzaría un 85,0%, en comparación con un 91,7% hallado por Zeyner y Kienzle [39], y la digestibilidad verdadera del EE sería de un 94,7%, en contraste con un 87,4% que puede calcularse a partir del conjunto de resultados presentados por Bush *et al.* [4], Delobel *et al.* [8], Gobesso *et al.* [15] y Jansen *et al.* [19-21] ($n = 17$; $R^2 = 0,96$; $P < 0,05$). Las pérdidas endógenas fecales de PB y EE serían de 31,3 y 9,4 gramos(g)/kilogramos(kg) de MS del alimento. El valor de la pérdida fecal de proteína endógena fue ligeramente superior al encontrado por Zeyner y Kienzle [39] (27,2 g/kg de MS consumida), mientras que el de EE endógeno fue ligeramente inferior al reportado por Fannesbeck [11] y Pagan [35] (12,0 y 10,4 g/kg de MS consumida, respectivamente) y superior al valor medio calculado por los autores con los resultados de Bush *et al.* [4], Delobel *et al.* [8], Gobesso *et al.* [15] y Jansen *et al.* [19, 20, 21] (7,6 g/kg de MS consumida). Las ecuaciones obtenidas en el presente trabajo para la predicción de la FBD y los ELND no pueden interpretarse en la forma señalada para las ecuaciones de la PBD y el EED. Está establecido que no existen pérdidas endógenas fecales verdaderas de carbohidratos o lignina [34]. Por tanto, la digestibilidad medida o calculada de la FB y los ELN siempre es digestibilidad verdadera.

A diferencia del procedimiento relativamente simple utilizado para el cálculo de la PBD y el EED, el cálculo de la fracción digestible de la FB y los ELN entrañó una mayor complejidad, derivada de la falta de homogeneidad química y digestiva de ambas fracciones [37]. La ecuación de regresión obtenida en el presente trabajo para la predicción de los CNFD permitió calcular que la digestibilidad media de los CNF es un 82,9±19,0%. El procedimiento de cálculo favoreció a las MP con contenidos elevados de almidón, como los cereales, en los que la digestibilidad media de los CNF fue un 95,4±1,3%. Estos valores están en coincidencia con la bibliografía. La digestibilidad media de los CNF, aun siendo heterogéneos, es generalmente superior a un 80% en equinos [3], estando por encima de un 95% en el caso del almidón [1, 22, 23]. Por último, señalar que la ecuación de predicción de los ELND tuvo que incluir como predictor el contenido de FB para lograr una precisión aceptable. Ello estaría de acuerdo con el hecho aceptado de que, desde el punto de vista digestivo, la separación de los carbohidratos de las MP entre la FB y los ELN es artificial [37], y se justificaría porque la digestión de la hemicelulosa y la celulosa, con independencia de su ubicación en cualquiera de ambas fracciones, está fuertemente influenciada por la presencia de lignina [24].

La comparación de la MOD de las MP para equinos de las tablas de Centraal Veevoederbureau (CVB) [6] y la obtenida con las ecuaciones del presente trabajo se muestra en la TABLA III. Los valores de MOD fueron mayores ($P < 0,05$) en CVB [6] que los predichos en el presente trabajo. Cabe recordar que una parte importante de los valores de digestibilidad de la MO presentados en las tablas de CVB [6] proceden de resultados obtenidos en

cerdos (*Sus scrofa*) y ovinos (*Ovis aries*), o se han establecido por comparación con alimentos similares, mientras que las ecuaciones presentadas **Predicción de la energía digestible de las materias primas y piensos compuestos**

A partir de las ecuaciones de predicción de cada uno de los componentes digestibles y los respectivos calores de combustión de los componentes químicos se obtuvo la ecuación general:

$$ED \text{ (kcal/kg de MS)} = -236 + 48,5 \times PB + 90,1 \times EE - 6,7 \times FB + 37,3 \times ELN$$

Donde los contenidos de PB, EE, FB y ELN están expresados en porcentaje sobre la MS.

De acuerdo con Kienzle y Zeyner [26], las ecuaciones basadas en el conocimiento de la energía bruta y la digestibilidad de los nutrientes son preferibles a las obtenidas por regresión múltiple porque las segundas pueden incluir errores derivados de correlaciones estadísticas entre nutrientes que no tienen base fisiológica. Los coeficientes obtenidos en el presente trabajo para la PB, EE y ELN están en relativa concordancia con los de la ecuación de Kienzle y Zeyner [26] (4,99 kilocalorías (kcal)/g de PB, 10,03 kcal/g de EE, y 4,42 kcal/g de ELN), mientras que el término independiente obtenido por dichos autores fue muy superior (-846 kcal/kg de alimento). Cabe señalar que el valor del coeficiente de la FB (0,036 kcal/g de FB) observado en el trabajo de Kienzle y Zeyner [26] indicaría que dicha fracción no contribuye de forma relevante al aporte energético de los alimentos en equinos. En el presente trabajo, el coeficiente de la FB tuvo un valor bajo y negativo, lo que sugiere que la FB no solamente no contribuye al valor energético de las MP y PC en equinos, sino que interfiere ligeramente con la utilización digestiva de los restantes constituyentes de los mismos.

La predicción del valor de ED de las MP de las tablas de FEDNA [9] con la ecuación obtenida en el presente trabajo no fue diferente ($P > 0,05$) de la predicción obtenida de acuerdo con Kienzle y Zeyner [26] y NRC [33] (TABLA III). La diferencia numérica de los resultados obtenidos en el presente trabajo con los obtenidos de acuerdo con NRC [33] se justifica porque los cálculos de este último infravaloran el contenido energético de las MP ricas en EE, como las semillas oleaginosas y algunos subproductos, ya que el EE no es utilizado como predictor en la ecuación.

CONCLUSIONES

A partir de una variedad de MP y con una rigurosa metodología, contrastada con otros autores, se obtuvieron ecuaciones para la predicción de la fracción digestible de los componentes analíticos de Weende en MP para equinos. Con dichas ecuaciones y los calores de combustión de los componentes analíticos, se desarrolló una nueva ecuación para la predicción del contenido en ED de las MP. Esta ecuación podría utilizarse en la publicación de tablas de valor nutritivo de MP para equinos. También sería

útil para calcular el valor de ED de PC comerciales a partir de la información declarada en su etiqueta.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo se ha elaborado con los resultados del contrato *Diseño de Alimentos para Animales de Granja (OTRI UCO referencia 12013115)* otorgado por la empresa Iniciativas Alimentarias S.A. (Torralba de Calatrava, Ciudad Real, España)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AL JASSIM, R.A.M. Supplementary feeding of horses with processed sorghum grains and oats. **Anim. Feed Sci. Tech.** 125: 33-44. 2006.
- [2] BECVAROVA, I.; PLEASANT, R.S.; THATCHER, C.D. Clinical assessment of nutritional status and feeding program in horses. **Vet. Clin. N. Amer.** 25:1-21. 2009.
- [3] BRANDI, R.A.; TRIBUCCI, A.M.; BALIEIRO, J.C.; HOFFMAN, R.M.; BUENO, I.C. Citrus pulp in concentrates for horses. **Food Nutrit. Sci.** 5: 1272-1279. 2014.
- [4] BUSH, J.A.; FREEMAN, D.E.; KLINE, K.H.; MERCHEN, N.R.; FAHEY, G.C. Dietary fat supplementation effects on *in vitro* nutrient disappearance and *in vivo* nutrient intake and total tract digestibility by horses. **J. Anim. Sci.** 79: 232-239. 2001.
- [5] COVERDALE, J.A.; MOORE, J.A.; TYLER, H.D.; MILLER-AUWERDA, P.A. Soybean hulls as an alternative feed for horses. **J. Anim. Sci.** 82: 1663-1668. 2004.
- [6] CENTRAAL VEEVOEDERBUREAU (CVB). Centraal Veevoederbureau feed table: Chemical compositions and feed values of feed materials. Product Board Animal Feed, Lelystad, The Netherlands. 2016.
- [7] CYMBALUK, N.F. Comparison of forage digestion by cattle and horses. **Can. J. Anim. Sci.** 70: 601-610. 1990
- [8] DELOBEL, A.; FABRY, C.; SCHOONHEERE, N.; ISTASSE, L.; HORNICK, J.L. Linseed oil supplementation in diet for horses: Effects on palatability and digestibility. **Livestock Sci.** 116: 15-21. 2008.
- [9] FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA EL DESARROLLO DE LA NUTRICIÓN ANIMAL (FEDNA). Tablas de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid, España. 2016.
- [10] FONNESBECK, P.V. Digestion of soluble and fibrous carbohydrate of forage by horses. **J. Anim. Sci.** 27: 1336-1344. 1968.
- [11] FONNESBECK, P.V. Partitioning the nutrients of forage for horses. **J. Anim. Sci.** 28: 624-633. 1969.
- [12] GIUNCO, C.; RIBEIRO, G.; ABAKER-BERTIPAGLIA, L.M.; PEREIRA, M.A.; ARAUJO-NASCIMENTO, O.C.; BRANDI, R.A. Defatted maize germ in equine diets. **Biosci. J.** 32: 1305-1313. 2016.
- [13] GLADE, M.J. The influence of dietary fiber digestibility on the nitrogen requirements of mature horses. **J. Anim. Sci.** 58: 638-646. 1984.
- [14] GLOVER, J.; DUTHIE, D.W. The apparent digestibility of crude protein by non-ruminants and ruminants. **J. Agri. Sci.** 51: 289-293. 1958.
- [15] GOBESSO, A.A.; PASTORI, W.T.; RIBEIRO, R.M.; PREZOTTO, L.D. Inclusion of soy oil levels on the acceptability and digestibility of diets for equines. **Archi. Latinoamer. Prod. Anim.** 17: 25-30. 2009.
- [16] HARBERS, L.H.; MCNALLY, L.K.; SMITH, W.H. Digestibility of three grass hays by the horse and scanning electron microscopy of undigested leaf remnants. **J. Anim. Sci.** 53: 1671-1677. 1981.
- [17] HENNEBERG, W.; STOHMANN, F. Uber das Erhaltungsfutter volljahrigen Rindviehs. **J. Landwirtsch.** 3:485-551. 1859
- [18] HUSSEIN, H.S.; VOGEDES, L.A.; FERNANDEZ, G.C.J.; FRANKENY, R.L. Effects of cereal grain supplementation on apparent digestibility of nutrients and concentrations of fermentation end-products in the feces and serum of horses consuming alfalfa cubes. **J. Anim. Sci.** 82: 1986-1996. 2004.
- [19] JANSEN, W.L.; KUILEN, J.V.D.; GEELEN, S.N.J.; BEYNEN, A.C. The effect of replacing nonstructural carbohydrates with soybean oil on the digestibility of fibre in trotting horses. **Equine Vet. J.** 32: 27-30. 2000.
- [20] JANSEN, W.L.; GEELEN, S.N.J.; KUILEN, J.; BEYNEN, A.C. Dietary soyabean oil depresses the apparent digestibility of fibre in trotters when substituted for an isoenergetic amount of corn starch or glucose. **Equine Vet. J.** 34: 302-305. 2002
- [21] JANSEN, W.L.; CONE, J.W.; GEELEN, S.N.J.; VAN OLDRIJTBORGH-OOSTERBAAN, M.S.; VAN GELDER, A.H.; ELFERINK, S.O.; BEYNEN, A.C. High fat intake by ponies reduces both apparent digestibility of dietary cellulose and cellulose fermentation by faeces and isolated caecal and colonic contents. **Anim. Feed Sci. Tech.** 133: 298-308. 2007.

- [22] JENSEN, R.B.; AUSTBØ, D.; KNUDSEN, K.B.; TAUSON, A.H. The effect of dietary carbohydrate composition on apparent total tract digestibility feed mean retention time nitrogen and water balance in horses. **Animal**. 8: 1788-1796. 2014.
- [23] JULLIAND, V.; DE FOMBELLE, A.; VARLOUD, M. Starch digestion in horses: the impact of feed processing. **Livestock Sci**. 100: 44-52. 2006.
- [24] JUNG, H.G.; VOGEL, K.P. Influence of lignin on digestibility of forage cell wall material. **J. Anim. Sci**. 62: 1703-1712. 1986.
- [25] KABE, A.M.G.; DE SOUZA, A.D.; DE MORO-SOUSA, R.L.; DA SILVA-BUENO, I.C.; MOTA, T.P.; CRANDELL, K.; VERVUERT, I.; CORREA, G.F.; BRANDI, R.A. Soybean hulls in equine feed concentrates: apparent nutrient digestibility physicochemical and microbial characteristics of equine feces. **J. Equ. Vet. Sci**. 36: 77-82. 2016.
- [26] KIENZLE, E.; ZEYNER, A. The development of a metabolizable energy system for horses. **J. Anim. Physiol. Anim. Nutr**. 94 : e231-e240. 2010.
- [27] KRONFELD, D.S.; HOLLAND, J.L.; RICH, G.A.; MEACHAM, T.N.; FONTENOT, J.P.; SKLAN, D.J.; HARRIS, P.A. Fat digestibility in *Equus caballus* follows increasing first-order kinetics. **J. Anim. Sci**. 82:1773-1780. 2004
- [28] LUCAS, H.L.; SMART, W.W.G.; CIPOLLONI, M.A.; GROSS, H.D. Relations between digestibility and composition of feeds and foods. North Carolina State College S-45 Report. 26 pp. 1961.
- [29] MARTIN-ROSSET, W.; ANDRIEU, J.; VERMOREL, M.; JESTIN, M. Routine methods for predicting the net energy and protein values of concentrates for horses in the UFC and MADC systems. **Livestock Sci**. 100: 53-69. 2006.
- [30] MIRAGLIA, N.; BERGERO, D.; POLIDORI, M.; PEIRETTI, P.G.; LADETTO, G. The effects of a new fibre-rich concentrate on the digestibility of horse rations. **Livestock Sci**. 100: 10-13. 2006.
- [31] MOREIRA, C.G.; BUENO, I.; MENEZES, M.L.; MOTA, T.P.; SOUZA, A.D.; TAVARES, A.F.; AUGUSTO, L.S.; BRANDI, R.A. Palatability and digestibility of horse diets containing increasing levels of citrus pulp. **Rev. MVZ Córdoba**. 20: 4544-4555. 2015.
- [32] NORMAN, A.G. The composition of crude fibre. **J. Agri. Sci**. 25: 529-540. 1935.
- [33] NATIONAL RESERACH COUNCIL (NRC). Nutrient requirements of horses, 6th Ed. Rev. National Academy Press. Washington DC, EE.UU. 360 pp. 2007
- [34] OWENS, F.N.; SAPIENZA, D.A.; HASSEN, A.T. Effect of nutrient composition of feeds on digestibility of organic matter by cattle. A review. **J. Anim. Sci**. 88: E151-E169. 2010.
- [35] PAGAN, J.D. Measuring the digestible energy content of horse feeds. En: **Advances in Equine Nutrition** Pagan JD (Ed.). Nottingham University Press, Nottingham, United Kingdom. Pp. 71-76. 1998.
- [36] UNIÓN EUROPEA (UE). REGLAMENTO (CE) No 767/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 13 de julio de 2009. Diario Oficial de la Unión Europea. 28 pp. 2009.
- [37] VAN SOEST, P.J. Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. **J. Anim. Sci**. 26: 119-128. 1967.
- [38] WARDEH, M.F. Models for estimating energy and protein utilization for feeds. PhD Dissertation. Utah State University. Logan, Utah. 504 pp. 1981.
- [39] ZEYNER, A.; KIENZLE, E. A method to estimate digestible energy in horse feed. **J. Nutr**. 132: 1771S-1773S. 2002.