









Caracterización del valor nutricional de los residuos agroindustriales para la alimentación de ganado vacuno en la región de San Martín, Perú

 David José Godoy Padilla¹,  Rossmery Daza La Plata¹,  Lisania Melisa Fernández Curi¹,  Anita Elizabeth Layza Mendiola²,  Roberto Edgardo Roque Alcarraz²,  Víctor Hidalgo Lozano¹,  Segundo Gregorio Gamarra Carrillo¹,  Carlos Alfredo Gómez Bravo^{1*}

¹ Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

² Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú

* Autor de correspondencia: Universidad Nacional Agraria La Molina. Avenida La Molina S/n La Molina, Lima. Oficina de Grupo de investigación Ganadería y Cambio Climático. cagomez@lamolina.edu.pe

Recibido: 19 de Marzo de 2019

Aceptado: 05 de Noviembre de 2019

Publicado: 16 de Mayo de 2020

Editor temático: Claudia Janeth Ariza Nieto (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA])

Para citar este artículo: Godoy Padilla, D. J., Daza La Plata, R., Fernández Curi, L. M., Layza Mendiola, A. E., Roque Alcarraz, R. E., Hidalgo Lozano, V., Gamarra Carrillo, S. G., & Gómez Bravo, C. A. (2020). Caracterización del valor nutricional de los residuos agroindustriales para la alimentación de ganado vacuno en la región de San Martín, Perú. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(2), e1374. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num2_art:1374

Resumen

Se realizó una caracterización nutricional de 10 residuos agroindustriales disponibles en San Martín, Perú. Se colectaron 19 muestras de residuos provenientes de 11 plantas agroindustriales dedicadas a la producción de aceite de palma, arroz, cacao, café, coco y chontaduro. Se determinó la materia seca (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), fibra cruda (FC), extracto libre de nitrógeno (ELN), ceniza, digestibilidad aparente *in vitro* de la materia seca (DIVMS), fibra detergente neutro (FDN), fraccionamiento de proteína, proteína cruda utilizable (uCP), nutrientes digestibles totales (NDT) y energía neta de lactación (EN_L). Se encontraron diferencias significativas entre subproductos con respecto a su potencial nutricional ($p < 0,05$), siendo el nielen, arrocillo y polvillo de arroz, insumos energéticos con valores altos de EN_L ($2,1 \pm 0,02$, $2,1 \pm 0,02$ y $1,7 \pm 0,02$ Mcal/kg en base seca, respectivamente) y alta DIVMS ($99,3 \pm 0,25$ %, $90,5 \pm 0,42$ % y $99,0 \pm 0,68$ %, respectivamente). Insumos con mayor aporte proteico fueron torta de coco y cascarilla de cacao ($21,9$ % y $21,8 \pm 1,34$ % de PC, respectivamente). La fibra de palma y cascarilla de arroz fueron residuos fibrosos con menor potencial de uso por su baja DIVMS ($27,8 \pm 2,45$ % y $27,7 \pm 5,02$ %, respectivamente) y alto contenido de FDN ($69,8 \pm 4,17$ % y $72,6 \pm 6,45$ %, respectivamente). La cáscara de palmito tuvo regular DIVMS ($57,2$ %) y alto FDN ($60,4$ %). Los residuos agroindustriales de San Martín tienen un variado potencial energético y proteico de utilidad en la alimentación de ganado vacuno.

Palabras clave: alimentación de ganado vacuno, digestibilidad *in vitro*, proteína, residuos, valor nutritivo

Characterization of the nutritional value of agro-industrial by-products for cattle feeding in the San Martin region, Peru

Abstract

The nutritional characterization of ten available agroindustrial residues in the San Martin region, Peru, was carried out. Nineteen residue samples were collected from 11 agroindustrial companies dedicated to oil palm, rice, cacao, coffee, coconut, and peach palm production. A proximal analysis was done to establish dry matter (DM), crude protein (CP), ethereal extract (EE), crude fiber (CF), nitrogen-free extract (NFE), and ash. Besides, *in vitro* apparent dry matter digestibility (IVADMD), neutral detergent fiber (NDF), protein fractions, usable crude protein (uCP), total digestible nutrients (TDN) and net energy of lactation (NE_L) were determined. Results showed significant differences between agroindustrial residues according their nutritional potential ($p < 0.05$), where rice in different sizes, i.e., $< 1/4$ grain size, $> 1/4$ grain size, and rice dust, were energetic inputs with high NE_L (2.1 ± 0.02 , 2.1 ± 0.02 and 1.7 ± 0.02 Mcal/kg dry matter, respectively) and IVADMD values (99.3 ± 0.25 %, 90.5 ± 0.42 % and 99.0 ± 0.68 %, respectively). Besides, the inputs with the highest protein contribution were coconut cake and cacao husk (21.9 % and 21.8 ± 1.34 % of CP, respectively). Palm fiber and rice husk were the fibrous residues with lower use potential due to their low IVADMD (27.8 ± 2.45 % and 27.7 ± 5.02 %, respectively) and high NDF (69.8 ± 4.17 % and 72.6 ± 6.45 %, respectively). Heart of palm husk showed moderated IVADMD (57.2 %) and high

NDF (60.4 %) values. Agroindustrial residues of the San Martín region have a varied energy and protein use potential in cattle feeding.

Keywords: by-products, cattle feeding, *in vitro* digestibility, nutritive value, protein

Introducción

Los subproductos agroindustriales son los resultados de diversos procesos físicos, químicos y biológicos en la industrialización de productos animales o vegetales, que usualmente no tienen utilidad como materia prima para la cadena de producción (Rosas, Ortiz, Herrera, & Leyva, 2016; Saval, 2012). Hace varias décadas estos residuos vienen recibiendo gran atención por parte de ganaderos e investigadores en ciencia animal, debido a su potencial uso en la alimentación animal. Muchas agroindustrias que utilizan materias primas agrícolas producen residuos que pueden emplearse como combustible, para alimentación animal o fertilizante (Food and Agriculture Organization [FAO], 1997).

En varios países en desarrollo suelen utilizarse residuos agroindustriales y de cultivos como los principales componentes de la dieta en ganadería, con base en su disponibilidad local, la calidad del insumo y bajo precio (Mugerwa, Kabirizi, Zziwa, & Lukwago, 2012; Tingshuang, Sánchez, & Yu, 2002). A lo largo de la historia de la ganadería, se han utilizado ampliamente residuos agroindustriales tales como harinas de oleaginosas, salvados, granos de cervecería y destilería, pulpas de remolachas y melaza. Sin embargo, residuos menos convencionales actualmente tienen mayor disponibilidad como los residuos del proceso de frutas y vegetales, sueros y residuos culinarios (Mirzaei-Aghsaghali & Maheri-Sis, 2008).

En la Amazonia peruana, se cuenta con una gran biodiversidad de cultivos que, en el proceso de industrialización, generan residuos no convencionales que pueden ser incluidos en la dieta de vacunos lecheros y de engorde de la zona. Entre los productos que se industrializan se encuentran frutas, verduras, raíces, semillas, hojas, tubérculos y vainas; algunos se comercializan en fresco, transformados en néctares, jugos, mermeladas, ensaladas, harinas, aceites, vinos, concentrados en polvo y conservas, por mencionar algunos ejemplos (Saval, 2012). Actualmente, existe una tendencia mundial notable del crecimiento de la producción de residuos debido al aumento del procesamiento de productos para el consumo humano (Saval, 2012). Para tener una idea de la cantidad de residuos que generan las industrias, la de aceite de palma solamente utiliza el 9,0 % de los componentes del fruto, el 91,0 % restante es residuo; la industria del café utiliza el 9,5 % y el 90,5 % restante es también remanente, y la industria del cacao utiliza menos del 10 %, el resto es sobrante (Saval, 2012). Con base en esta disponibilidad, los residuos agroindustriales serían una buena alternativa como alimento para ganado vacuno, teniendo en cuenta su composición nutricional, el precio y la época de su uso (Preston & Leng, 1987).

La composición química de estos insumos no convencionales del trópico debe ser tomada de manera referencial, ya que se requeriría necesariamente evaluaciones en la respuesta animal (Preston & Leng, 1987). Sin embargo, los métodos y procedimientos usados para la descripción del contenido nutricional,

tales como el análisis proximal o de Weende, son de gran precisión y han sido evaluados y validados ampliamente, permitiendo su replicación en nuevos estudios (Association of Official Analytical Chemists [AOAC], 2005). Asimismo, el conocimiento de la digestibilidad de los alimentos es importante para la formulación de raciones para rumiantes (Bochi-Brum, Carro, Valdés, González & López, 1999). En ese sentido, los métodos *in vitro* para determinar la digestibilidad de insumos (por ejemplo, Goering & Van Soest, 1970) han sido ampliamente estudiados, modificados y validados con métodos *in vivo* de digestibilidad, permitiendo su aplicación de acuerdo con la accesibilidad de equipamiento que se posea (Giraldo, Gutiérrez, & Rúa, 2007).

El objetivo del presente estudio fue realizar la caracterización nutricional de 10 residuos agroindustriales de la región de San Martín y, con base en ello, poder clasificarlos como insumos potenciales para la alimentación del ganado vacuno en el trópico.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio fue realizado en el departamento de San Martín, Perú, específicamente en las provincias de Moyobamba, Bellavista, Lamas, Rioja, Mariscal Cáceres, Picota, Tocache y San Martín. Las áreas de estudio, de acuerdo con la descripción ecológica de Holdridge (1987), pertenecen a la zona de vida denominada Bosque húmedo - Premontano Tropical (bh-PT), y se caracteriza por presentar un clima tropical de sabana lluviosa, semicálida y húmeda, con temperatura mínima de 10 °C y máxima de 30 °C, siendo 22 °C la temperatura promedio durante todo el año. La precipitación anual es 1.344 mm, presentándose con mayor frecuencia en los meses de marzo y abril (106,5 mm) y con menor precipitación, en los meses de julio y agosto (61,5 mm) (Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú [Senamhi], 2018).

Se identificaron y encuestaron un total de 33 empresas agroindustriales en las diferentes provincias antes mencionadas, que se dedican al procesado de arroz, palma de aceite, cacao, café, coco y chontaduro. Del total de empresas contactadas, 11 accedieron a la entrega de muestras de los residuos para analizar su composición química y nutricional. Se contó con la participación de tres plantas arroceras (Comercial Agrícola El Progreso SRL, Molino San Nicolás SAC e Industria Molinera Amazonas SAC), una planta de procesamiento de chontaduro (Cooperativa Agroindustrial del Palmito), dos empresas de procesamiento de cacao (La Orquídea SAC y Acopagro SAC), dos empresas de aceite de palma (Indupalsa SAC y Palma del Espino SA), una empresa de café (Olam SAC) y una planta procesadora de coco (Las Tres Rosas EIRL).

Procesamiento de muestras de residuos

Identificación y procesamiento de residuos agroindustriales

Se seleccionaron para evaluar cuatro subproductos agroindustriales de arroz *Oryza sativa* L. (Poaceae): cáscara de arroz, nielen, arrocillo y polvillo de arroz; un subproducto del café *Coffea arabica* L. (Rubiaceae): pulpa de café; un subproducto del cacao *Theobroma cacao* L. (Malvaceae): cascarilla de cacao; dos subproductos de la palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq. (Arecaceae): fibra de palma y torta de palmiste;

un subproducto del coco *Cocos nucifera* L. (Arecaceae): torta de coco; y un subproducto del chontaduro *Bactris gasipaes* Kunth (Arecaceae): cáscara de palmito. En total se obtuvieron diez tipos de residuos agroindustriales.

La selección de estos insumos se realizó con base en su mayor grado de disponibilidad (t/año) que permitía su uso relevante por la ganadería en la zona. Por ejemplo, en la provincia de San Martín se produce alrededor de 33.000 t/año de polvillo de arroz, 5.000 t/año de arrocillo, 5.000 t/año de nielen, 84.000 t/año de cascarilla de arroz, 9.000 t/año de pulpa de café, 3.000 t/año de cascarilla de cacao, 3.000 t/año de torta de coco, 33.000 t/año de fibra de palma, 13.000 t/año de torta de palmiste y 1.000 t/año de cáscara de palmito, aproximadamente (información recolectada a través de las encuestas a las plantas agroindustriales).

Se tomaron muestras de los residuos agroindustriales por dos días consecutivos, obteniéndose al final una muestra representativa que fue utilizada para los análisis posteriores. En algunos casos, se tomaron muestras de un mismo residuo en diferentes lugares de procesamiento (dos o tres orígenes distintos). Las muestras colectadas fueron las siguientes: cascarilla de arroz (2), nielen (3), polvillo de arroz (3), arrocillo (3), fibra de palma (2), cascarilla de cacao (2); en el caso del palmiste, pulpa de café, torta de coco y cáscara de palmito, solo se muestreó de una sola empresa para cada uno de estos subproductos. Se analizó un total de 19 muestras de todos los subproductos.

Análisis de laboratorio

La determinación de la composición química proximal se realizó en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) del Departamento Académico de Nutrición, Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Se determinó el contenido en materia seca (MS), proteína cruda (PC), grasa o extracto etéreo (EE), fibra cruda (FC), ceniza y extracto libre de nitrógeno (ELN) según el método de la AOAC (2005).

La determinación de fibra detergente neutro (FDN) fue realizada mediante el método de Ankom (2017a): Neutral Detergent Fiber in feed - Filter bags technique y, en el caso de la Digestibilidad aparente *in vitro* de Materia Seca (DIVMS), se utilizó el método Ankom (2017b) Technology Method 3 - *in vitro* True Digestibility usando el equipo Daisy Incubator. El fundamento de este método consiste en establecer condiciones de incubación similares a las que se dan *in vivo*, utilizando soluciones como minerales, fuentes de nitrógeno y agentes reductores que propician la anaerobiosis necesaria en el proceso (Giraldo et al., 2007). El proceso de incubación duró 48 horas. Ambas pruebas fueron realizadas en el Laboratorio de Nutrición de Rumiantes, del Departamento Académico de Nutrición, UNALM.

Además, el fraccionamiento de proteína como porcentaje de la proteína total fue determinada según la metodología expuesta por Licitra, Hernández y Van Soest (1996), donde la fracción A representa el nitrógeno no proteico (NNP) que es nitrógeno soluble en ácido tricloroacético (TCA); fracción B1, proteína verdadera de degradación rápida determinada como proteína precipitable con TCA de la proteína soluble en *buffer* menos el NNP; fracción B2, proteína verdadera con una tasa de degradación intermedia determinada como proteína insoluble en *buffer* menos la proteína insoluble en detergente neutro; fracción B3, proteína verdadera de degradación lenta detergente neutro determinada como el nitrógeno insoluble (NDIP) menos la fracción C; y la fracción C, proteína no disponible o unida a la pared celular derivada de un nitrógeno insoluble detergente ácido (Sniffen, O'Connor, Van Soest, Fox, & Russell, 1992). Este

análisis se realizó en 14 muestras de residuos en el Laboratorio del Instituto de Ciencias Agrícolas en el Trópico – Universidad de Hohenheim, Alemania. Asimismo, se determinó la proteína cruda utilizable (uCP) de estas muestras según la ecuación de Zhao & Cao (2004).

La estimación del valor de nutrientes digestibles totales (NDT) y la energía neta de lactación (EN_L) de cada uno de los subproductos se obtuvo según lo propuesto por Waller (2004). Al valor resultante se le restó el 10 % como margen de seguridad (Waller, 2004). Los NDT constituyen una unidad de expresión del contenido energético de los alimentos y, cuando su valor es conocido, otras expresiones de energía pueden ser calculadas mediante el uso de ecuaciones apropiadas (Posada, Rosero, Rodríguez, & Costa, 2012). La EN_L es una medida de los requerimientos energéticos de la leche producida y puede variar de acuerdo con sus porcentajes de grasa (National Research Council [NRC], 1989). Cabe destacar que dicha fórmula tiene ciertas limitaciones con respecto a su uso en alimentos no convencionales de trópico.

$$\text{NDT (\%)} = 1,15 \text{ PC \%} + 1,75 \text{ EE \%} + 0,45 \text{ FC \%} + 0,0085 \text{ ELN}^2 \% + 0,25 \text{ ELN} - 3,4$$

$$\text{EN}_L \text{ (Mcal/kg)} = 0,0245 \text{ NDT \%} - 0,12$$

Análisis estadístico

Se emplearon medidas de estadística descriptiva tales como promedios y desviación estándar de los resultados nutricionales de cada tipo de residuo agroindustrial. Asimismo, se empleó un diseño completamente al azar (DCA) y la prueba de promedio de Tukey ($\alpha = 0,05$) para comparar los resultados. El programa estadístico SAS (V8) fue utilizado para el procesamiento de datos.

Resultados y discusión

En la tabla 1 se presentan los resultados de composición química y digestibilidad aparente *in vitro* de los residuos agroindustriales evaluados. Se clasificaron diez residuos agroindustriales con base en los resultados del análisis proximal, fibra detergente neutro (FDN) y digestibilidad aparente *in vitro* de la materia seca (DIVMS). Estos análisis facilitaron el estudio de sus características nutricionales y la posible sustitución de un residuo por otro. Existen diferentes criterios de clasificación de los insumos (Crampton & Harris, 1974; Ensminger, 1992; McDonald, Edwards, & Greenhalgh, 1981). Un criterio que resulta ser un común denominador es considerar su aporte nutricional y, de esta forma, clasificarlos como alimentos energéticos, proteicos o fibrosos.

Tabla 1. Composición química y digestibilidad *in vitro* de residuos agroindustriales de la zona de San Martín Perú, en base seca (%)

Residuos (procedencia)	MS %	PC %	EE %	Ceniza %	ELN %	FDN %	FC %	DIVMS %
Arrocillo (Bellavista)	88,8	9,9	0,3	0,6	88,1	0,5	1,1	98,5
Arrocillo (Rioja)	87,8	7,7	0,3	0,6	90,7	0,5	0,8	99,1
Arrocillo (San Martín)	88,5	10,0	0,2	0,3	89,0	0,4	0,6	99,3
Cáscara de palmito (Lamas)	97,0	7,0	1,3	4,7	55,3	60,4	31,8	57,2
Cascarilla de arroz (Bellavista)	97,2	3,1	0,0	16,1	33,9	77,1	47,0	24,1
Cascarilla de arroz (San Martín)	97,2	3,9	0,2	13,2	38,6	68,0	44,1	31,2
Cascarilla de cacao (Mariscal Cáceres)	91,0	19,9	14,3	7,1	33,5	28,2	25,1	75,5
Cascarilla de cacao (San Martín)	91,1	23,6	10,6	8,9	24,6	28,7	32,3	77,4
Fibra de palma (Lamas)	97,6	7,4	7,7	7,5	40,0	66,8	37,5	29,5
Fibra de palma (Tocache)	97,1	7,1	3,3	6,4	43,8	72,7	39,4	26,0
Nielen (Bellavista)	87,7	9,0	0,3	0,5	90,1	0,5	0,2	99,6
Nielen (Rioja)	88,8	9,3	0,6	0,7	88,9	0,8	0,6	99,4
Nielen (San Martín)	88,2	10,1	0,5	0,8	88,1	1,0	0,5	99,1
Torta de Palmiste (Tocache)	94,0	14,2	11,1	5,1	54,0	67,7	15,7	41,9
Polvillo de arroz (Rioja)	89,9	13,5	15,5	8,0	57,0	13,7	6,1	90,0
Polvillo de arroz (San Martín)	89,0	13,7	13,5	6,2	61,6	12,8	5,0	90,3
Polvillo de arroz (Bellavista)	89,2	15,2	15,9	8,6	55,0	12,8	5,2	91,3
Pulpa de café (Moyobamba)	94,3	12,9	2,4	5,8	64,3	37,2	14,6	79,3
Torta de coco (Picota)	92,4	21,9	16,4	6,8	40,4	51,7	14,6	52,0

Convenciones MS: materia seca; PC: proteína cruda; EE: extracto etéreo; ELN: extracto libre de nitrógeno; FDN: fibra detergente neutro; FC: fibra cruda; DIVMS: digestibilidad aparente *in vitro* de la materia seca.

Fuente: Elaboración propia

Los residuos agroindustriales energéticos fueron los subproductos provenientes del pulido del arroz, es decir: arrocillo, nielen y polvillo de arroz. Además, en este grupo se encontraron la pulpa de café y la torta de palmiste. La energía neta de lactación (EN_L) osciló entre 1,60 Mcal/kg (pulpa de café) a 2,19 Mcal/kg (arrocillo y nielen) en base seca (tabla 2), y la DIVMS está en un rango de 41,9 % (Palmiste) a 99,6 % (nielen). Los valores de EN_L , EE, ELN y digestibilidad *in vitro* de estos residuos lograron ser significativamente superiores a los demás residuos ($p < 0,05$), constatando su valor energético. La digestibilidad *in vitro* (DIVMS) del nielen en este estudio fue de $99,4 \pm 0,25$ %; este valor se debe al alto contenido de extracto libre de nitrógeno y al regular contenido proteico (Reyes, 1991).

En el presente estudio, el arrocillo o grano partido del arroz mostró un 9,2 % de proteína cruda promedio, valor superior a lo reportado por Shimada (2009), con un 8,7 % de proteína cruda. Según la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal [FEDNA] (2016a), el polvillo de arroz es una buena fuente energética para todas las especies de granja, en especial para los rumiantes, debido a su alto contenido en grasas (12,0 % - 18,0 %). Los resultados obtenidos en este trabajo sobre el nivel de grasa coinciden con

lo expuesto en la literatura. Con respecto a la torta de palmiste, la FDN de 55,0 % - 65,0 % se compensa con el contenido de grasa de 7,0 % - 10,0 % (FEDNA, 2015). En contraste con lo señalado, en el presente estudio se encontró un contenido ligeramente superior de 67,7 % y con un nivel de extracto etéreo de 11,1 %, que debe estar relacionado con diferencias en el proceso agroindustrial. Con respecto a la proteína cruda, FEDNA (2015) reporta un porcentaje de 16,7 % superior al encontrado en este estudio (14,2 %). El porcentaje de grasa y de proteína de la pulpa de café encontrados en el presente estudio (2,4 % y 12,9 %, respectivamente) fueron similares a los reportados por Pandey et al. (2000), donde los valores de grasa y proteína fueron de 2,5 % y 12,0 %, respectivamente.

En cuanto a los residuos agroindustriales proteicos, la torta de coco y la cascarilla de cacao fueron considerados dentro de este grupo al poseer niveles de proteína significativamente superiores a los demás residuos ($p < 0,05$). El promedio de proteína de la cascarilla de cacao fue de 21,8 % y la de torta de coco fue de 21,9 %, mientras que la DIVMS fue de 77,4 % y 52,0 %, respectivamente. Sin embargo, la torta de coco destacó por presentar un FDN de 51,7 %, mientras que la cascarilla de cacao fue de 28,5 %, lo que coincide con los valores de DIVMS. El nivel de proteína de la cascarilla de cacao del presente trabajo fue superior a lo reportado por otros estudios donde el nivel fue entre 15,0 % y 19,0 % (Cardona, Sorza, Posada, & Carmona, 2002; Lecumberri, Mateos, Izquierdo, Rupélez & Goya, 2007; Soto, 2012). Con respecto a la torta de coco, FEDNA (2016b) reportó que la cantidad de proteína cruda de este insumo es de 21,0 % y con 90,9 % de MS, porcentajes que concuerdan con los resultados obtenidos en el presente trabajo (21,8 % y 92,4 %, respectivamente). Además, ha sido reportado que la digestibilidad *in vitro* de la torta de coco está limitada por la elevada proporción de proteína ligada a la pared celular (70,0 %) como manifiesta FEDNA (2016b).

Los residuos clasificados como fibrosos fueron la cascarilla de arroz, fibra de palma y cáscara de palmito, al contener niveles de fibra detergente neutro (FDN) superiores a los demás insumos ($p < 0,05$). El contenido de FDN de la cascarilla de arroz varió en un rango de 68,0 %-77,1 %, siendo inferior a lo encontrado por Alemán (2012), quien reportó un FDN de 78,5 %. Por su parte, el contenido de FDN de la fibra de palma varió en un rango de 66,8 %-72,7 %, valores similares a lo indicado por Cuesta, Conde y Moreno (2000) (entre 66,0 % y 77,0 %). La cáscara de palmito tuvo un valor de proteína y grasa cruda de 7,0 % y 1,3 %, respectivamente, valores inferiores a los reportados por Mosquera, Martínez, Medina y Hinostroza (2013) (proteína de 9,15 % y grasa cruda de 5,15 %).

En la tabla 2 se presentan los valores de nutrientes digestibles totales (NDT) y energía neta de lactación (EN_L). Se observa que los residuos fibrosos tuvieron un bajo valor de EN_L , como, por ejemplo, la cascarilla de arroz con 0,8 Mcal/kg, a diferencia de los residuos energéticos que variaron de 1,73 a 2,06 Mcal/kg de EN_L lactación (Arrocillo).

Tabla 2. Nutrientes digestibles totales NDT y energía meta de lactación EN_L en residuos agroindustriales de la zona de San Martín, Perú, en base seca (%)

Residuos (procedencia)	Estimación al 95 %	
	NDT %	EN _L Mcal/kg
Arrocillo (Bellavista)	87,30	2,02
Arrocillo (Rioja)	89,05	2,06
Arrocillo (San Martín)	88,47	2,05
Cáscara de palmito (Lamas)	54,95	1,23
Cascarilla de arroz (Bellavista)	35,60	0,75
Cascarilla de arroz (San Martín)	39,24	0,84
Cascarilla de cacao (Mariscal Cáceres)	66,35	1,51
Cascarilla de cacao (San Martín)	61,31	1,38
Fibra de palma (Lamas)	53,15	1,18
Fibra de palma (Tocache)	49,97	1,10
Nielen (Bellavista)	89,18	2,07
Nielen (Rioja)	88,22	2,04
Nielen (San Martín)	87,58	2,03
Torta de Palmiste (Tocache)	69,94	1,59
Polvillo de arroz (Bellavista)	75,34	1,73
Polvillo de arroz (Rioja)	75,48	1,73
Polvillo de arroz (San Martín)	77,30	1,77
Pulpa de café (Moyobamba)	66,08	1,50
Torta de coco (Picota)	72,93	1,67

Fuente: Elaboración propia

Los residuos con mayor potencial de uso en alimentación del ganado vacuno por el mayor aporte de energía son los provenientes de la molienda del arroz como nielen, arrocillo y polvillo de arroz ($2,1 \pm 0,02$, $2,1 \pm 0,02$ y $1,7 \pm 0,02$ Mcal/kg de EN_L en base seca, respectivamente); mientras, los aportes de proteína de los insumos con mayor potencial son la torta de coco y cascarilla de cacao ($21,9$ % y $21,8 \pm 1,34$ % de proteína en base seca, respectivamente). Por otro lado, los residuos con menor potencial de uso por su bajo valor de DIVMS fueron la fibra de palma y la cascarilla de arroz ($27,7 \pm 2,47$ % y $27,6 \pm 5,02$ %, respectivamente). En líneas generales, el nielen fue el residuo agroindustrial con mejor composición química nutricional y DIVMS en el presente estudio.

Los resultados de fraccionamiento de proteína se observan en la tabla 3. La cascarilla de cacao presentó mayor cantidad de la fracción A (entre $37,6$ % y $43,8$ %), lo que indica que esa fracción de la proteína del insumo sería rápidamente degradable en el rumen y convertido en amoníaco (Tham, Man, & Preston, 2008). El insumo que presentó mayor cantidad de la fracción C fue la cascarilla de arroz (entre $44,1$ % y $68,0$ %). Este insumo tendría una mayor cantidad de lignina, sílice, complejos taninos-proteína u otros productos resistentes al hidrolisis por enzimas microbianas (Tham et al., 2008), los cuales están vinculados directamente con la cantidad de la fracción proteica C, siendo considerado como un insumo de baja calidad.

Tabla 3. Fraccionamiento de proteínas de los residuos agroindustriales de la región de San Martín, según la metodología descrita por Sniffen et al. (1992)

Residuos (procedencia)	Fracciones de proteína (%)					Proteína cruda utilizable (%)
	A	B1	B2	B3	C	
Arrocillo - Provincia Bellavista	2,8	10,2	80,0	2,1	4,8	13,5
Arrocillo - Provincia Rioja	6,2	8,3	75,5	0,2	9,9	10,1
Arrocillo - Provincia San Martín	2,2	2,4	82,3	4,7	8,4	12,3
Cascarilla de cacao - Provincia San Martín	43,8	5,2	19,5	11,9	19,7	24,5
Cascarilla de cacao - Provincia Mariscal Cáceres	37,6	11,6	16,8	10,5	23,5	21,6
Cascarilla de arroz - Provincia San Martín	11,9	18,9	19,5	5,7	44,1	4,6
Cascarilla de arroz - Provincia Bellavista	9,7	15,3	2,4	4,7	68,0	3,16
Nielen - Provincia Bellavista	1,4	12,4	79,5	0,4	6,4	11,9
Nielen - Provincia Rioja	0,9	4,1	78,8	5,2	11,1	11,3
Nielen - Provincia San Martín	3,4	6,7	83,3	1,0	5,6	13,3
Polvillo de arroz- Provincia Bellavista	17,5	0,2	66,9	10,5	4,9	19,1
Polvillo de arroz- Provincia Rioja	19,0	5,5	52,6	15,7	7,1	18,3
Polvillo de arroz- Provincia San Martín	19,5	7,6	55,8	9,7	7,4	17,9
Torta de coco - Provincia Picota	8,0	1,9	20,8	52,8	16,5	24,9

Convenciones A: Nitrógeno no proteico; B1: Proteína verdadera de degradación rápida; B2: Proteína verdadera de degradación intermedia; B3: Proteína verdadera de degradación lenta; C: proteína no degradable.

Fuente: Elaboración propia

Aquellos insumos considerados como proteicos, tales como la cascarilla de cacao y torta de coco, mostraron diferentes porcentajes de fracciones proteicas. Como se indicó anteriormente, la cascarilla de cacao contiene un mayor valor de fracción A que los demás insumos, pero también tuvo un porcentaje considerable de fracción B (entre 36,5 % y 38,9 %), siendo la parte B2 la de mayor concentración (entre 16,8 % y 19,5 %). Esta fracción normalmente se fermenta lentamente en el rumen, debido a las bacterias que requieren amoníaco como fuente única de nitrógeno (Russell, O'Connor, Fox, Van Soest, & Sniffen, 1992). La fracción C de este insumo fue entre 19,7 % y 23,5 %.

Por otra parte, la torta de coco mostró mayor cantidad de fracción proteica B (75,5 %), donde la proteína verdadera de degradación lenta (B3) presentó mayor cantidad (52,8 %). La fracción B3, ya que solamente se degrada en el rumen en un 10,0 %-25,0 % y el resto pasa al tracto intestinal, es considerada la fracción con mayor eficiencia para su aprovechamiento en los rumiantes (Sniffen et al., 1992). La fracción C de la torta de coco tuvo un valor de 16,5 %. De estos insumos proteicos, la torta de coco vendría a ser más eficiente, debido al alto contenido de la fracción B3, en comparación con la cascarilla de cacao, y por tener una menor fracción A (8,0 %) y fracción C (16,5 %), considerándosele un insumo proteico de buena calidad. Al respecto, Guevara-Mesa et al. (2011) reportaron que la harina de coco presentó valores de fracción A, B1, B2, B3 y C de 11,41 %, 3,15 %, 23,26 %, 48,02 % y 14,17 %, respectivamente, valores semejantes a los observados en el presente estudio.

Existen varios trabajos que indican el fraccionamiento de proteína de diferentes insumos y forrajes para la alimentación de rumiantes tales como alfalfa, maíz, harina de soya, salvado de trigo, algodón, sorgo, cebada, avena, residuos de cosecha, forrajes leguminosos y gramíneas (Gaviria, Rivera & Barahona, 2015; Guevara-Mesa et al., 2011; Sniffen et al., 1992). Sin embargo, aún falta indagar con mayor detalle información del fraccionamiento de proteínas en insumos no tradicionales y, con mayor énfasis, en residuos agroindustriales del trópico en el Perú. Asimismo, en la tabla 3 también se muestran los valores de proteína cruda utilizable (uCP), observando que los residuos agroindustriales considerados como proteicos muestran valores semejantes de uCP (cascarilla de cacao entre 21,6 % y 24,5 %; y la torta de coco con 24,9 %).

En la figura 1, se puede observar la relación entre la fibra detergente neutro (FDN) y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de los residuos agroindustriales evaluados.

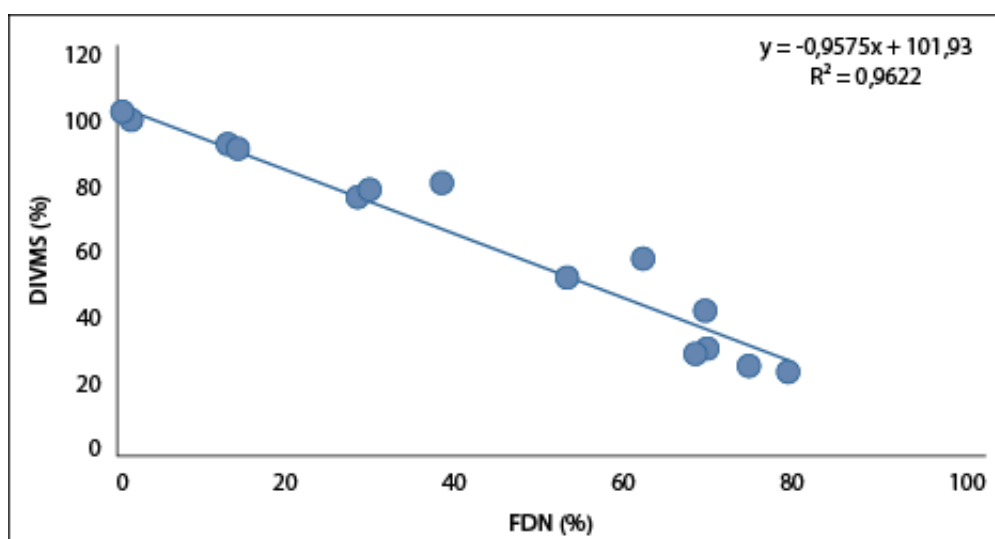


Figura 1. Relación entre el contenido de fibra detergente neutro (FDN) y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca aparente (DIVMS) de los residuos agroindustriales de la región de San Martín.

Fuente: Elaboración propia

Se encontró una correlación negativa significativa entre ambos parámetros ($r = -0,98$), es decir que, cuando hubo un incremento de la FDN, el valor de la DIVMS se redujo. Esta relación fue más notable en aquellos subproductos con alto contenido de FDN como la cascarilla de arroz, fibra de palma, cáscara de palmito y palmiste, ya que la digestibilidad *in vitro* del FDN se reduciría y, por ende, la digestibilidad de la materia seca también (Mertens, 2009). Mahyuddin (2008) reportó una correlación negativa entre FDN y DIVMS de pastos tropicales; sin embargo, el coeficiente de determinación de dicho trabajo ($R^2 = 0,24$) fue inferior al resultado del presente estudio ($R^2 = 0,96$). La razón podría ser la variación que hubo entre las especies forrajeras tropicales respecto a los componentes químicos, mientras que, en el presente trabajo, los residuos agroindustriales tuvieron menor variación de dichos componentes. En otro estudio también se reportó una relación negativa entre la DIVMS y la FDN del kikuyo, mostrando un valor de R^2 de 0,75, valor inferior al encontrado en los subproductos locales del trópico (Rodríguez, 1999). Por otro lado, aquellos subproductos con bajos niveles de FDN y altos valores de DIVMS tales como la torta de coco, pulpa de café, cascarilla de cacao, polvillo de arroz, nielen y arrocillo serían subproductos con mayor aprovechamiento.

Conclusiones

Los residuos agroindustriales con mejor potencial energético y con buena digestibilidad *in vitro* (DIVMS) fueron el nielen, polvillo de arroz y el arrocillo, con valores de energía de lactación (EN_L) de $2,1 \pm 0,02$, $2,1 \pm 0,02$ y $1,7 \pm 0,02$ Mcal/kg en base seca, respectivamente, y DIVMS de $99,3 \pm 0,25$ %, $90,5 \pm 0,42$ % y $99,0 \pm 0,68$ %, respectivamente.

Los residuos agroindustriales con mejor potencial proteico fueron la cascarilla de cacao y la torta de coco, con niveles de proteína cruda de $21,8 \pm 1,34$ % y $21,9$ %, respectivamente. Los residuos agroindustriales con potencial fibroso fueron la cascarilla de arroz, fibra de palma y cáscara de palmito con valores de FDN de $69,8 \pm 4,17$ %, $72,6 \pm 6,45$ % y $60,4$ %; sin embargo, solo la cáscara de palmito reportó un DIVMS regular (57,2 %).

Los residuos agroindustriales de la región de San Martín, Perú, tienen un variado potencial energético y proteico, y serían de utilidad en la alimentación de ganado vacuno en el trópico.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la doctora Uta Dickhoefer por su ayuda en la realización del análisis químico de fraccionamiento de proteína en el Laboratorio del Instituto de Ciencias Agrícolas en el Trópico – Universidad de Hohenheim, Alemania. Asimismo, al Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) por proporcionar los fondos principales para la ejecución de presente trabajo, parte del proyecto Suplementación nutricional estratégica para vacunos en la región de San Martín y Amazonas mediante el uso de bloques multinutricionales y residuos locales como estrategia de adaptación al impacto del cambio climático (N.º de Contrato 016-2016 INIA-PNIA-IE).

Descargos de responsabilidad

Todos los autores realizaron aportes significativos al documento y están de acuerdo con su publicación, manifestando que no existen conflictos de interés en este estudio.

Referencias

- Alemán, A. (2012). *Evaluación de la esterificación sobre cascarilla de arroz como estrategia para incrementar la capacidad de remoción del colorante rojo básico 46* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia]. http://bdigital.unal.edu.co/6861/1/15679816_2012.pdf
- Ankom. (2017a). *Neutral detergent fiber in feeds - filter bag technique (for A2000 and A2000I)*. https://www.ankom.com/sites/default/files/document-files/Method_13_NDF_A2000.pdf
- Ankom. (2017b). *In vitro true digestibility method (IVTD - Daisy)*. https://www.ankom.com/sites/default/files/document-files/Method_3_Invitro_D200_D200I.pdf
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2005). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (18th Edition).

- Bochi-Brum, O., Carro, D., Valdés, C., González, J., & López, S (1999). Digestibilidad *in vitro* de forrajes y concentrados: efecto de la ración de los animales donantes de líquido ruminal. *Archivos de Zootecnia*, 48(181), 51-61.
- Cardona, M., Sorza, J., Posada, S., & Carmona, J. (2002). Establecimiento de una base de datos para la elaboración de tablas de contenido nutricional de alimentos para animales. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(2), 240-246.
- Crampton, E., & Harris, L. E. (1974). *Nutrición animal aplicada*. Editorial Acribia.
- Cuesta, A., Conde, A., & Moreno, M. L. (2000). Tratamiento y calidad nutritiva de subproductos fibrosos de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Revista Palmas*, 21(especial), 264-274. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/794/794>
- Ensminger, M. E. (1992). *The stockman's handbook*. Interstate Publishers Inc. Ill.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (1997). *Parte III: La agroindustria y el desarrollo económico*. <http://www.fao.org/docrep/w5800s/w5800s12.htm>
- Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA). (2015). *Tabla de la composición química de la torta de palmiste*. <http://www.fundacionfedna.org/node/439>
- Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA). (2016a). *Tabla de la composición química del salvado de arroz desengrasado*. http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/salvado-de-arroz-desengrasado
- Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA). (2016b). *Tabla de la composición química de la torta de presión de copra*. http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/torta-de-presi%C3%B3n-de-copra
- Gaviria, X., Rivera, J., & Barahona, R. (2015). Calidad nutricional y fraccionamiento de carbohidratos y proteína en los componentes forrajeros de un sistema silvopastoril intensivo. *Pastos y Forrajes*, 38(2), 194-201.
- Giraldo, L. A., Gutiérrez, L. A., & Rúa, C. (2007). Comparación de dos técnicas: *in vitro* e *in situ* para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(3), 269-279.
- Goering, H. U., & Van Soest, P. J. (1970). *Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications)* (No. 379). US Agricultural Research Service, Department of Agriculture.
- Guevara-Mesa, A. L., Miranda-Romero, L., A., Ramírez-Bribiesca, J. E., González-Muñoz, S. S., Crosby-Galván, M. M., Hernández-Calva, L. M., & Del Razo-Rodríguez, O. E. (2011). Fracciones de proteína y fermentación *in vitro* de ingredientes proteínicos para rumiantes. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 421-429.
- Holdridge, L. (1987). *Ecología basada en zonas de vida*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Lecumberri, E., Mateos, R., Izquierdo, M., Rupélez, & P., Goya, L. (2007). Dietary fiber composition, antioxidant capacity and physico-chemical properties of a fiber-rich product from cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Food Chemistry*, 104(3), 948-954. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.12.054>
- Licitra, G., Hernandez, T. M., & Van Soest, P. J. (1996). Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 57(4), 347-358. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00837-3](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00837-3)
- Mahyuddin, P. (2008). Relationship between chemical component and *in vitro* digestibility of tropical grasses. *Hayati Journal of Biosciences*, 15(2), 85-89. <https://doi.org/10.4308/hjb.15.2.85>
- McDonald, P., Edwards, R. A., & Greenhalgh, J. F. D. (1981). *Animal nutrition* (3. ed.). Longman.
- Mertens, D. R. (2009). Impact of NDF content and digestibility on dairy cow performance. *WCDS Advances in Dairy Technology*, 21, 191-201.
- Mirzaei-Aghsaghali, A., & Maheri-Sis, N. (2008). Nutritive value of some agro-industrial by-products for ruminants - A review. *World Journal of Zoology*, 3(2), 40-46.

- Mosquera, P., Martínez, G., Medina, H., & Hinestroza, L. (2013). Caracterización bromatológica de especies y subproductos vegetales en el trópico húmedo de Colombia. *Acta Agronómica*, 62(4), 326-332. <https://doi.org/10.15446/acag>
- Mugerwa, S., Kabirizi, J., Zziwa, E., & Lukwago, G. (2012). Utilization of crop residues and agro-industrial by-products in livestock feeds and feeding systems of Uganda. *International Journal of Biosciences (IJB)*, 2(4), 82-89.
- National Research Council (NRC). (1989). *Nutrient requirements of dairy cattle* (6. ed.) The National Academies Press.
- Pandey, A., Soccol, C., Nigam, P., Brand, D., Mohan, R., & Roussos, S. (2000). Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. *Biochemical Engineering Journal*, 6(2), 153-162. [https://doi.org/10.1016/S1369-703X\(00\)00084-X](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(00)00084-X)
- Posada, O. S., Rosero, N. R., Rodríguez, N., & Costa, C. A. (2012). Comparación de métodos para la determinación del valor energético de alimentos para rumiantes. *Revista MVZ Córdoba*, 17(3), 3184-3192. <https://doi.org/10.21897/rmvz.219>
- Preston, T. R., & Leng, R. A. (1987). *Matching ruminant production systems with available Resources in the tropics and sub-tropics*. Penambul Books.
- Reyes, J. (1991). *Composición de insumos no tradicionales usados en la alimentación animal en la provincia de Piura*. Universidad Nacional de Piura.
- Rodríguez, D. (1999). *Caracterización de la respuesta a la fertilización en producción y calidad forrajera en los valles de Chiquinquirá y Simijaca (Estudio del caso)* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Colombia.
- Rosas, D., Ortiz, H., Herrera, J., & Leyva, O. (2016). Revalorización de algunos residuos agroindustriales y su potencial de aplicación a suelos agrícolas. *Agroproductividad*, 9(8), 18-23.
- Russell, J. B., O'Connor, J. D., Fox, D. G., Van Soest, P. J., & Sniffen, C. J. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluation cattle diets: I ruminal fermentation. *Journal of Animal Science*, 70(11), 3551-3561. <https://doi.org/10.2527/1992.70113551x>
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *Revista de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería A.C.*, 16(2), 14-46. https://smbb.mx/wp-content/uploads/2017/10/Revista_2012_V16_n2.pdf
- Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú (Senamhi). (2018). *Boletín Climático Nacional junio 2018*. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02215SENA-60.pdf>
- Shimada, A. (2009). *Nutrición Animal*. Editorial Trillas.
- Sniffen, C. J., O'Connor, J. D., Van Soest, P. J., Fox, D. G., & Russell, J. B. (1992). A Net Carbohydrate and Protein System for Evaluating Cattle Diets: II. Carbohydrate and Protein Availability. *Journal of Animal Science*, 70(11), 3562-3577. <https://doi.org/10.2527/1992.70113562x>
- Soto, M. J. (2012). *Desarrollo del proceso de producción de cascarilla de semilla de cacao en polvo destinada al consumo humano* [Tesis de pregrado]. Universidad Simón Bolívar.
- Tham, H. T., Man, N. V., & Preston, T. R. (2008). Estimates of protein fractions of various heat-treated feeds in ruminant production. *Livestock Research for Rural Development*, 20. <http://www.lrrd.org/lrrd20/supplement/tham2.htm>
- Tingshuang, G., Sánchez, M. D., & Yu, G. P. (2002). *Composition, nutritive value and upgrading of crop residues. Animal Production Based on Crop Residues - Chinese Experiences*. <http://www.fao.org/3/y1936e/y1936e00.htm>
- Waller, J. C. (2004). Byproducts and unusual feedstuffs. *The Feedstuffs Reference Issue & Buyers Guide*, 83(38), 18.
- Zhao, G. Y., & Cao, J. E. (2004). Relationship between the *in vitro*-estimated utilizable crude protein and the Cornell Net Carbohydrate and Protein System crude protein fractions in feeds for ruminants. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 88(7-8), 301-310. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2004.00485.x>