

***In vivo* digestibility of nutrients and energy of moringa (*Moringa oleifera* ecotype Pernambuco) forage meal, for growing-fattening rabbits**

Digestibilidad *in vivo* de nutrientes y energía de la harina de forraje de moringa (*Moringa oleifera* ecotipo Pernambuco) destinada a conejos en crecimiento-ceba

Y. Caro¹, C. Bôa-Viagem², W.M. Ferreira³, Daymara Bustamante¹, J. Ly¹ and S. Mireles⁴

¹*Instituto de Ciencia Animal, Apartado 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba*

²*Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Zootecnia. Recife, Brasil*

³*Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária, Departamento de Zootecnia. Belo Horizonte, Brasil*

⁴*Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México*

Email: smireles@cucba.udg.mx

Y. Caro: <https://orcid.org/0000-0002-2372-5042>

Bôa-Viagem: <https://orcid.org/0000-0002-5912-162X>

W.M. Ferreira: <https://orcid.org/0000-0003-0104-0736>

Daymara Bustamante: <https://orcid.org/0000-0002-7973-6349>

J. Ly: <https://orcid.org/0000-0001-8646-2545>

S. Mireles: <https://orcid.org/0000-0003-3340-7344>

Thirty-two White New Zealand rabbits, at 55 days of age, were used to estimate *in vivo* digestibility of nutrients in moringa forage meal. Eight animals were randomly distributed in each of the four experimental groups: 0, 100, 200 and 300 g/kg of moringa forage meal. Apparent fecal digestibility of dry matter, organic matter, crude protein, crude energy, neutral detergent fiber and acid detergent fiber was determined. The other evaluated indicator was total content of digestible nutrients (protein and energy). Feed intake was reduced ($P > 0.05$) in rabbits consuming diets with moringa forage meal. There were no differences in apparent fecal digestibility of nutrients among treatments. Digestible energy: digestible protein relationship increased in rabbits fed with the moringa forage meal in 11.66; 11.19 and 10.95 g/MJ, with respect to control diet. The results demonstrated the nutritional potential of moringa forage meal, when up to 30% is used in rabbit feeding.

Key words: *rabbits, fecal digestibility, digestible protein, digestible energy*

The use of forage plants for feeding rabbits, offered in a complementary way in diets, represents a viable option to produce animal protein. The potential of these tropical plants is determined by their nutritional composition and availability (Mireles *et al.* 2017). Balanced diets associated with forages satisfy the nutritional needs of rabbits and, consequently, favor the productive performance of the animal (Osmari *et al.* 2019). In recent years, important studies have been carried out on the use of *Moringa oleifera* in rabbit production (Valdivié *et al.* 2019).

Food evaluation allows knowing its nutritional potential and its possible effect on its nutritional use by animals (Al-Sagheer *et al.* 2019). There are several methodologies described for this purpose (Ferreira *et al.* 2019). Among them, digestibility tests are an efficient

Se utilizaron 32 conejos Nueva Zelanda Blanco, a los 55 días de edad, para estimar la digestibilidad *in vivo* de los nutrientes de la harina de forraje de moringa. Se distribuyeron de forma aleatorizada ocho animales en cada uno de los cuatro grupos experimentales: 0, 100, 200 y 300 g/kg de harina de forraje de moringa. Se determinó la digestibilidad fecal aparente de la materia seca, materia orgánica, proteína bruta, energía bruta, fibra neutro detergente y fibra ácido detergente. El otro indicador que se evaluó fue el contenido total de nutrientes digestibles (proteína y energía). El consumo de alimento se redujo ($P < 0.05$) en los conejos que consumieron las dietas con harina de forraje de moringa. No se observaron diferencias en la digestibilidad fecal aparente de los nutrientes entre tratamientos. La relación energía digestible: proteína digestible aumentó en los conejos alimentados con la harina de forraje de moringa en 11.66; 11.19 and 10.95 g/MJ, con respecto a la dieta control. Los resultados demostraron el potencial nutritivo de la harina de forraje de moringa, cuando se utiliza hasta 30 % en la alimentación cunicola.

Palabras clave: *conejos, digestibilidad fecal, proteína digestible, energía digestible.*

La utilización de plantas forrajeras en la alimentación de conejos, suministradas de forma complementaria en las dietas, representa una opción viable para producir proteína animal. El potencial de estas plantas tropicales está determinado por su composición nutritiva y disponibilidad (Mireles *et al.*, 2017). Las dietas balanceadas asociadas a forrajes satisfacen las necesidades nutricionales de los conejos y, por consiguiente, favorecen el comportamiento productivo del animal (Osmari *et al.* 2019). En los últimos años, se han realizado importantes estudios acerca del empleo de *Moringa oleifera* en la producción cunicola (Valdivié *et al.* 2019).

La evaluación de los alimentos permite conocer su potencial nutritivo y su posible efecto en el aprovechamiento nutricional de los animales (Al-Sagheer *et al.* 2019). Diversas son las metodologías que se describen con esta finalidad (Ferreira *et al.* 2019). Entre ellas, las pruebas de digestibilidad constituyen

technique to evaluate the digestive utilization of rabbit diets and the functioning of their digestive tract (López *et al.* 2018).

The objective of this experiment was to determine *in vivo* digestibility of nutrients of moringa forage meal in rabbit diets.

Materials and Methods

Preparation of forage meal. The tree species *Moringa oleifera* ecotype Pernambuco, established at the Estación Experimental de Pequeños Animales de Carpina, from the Universidad Federal Rural de Pernambuco. Moringa forage meal was made from leaves, petioles and fine stems, collected at 60 d of age. The cut was manually performed, at a height of 50 cm. Drying of plant material was carried out for five days in a warehouse, protected from sun and rain. To ensure it dries evenly, and to avoid the development of fermentation processes, it was turned over three times a day. Finally, the plant material was reduced to a particle size of 3 mm in a hammer mill. Moringa forage meal was packed in 50 kg jute bags. It was kept indoors and aerated until its use. Six representative samples, 500 g each, were taken from a single batch of forage meal. Samples corresponded to five areas of the bags (upper and lower corners and center). They were stored in glass jars and stored at room temperature for 10 d. Analyzes were carried out by triplicate. Table 1 shows the chemical and energy composition of moringa forage meal.

Table 1. Chemical and energy composition of moringa forage meal

	DM, g/kg	CP, g/kg DM	GE, MJ/kg DM	NDF, g/kg DM	ADF, g/kg DM
n=12	880.80	185.40	18.40	435.00	272.60
Clay,%	20.00	20.00			

GE: gross energy

Experimental animals and diets. Digestibility test was carried out in the Laboratorio de Digestibilidad de No Rumiantes, from the Departamento de Zootecnia de la Universidad Federal Rural de Pernambuco. Thirty-two White New Zealand rabbits (males) aged 55 d, housed in metabolic cages, were used. Animals were randomly distributed into four experimental groups. Control diet was formulated according to the nutritional needs established by de Blas and Mateos (2010), and the treatments replaced 100, 200 and 300 g/kg of the macro ingredients (food except the nucleus) by moringa forage meal (table 2). The core was composed of molasses, common salt, premix, DL-methionine, L-lysine and bentonite. Diets were supplied in the form of granules, with dimensions of 8.0 mm long and 4.0 mm diameter.

una técnica eficiente para evaluar la utilización digestiva de dietas para conejos y el funcionamiento del tracto digestivo (López *et al.* 2018).

El objetivo de este experimento fue determinar la digestibilidad *in vivo* de los nutrientes de la harina de forraje de moringa en dietas para conejos.

Materiales y Métodos

Elaboración de la harina de forraje. Se utilizó la especie arbórea *Moringa oleifera* ecotipo Pernambuco, establecida en la Estación Experimental de Pequeños Animales de Carpina, de la Universidad Federal Rural de Pernambuco. La harina de forraje de moringa se elaboró a partir de las hojas, pecíolos y tallos finos, recolectados a los 60 d de edad. El corte se realizó de forma manual, a 50 cm de altura. El secado del material vegetal se llevó a cabo durante cinco días en un galpón, protegido del sol y la lluvia. Para lograr que secase de manera uniforme, y evitar el desarrollo de procesos fermentativos, se volteó tres veces al día. Por último, el material vegetal se redujo a un tamaño de partícula de 3 mm en un molino de martillo. La harina de forraje de moringa se envasó en sacos de yute de 50 kg. Se mantuvo bajo techo y se aireó hasta su utilización. Se tomaron seis muestras representativas, de 500 g cada una, de un lote único de harina de forraje. Las muestras correspondieron a cinco puntos de los sacos (esquinas superiores e inferiores y centro). Se guardaron en frascos de cristal y se almacenaron a temperatura ambiente durante 10 d. Los análisis se realizaron por triplicado. La tabla 1 muestra la composición química y energética de la harina de forraje de moringa.

Animales y dietas experimentales. El ensayo de digestibilidad se realizó en el Laboratorio de Digestibilidad de No Rumiantes, perteneciente al Departamento de Zootecnia de la Universidad Federal Rural de Pernambuco. Se utilizaron 32 conejos Nueva Zelanda Blanco (machos) con 55 d de edad, alojados en jaulas metabólicas. Los animales se distribuyeron de forma aleatorizada en cuatro grupos experimentales. La dieta control se formuló según las necesidades nutricionales establecidas por de Blas y Mateos (2010), y en las otras se sustituyeron 100, 200 y 300 g/kg de los macroingredientes (alimentos excepto el núcleo) por la harina de forraje de moringa (tabla 2). El núcleo estuvo compuesto por melaza, sal común, premezcla, DL-metionina, L-lisina y bentonita. Las dietas se suministraron en forma de gránulos, con dimensiones de 8.0 mm de largo por 4.0 mm de diámetro.

Table 2. Ingredients and analyzed chemical composition (g/kg) of experimental diets containing different levels of moringa forage meal

Ingredients, g/kg	Moringa forage meal, g/kg			
	0	100	200	300
Alfalfa meal	400.00	358.50	316.90	275.40
Wheat meal	50.00	44.80	39.60	34.40
MDPM ¹	150.00	134.40	118.80	103.30
Soy bean meal	137.00	122.70	108.40	94.10
Moringa forage meal	-	100.00	200.00	300.00
Corn meal	117.10	105.00	92.90	80.70
Tiftón 85 meal	73.90	66.20	58.60	50.90
Soy bean oil	73.90	66.20	58.60	50.90
Sugar cane molasses	30.00	26.90	23.80	20.70
Sodium chloride	20.00	20.00	20.00	20.00
Mineral-vitamin premix ²	5.00	5.00	5.00	5.00
Calcium carbonate	5.00	5.00	5.00	5.00
Bicalcium phosphate	4.90	4.40	3.90	3.40
Bentonite	5.00	5.00	5.00	5.00
L-Lysin	1.10	1.10	1.10	1.10
DL-Methionine	1.00	1.00	1.00	1.00
Analyzed chemical composition, g/kg DM				
DM	907.60	900.00	890.30	887.30
CP	201.20	188.50	176.50	168.50
DE, MJ/kg DM	18.99	18.62	18.89	19.13
NDF	272.60	337.30	348.70	353.90
ADF	222.40	257.30	282.20	278.40

¹ MDPM: Shredded corn with straw and corncob

² Composition of premix per kg of product: vit. A, 2'000,000 IU; vit. D3, 20,000 IU; vit. E, 4,000 mg; vit. K3, 722 mg; vit. B1, 400 mg; vit. B2, 1000 mg; vit. B6, 600 mg; vit. B12, 2,000 mcg; niacin, 6,000 mg; folic acid, 100 mg; pantothenic acid, 3,000 mg; biotin, 21 mg; choline, 100,000 mg; selenium, 19 mg; iodine, 140 mg; cobalt, 200 mg; iron, 20,000 mg; copper, 4,000 mg; manganese, 4,000 mg, zinc, 14,000 mg.

Experimental procedure. Animals adapted to diets and cages for seven days. Feces were collected for four consecutive days, according to the methodology proposed by Pérez *et al.* (1995a). Food and water intake was *ad libitum*. During the experimental period, the natural photoperiod was maintained. Maximum average temperature of the environment was 27.0 °C and relative humidity of the air was 70.1.

Feces were kept frozen at -20 °C until the moment of their analysis. Subsequently, they were dried in the oven at 55 °C for 72 h. Finally, they were ground in a mill to reduce the particle size to 1 mm.

Diets and feces were analyzed to determine dry matter (DM), organic matter (OM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF), according to the methodology described by Silva and Queiroz (2009). Gross energy (GE) determination was performed on an adiabatic pump calorimeter (model 6200, Parr Instrument Company, Moline, Illinois, USA).

The apparent fecal digestibility of nutrients was determined according to the equation suggested by Pérez *et al.* (1995b):

Procedimiento experimental. Los animales se adaptaron a las dietas y jaulas durante siete días. Las excretas se recolectaron cuatro días consecutivos, según la metodología propuesta por Pérez *et al.* (1995a). El consumo de alimento y agua fue *ad libitum*. Durante el período experimental se mantuvo el fotoperíodo natural. La temperatura media máxima del ambiente fue 27.0 °C y la humedad relativa del aire de 70.1.

Las excretas se conservaron en congelación a -20 °C hasta el momento de su análisis. Posteriormente, se secaron en la estufa a 55 °C durante 72 h. Por último, se molieron en un molino para reducir el tamaño de partícula a 1 mm.

Las dietas y las heces se analizaron para determinar la materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína bruta (PB), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA), de acuerdo con la metodología descrita por Silva y Queiroz (2009). La determinación de la energía bruta (EB) se realizó en un calorímetro adiabático de bomba (modelo 6200, Parr Instrument Company, Moline, Illinois, EUA).

La digestibilidad fecal aparente de los nutrientes se determinó según la ecuación sugerida por Pérez *et al.* (1995b):

$$\text{Apparent digestibility of nutrients (\%)} = \frac{\text{Ingested nutrients (g)} - \text{Excreted nutrients (g)}}{\text{Ingested nutrients (g)}} * 100$$

Digestible energy (DE) of diets was obtained by multiplying GE digestibility value by the gross energy value, obtained from each diet. The same calculation was made for digestible protein (DP) of diets.

$$DE \text{ (MJ/kgDM)} = GE \text{ diet (MJ/kgDM)} \times GED \text{ diet (\%)}$$

$$DP \text{ (g/kg DM)} = CP \text{ diet (g/kg DM)} \times CPD \text{ diet (\%)}$$

The relationship (REL) between DE and DP was determined by the following formula:

$$REL = \frac{DP \text{ (g / kg DM)}}{DE \text{ (MJ / kg DM)}}$$

Nutritional value of ingredients and their relation was calculated according to Ferreira (2014).

Experimental design and statistical analysis. An analysis of variance was carried out, according to a completely randomized design with four treatments and eight repetitions. Duncan (1955) test was applied for the mean comparison for $P < 0.05$. Results were processed using the R program (R Core Team 2017).

Results and Discussion

Table 3 describes the apparent fecal digestibility of nutrients in rabbits fed diets containing increasing levels of moringa forage meal.

Table 3. Apparent fecal digestibility of nutrients in rabbits fed increasing levels of moringa forage meal

	Moringa forage meal , g/kg diet				SE ±	P
	0	100	200	300		
Intake, g DM	127.64 ^a	117.78 ^{ab}	109.66 ^{ab}	97.76 ^b	6.81	0.0296
Excretion, g DM	45.76	43.09	41.11	39.34	3.30	0.5614
Apparent fecal digestibility, %						
DM	63.99	63.53	62.58	60.20	1.51	0.3110
OM	64.37	62.57	62.61	60.29	1.52	0.3334
CP	79.14	74.42	75.59	75.78	1.44	0.1389
GE	66.65	64.63	63.07	60.91	1.49	0.0680
NDF	48.72	51.07	51.27	48.00	2.16	0.6304
ADF	39.20	40.93	42.56	41.88	2.77	0.8425

^{ab} Means with different letters in the same line indicate significant differences $P < 0.05$

Differences were observed with respect to control group in food intake in rabbits that ingested diets with moringa forage meal. These results agree with the high content of indigestible fiber present in diets with moringa forage meal (table 2). Lara *et al.* (2012) explained that food intake is influenced by the level and type of fiber in the diet. Blas *et al.* (1999) reported that the retention time of digesta in the cecum could increase when there is a high supply of less digestible fiber in the diet, and concomitantly it can decrease food intake. Gidenne (2000) stated that when acid detergent fiber content is higher than or equal to 250 g/kg DM, animals do not consume enough food to meet their energy needs.

Pinheiro *et al.* (2018) suggested other factors, such

La energía digestible (ED) de las dietas se obtuvo al multiplicar el valor de la digestibilidad de la EB por el valor de energía bruta, obtenida de cada dieta. El mismo cálculo se efectuó para la proteína digestible (PD) de las dietas.

$$ED \text{ (MJ/kg MS)} = EB \text{ dieta (MJ/kg MS)} \times DEB \text{ dieta (\%)}$$

$$PD \text{ (g/kg MS)} = PB \text{ dieta (g/kg MS)} \times DPB \text{ dieta (\%)}$$

La relación (REL) entre la ED y PD se determinó por la siguiente fórmula:

$$REL = \frac{PD \text{ (g / kg MS)}}{ED \text{ (MJ / kg MS)}}$$

El valor nutricional de los ingredientes y su relación se calcularon según Ferreira (2014).

Diseño experimental y análisis estadístico. Se realizó un análisis de varianza, según diseño completamente aleatorizado con cuatro tratamientos y ocho repeticiones. Para la comparación de media se aplicó la dócima de Duncan (1955) para $P < 0.05$. Los resultados se procesaron mediante el programa R (R Core Team 2017).

Resultados y Discusión

En la tabla 3 se describe la digestibilidad fecal aparente de los nutrientes en conejos alimentados con dietas que contenían niveles crecientes de harina de forraje de moringa.

Se observaron diferencias con respecto al grupo control en el consumo de alimento en los conejos que ingirieron las dietas con harina de forraje de moringa. Estos resultados se corresponden con el alto contenido de fibra indigestible presente en las dietas con harina de forraje de moringa (tabla 2). Lara *et al.* (2012) aseveraron que en el consumo de alimento influye el nivel y tipo de fibra de la dieta. Blas *et al.* (1999) refirieron que el tiempo de retención de la digesta en el ciego puede aumentar cuando existe elevado aporte de fibra menos digestible en la dieta, y de manera concomitante puede disminuir el consumo de alimento. Gidenne (2000) explicó que cuando el contenido de fibra detergente ácido es mayor o igual a 250 g/kg MS, los animales no consumen la cantidad suficiente de alimento para cubrir sus necesidades energéticas.

as physical properties of cell wall components that influence on intake. The high volume (6.92 mL/g) of moringa forage meal could cause a state of physical satiety for a long time in the animal and, consequently, a reduction of the stimulus to consume food until the transit speed of digesta was reduced. (García 2006). Adeniji and Lawal (2012) observed a similar trend with the substitution of peanut (*Arachis pintoi*) cake meal for different levels of moringa foliage flour (0, 100, 200, 400, 600 and 800 g / kg).

Apparent fecal digestibility of nutrients in rabbits did not show significant differences among treatments. This could be due to the effect of accumulation of ingest in the cecum, caused by the level and characteristics of fibrous fractions present in diets. A longer retention time of digesta in this digestive segment stimulates the increase of fermentative activity (García *et al.* 1999). According to Gidenne *et al.* (2000), by increasing fiber in the diet of rabbits, its digestibility is improved by an increase of quantity and quality of cecal microbiological activity, because, in this type of forage with low maturity degree, residues of esterified xyloses with acetyl groups are not present. These esters prevent fiber degradation in forages with higher maturity level due to a limitation of specificity of microbial enzymes by polysaccharides.

It is important to highlight that values of apparent fecal digestibility of CP, GE, DM and OM were above 60%. Abu Hafsa *et al.* (2016) reported lower rates of apparent fecal digestibility (except for the ADF and GE) with the inclusion of 150 g/kg of three tree foliage (*Acacia saligna*, *Leucaena leucocephala* and *Moringa oleifera*) in diets for rabbits. In contrast, Caro *et al.* (2018) indicated superior values with the inclusion of moringa cv. supergenius (0, 150 and 300 g/kg) in diets for rabbits.

Studies carried out with other forage sources showed inferior values with the inclusion of 300 g/kg of foliage of mulberry, leucaena, naranjillo and forage peanuts (*M. alba*, *L. leucocephala*, *Trichanthera gigantea* and *A. pintoi*, respectively) in granulated diets for fattening rabbits (Nieves *et al.* 2011). Variations in the results are due to factors related to fibrous material used (genotype, phenological state, frequency and age of cut, drying method, presentation method and some others), and other factors inherent to the animal.

Digestible energy content in rabbits did not differ among treatments (table 4). In contrast, digestible protein decreased ($P < 0.001$) in the animals that consumed the diets with moringa forage flour. The group that ingested the diet with 300 g/kg of moringa forage meal increased the DP contribution by 18.95, 25.81 y 31.54 g/kg DM with respect to the treatments with 100 and 200 g/kg of moringa forage meal in the diet. This effect was determined by the reduction of crude protein content in diets with moringa forage meal (100 and 200 g/kg, respectively). Villamide *et al.* (2010) stated

Pinheiro *et al.* (2018) sugirieron que existen otros factores, como las propiedades físicas de los componentes de la pared celular, que influyen en el consumo. El volumen elevado (6.92 mL/g) de la harina de forraje de moringa pudo provocar estado de saciedad física durante un tiempo prolongado en el animal y, por consiguiente, la disminución del estímulo de consumir alimento hasta reducir la velocidad de tránsito de la digesta (García 2006). Adeniji y Lawal (2012) observaron una tendencia similar con la sustitución de la harina de torta de maní (*Arachis pintoi*) por diferentes niveles de harina de follaje de moringa (0, 100, 200, 400, 600 y 800 g/kg).

La digestibilidad fecal aparente de los nutrientes en los conejos no mostró diferencias significativas entre los tratamientos. Esto pudo estar dado por el efecto de acumulación de ingesta en el ciego, causado por el nivel y las características de las fracciones fibrosas presentes en las dietas. Un mayor tiempo de retención de la digesta en este segmento digestivo estimula el incremento en la actividad fermentativa (García *et al.* 1999). Según Gidenne *et al.* (2000), al incrementar la fibra en la dieta de especie cunícola se mejora su digestibilidad por un aumento en cantidad y calidad de la actividad microbiológica cecal, debido a que en este tipo de forraje con bajo grado de madurez no están presentes los residuos de xilas esterificados con grupos acetilos. Estos ésteres impiden la degradación de la fibra en forrajes con mayor grado de madurez a causa de una limitación de la especificidad de enzimas microbianas por los polisacáridos.

Es importante destacar que los valores de la digestibilidad fecal aparente de la PB, EB, MS y MO estuvieron por encima de 60%. Abu Hafsa *et al.* (2016) informaron índices inferiores de digestibilidad fecal aparente (excepto para la FDA y EB) con la inclusión de 150 g/kg de tres follajes arbóreos (*Acacia saligna*, *Leucaena leucocephala* y *Moringa oleifera*) en dietas para conejos. En cambio, Caro *et al.* (2018) señalaron valores superiores con la inclusión de la harina de forraje de moringa var. supergenius (0, 150 y 300 g/kg) en dietas destinadas a conejos.

Estudios realizados con otras fuentes forrajeras dejaron ver valores inferiores con la inclusión de 300 g/kg de follaje de morera, leucaena, naranjillo y maní forrajero (*M. alba*, *L. leucocephala*, *Trichanthera gigantea* y *A. pintoi*, respectivamente) en dietas granuladas para conejos de engorde (Nieves *et al.* 2011). Las variaciones en los resultados se deben a factores relacionados con el material fibroso empleado (genotipo, estado fenológico, frecuencia y edad de corte, método de secado, forma de presentación, entre otros), y a otros inherentes al animal.

El contenido de energía digestible en los conejos no difirió entre tratamientos (tabla 4). En cambio, la proteína digestible disminuyó ($P < 0.001$) en los animales que consumieron las dietas con harina de forraje de moringa. El grupo que ingirió la dieta con 300 g/kg de harina de forraje de moringa incrementó el aporte de PD en 18.95, 25.81 y 31.54 g/kg DM con respecto a los tratamientos con 100 y 200 g/kg de harina de forraje de moringa en la dieta. Este efecto estuvo determinado por la reducción en el contenido de proteína bruta en las dietas con harina de forraje de moringa (100 y 200 g/kg, respectivamente). Villamide *et al.* (2010) afirmaron que

that the nutritional value of a protein is determined not only by its amino acid composition, but also by its digestibility or proportion of ingested protein that is digested in the intestine. However, values obtained are higher than DP requirements proposed by Xiccato and Trocino (2010) for this animal category (105-110 g/kg DM).

el valor nutricional de una proteína está determinado no solo por su composición aminoacídica, sino por su digestibilidad o proporción de proteína ingerida que se digiere en el intestino. Sin embargo, los valores obtenidos son superiores a los requerimientos de PD propuestos por Xiccato y Trocino (2010) para esta categoría animal (105-110 g/kg MS).

Table 4. Content of digestible nutrients in diets with different inclusion levels of moringa forage meal

	Moringa forage meal, g/kg diet				SE ±	P-value
	0	100	200	300		
Digestible nutrients						
DE ¹ , MJ/kg DM	12.66	12.03	11.92	11.66	0.28	0.0984
DP ² , g/kg DM	172.45 ^a	122.71 ^c	124.66 ^c	138.91 ^b	2.59	< 0.001
DP:DE ³ , g/MJ	12.58 ^c	11.66 ^b	11.23 ^{ab}	10.98 ^a	0.19	< 0.001

^{abc} Means with different letters in the same line indicate significant differences for P<0.05

¹Digestible energy

²Digestible protein

³Relation digestible protein : digestible energy

There is little research reporting on the content of digestible nutrients from alternative fiber sources used in rabbit feeding. Nieves (2009) reported 9.72 MJ/kg DM of DE and 139 g/kg DM of DP for diets containing 300 g/kg of mulberry foliage. Meanwhile, in diets with tithonia (*Tithonia diversifolia*) foliage, digestible energy and protein values were 8.96 MJ/kg and 109 g/kg, respectively (Nieves *et al.* 2011). The evident variability can be attributed to the experimental procedure (determination method, inclusion levels of plant material, age of animals and laboratory measurements) and to the chemical composition of studied forage material, among other possible causes. Raharjo (1987) established a range for DE, which varies between 9.12-12.15 MJ/kg DM., in diets for rabbits fed tropical forages.

The relation between digestible protein content and digestible energy was reduced (P<0.001) in the rabbits that consumed diets with moringa forage meal, being lower in the group that consumed the diet with 300 g/kg. de Blas and Mateos (2010), indicated that optimal relation should range between 10.5-11.0 g/MJ. In the animal, effects for values higher than this relationship are not established (Hernández and Dalle Zotte 2010). However, de Blas *et al.* (1981) and Fraga *et al.* (1983) reported the reduction of body fat deposition and negative effect of the productive performance when DP:DE was higher than 12 g/MJ. Gidenne *et al.* (2015) recommended a wider range of 9.8-11.3g/MJ for 7-11 week-old rabbits.

Results demonstrated the nutritional potential of moringa forage meal, when it is used up to 30% in rabbit feeding.

Acknowledgements

Thanks to the Federal Rural University of Pernambuco for providing the animals and their facilities for the

Existen pocas investigaciones que informen acerca del contenido de nutrientes digestibles de fuentes fibrosas alternativas utilizadas en la alimentación de conejos. Nieves (2009) refirió 9.72 MJ/kg MS de DE y 139 g/kg MS de PD para dietas que contenían 300 g/kg de follaje de morera. Mientras, en dietas con follaje de tithonia (*Tithonia diversifolia*), los valores de energía y proteína digestibles fueron 8.96 MJ/kg and 109 g/kg, respectivamente (Nieves *et al.* 2011). La variabilidad que se evidencia se puede atribuir al procedimiento experimental (método de determinación, niveles de inclusión del material vegetal, edad de los animales, mediciones de laboratorio) y a la composición química del material forrajero estudiado, entre otras posibles causas. Raharjo (1987) estableció un rango para la ED, el cual varía entre 9.12-12.15 MJ/kg MS, en dietas para conejos alimentados forrajes tropicales.

La relación entre el contenido de proteína digestible y energía digestible se redujo (P<0,001) en los conejos que consumieron las dietas con harina de forraje de moringa, siendo menor en el grupo que consumió la dieta con 300 g/kg. de Blas y Mateos (2010), señalaron que la relación óptima debe oscilar entre 10,5-11,0 g/MJ. En el animal no están establecidos los efectos para valores superiores a esta relación (Hernández y Dalle Zotte 2010). Sin embargo, de Blas *et al.* (1981) y Fraga *et al.* (1983) reportaron la reducción en la deposición de grasa corporal y afectación del comportamiento productivo cuando la PD:ED fue mayor que 12 g/MJ. Gidenne *et al.* (2015) recomendaron un rango más amplio 9,8-11,3 g/MJ para conejos de 7-11 semanas de edad.

Los resultados demostraron el potencial nutritivo de la harina de forraje de moringa, cuando se utiliza hasta 30 % en la alimentación cunícula.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Federal Rural de Pernambuco por proveer los animales y facilitar sus

development of this research. Thanks also to CAPES for awarding the research grant. instalaciones para el desarrollo de la investigación. A CAPES por la concesión de la beca investigativa.

References

- Abu-Hafsa, S.H., Salem, A.Z., Hassan A.A., Kholif, A.E., Elghandour, M.M., Barbabosa, A. & Lopez, S. 2016. "Digestion, growth performance and caecal fermentation in growing rabbits fed diets containing foliage of browse trees". *World Rabbit Science*, 24(4): 283-293, ISSN: 1257-5011, DOI: <https://doi.org/10.4995/wrs.2016.4359>.
- Adeniji, A.A. & Lawal, M. 2012. "Effects of replacing groundnut cake with *Moringa oleifera* leaf meal in the diets of grower rabbits". *International Journal of Molecular Veterinary Research*, 2(3): 8-13, ISSN: 1927-5331, DOI: <http://dx.doi.org/10.5376/ijmvr.2012.02.0003>.
- Al-Sagheer, A.A., Abd El-Hack, M.E., Alagawany, M., Naiel, M.A., Mahgoub, S.A., Badr, M.M., Hussein, E.O., Alowaimer, A.N. & Swelum, A.A. 2019. "Paulownia leaves as a new feed resource: chemical composition and effects on growth, carcasses, digestibility, blood biochemistry, and intestinal bacterial populations of growing rabbits". *Animals*, 9(95): 1-13, ISSN: 2076-2615, DOI: <https://doi.org/10.3390/ani9030095>.
- Caro, Y., Bustamante, D., Dihigo, L.E. & Ly, J. 2018. "Apparent digestibility of nutrients from diets containing *Moringa oleifera* forage for growing rabbits". *Livestock Research for Rural Development*, 30(1), ISSN: 0121-3784, Available: <<http://www.lrrd.org/lrrd30/1/ycar30001.html>>.
- de Blas, J., García, J. & Carabaño, R. 1999. Role of fibre in the rabbit diets. A review. *Ann Zootech.* 48: 3-13.
- de Blas, C. & Mateos, G. 2010. Feed Formulation. In: Nutrition of the Rabbit. 2nd Ed. de Blas, C. & Wiseman, J. (eds.). Ed. CABI Publishing, Wallingford, UK, p. 222-232, ISBN: 9781845936693, DOI: <https://doi.org/10.1079/9781845936693.0222>.
- de Blas, C., Pérez, E., Fraga, M.J., Rodríguez, M. & Gálvez, J. 1981. Effect of diet on feed intake and growth of rabbits from weaning to slaughter at different ages and weights. *Journal of Animal Science*. 52(6): 1225-1232. <https://doi.org/10.2527/jas1981.5261225x> ISSN: 1525-3163
- Duncan, D.B. 1955. "Multiple Range and Multiple F Tests". *Biometrics*, 11(1): 1-42, ISSN: 0006-341X, DOI: <https://doi.org/10.2307/3001478>.
- Ferreira, F.N.A. 2014. Avaliação nutricional do bagaço de cana-de-açúcar triturado enriquecido com vinhaça em dietas para coelhos em crescimento. MSc. Thesis. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, p. 84.
- Ferreira, F.N.A., Ferreira, W.M., Inácio D.F.S., Silva Neta, C.S., Mota, K.C.N., da Costa Júnior, M.B., da Rocha LF & Caicedo, W.O. 2019. "In vitro digestion and fermentation characteristics of tropical ingredients, co-products and by-products with potential use in diets for rabbits". *Animal Feed Science and Technology*, 252: 1-10, ISSN: 0377-8401, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.03.011>.
- Fraga, M.J., de Blas, C., Pérez, E., Rodríguez, J.M., Pérez, C. & Gálvez, J. 1983. Effects of diet on chemical composition of rabbits slaughtered at fixed body weights. *Journal of Animal Science*. 56(5): 1097-1104. <https://doi.org/10.2527/jas1983.5651097x> ISSN: 1525-3163.
- García, A.M. 2006. Evaluación de forrajes tropicales en dietas para conejos de engorde. MSc. Thesis. Recinto Universitario de Mayagüez, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico, p. 89.
- García, J., Carabaño, R. & de Blas, J.C. 1999. "Effect of fiber source on cell wall digestibility and rate of passage in rabbits". *Journal of Animal Science*, 77(4): 898-905, ISSN: 0021-8812, DOI: <https://doi.org/10.2527/1999.774898x>.
- Gidenne, T. 2000. "Recent advances in rabbit nutrition: Emphasis on fibre requirements. A review". *World Rabbit Science*, 8(1): 23-32, ISSN: 1257-5011, DOI: <https://doi.org/10.4995/wrs.2000.414>.
- Gidenne, T., Garreau, H., Drouilhet, L., Aubert, C. & Maertens, L. 2017. "Improving feed efficiency in rabbit production, a review on nutritional, technico-economical, genetic and environmental aspects". *Animal Feed Science and Technology*, 225: 109-122, ISSN: 0377-8401, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.01.016>.
- Gidenne, T., Lebas, F., Savietto, D., Dorchies, P., Duperray, J., Davoust, C. & Fortun-lamothe, L., 2015. Nutrition et alimentation. In: Le lapin: de la biologie à l'élevage. Gidenne, T. (ed.). Éditions Quae. 137-182. ISBN: 978-2-7592-2417-3.
- Gidenne, T., Pinhero, A., Falcao, L. & Cunha, C. 2000. "A comprehensive approach of the rabbit digestion: consequences of a reduction in dietary fibre supply". *Livestock Production Science*, 64(2-3): 225-237, ISSN: 0301-6226, DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00141-4](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00141-4).
- Hernández, P. & Dalle-Zotte, A. 2010. Influence of diet on rabbit meat quality. In: Nutrition of the Rabbit. 2nd Ed. de Blas, C. & Wiseman, J. (eds.). Ed. CABI Publishing, Wallingford, UK, p. 163-178, ISBN: 9781845936693, DOI: <https://doi.org/10.1079/9781845936693.0163>.
- Lara, P.E., Itzá, M.F., Sanginés, J.R. & Magaña, M.A. 2012. "Morus alba o Hibiscus rosa-sinensis como sustituto parcial de soya en dietas integrales para conejos". *Avances en Investigación Agropecuaria*, 16(3): 9-19, ISSN: 0188-7890.
- López, S., Guevara, H., Duchi, N. & Moreno, G. 2018. "Evaluation of two in vitro digestibility tests with the in vivo test of alfalfa (*Medicago sativa*) in guinea pig (*Cavia porcellus*) feeding". *European Scientific Journal*, 14(6): 399-404, ISSN: 1857-7431, DOI: <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n6p399>.
- Míreles, S., Moreno, E., Samkol, P., Caro, Y & Ly, J. 2017. "Cut age and N balance in pigs fed with *Moringa oleifera* foliage meal". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51(2):191-196, ISSN: 2079-3480.
- Nieves, D. 2009. Forrajes promisorios para la alimentación de conejos en Venezuela. Valor nutricional. Alimentación no convencional para monogástricos en el trópico. VIII Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos, La Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales "Ezequiel Zamora", p.7-20.
- Nieves, D., Terán, O., Cruz, L., Mena, M., Gutiérrez, F. & Ly, J. 2011. "Nutrients digestibility in *Tithonia diversifolia* foliage

- in fattening rabbits". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(1): 309-314, ISSN: 1870-0462.
- Osmari, M.P., Pamato, A.S.T. & Magagnin, S.F. 2019. Forrageiras como fonte de fibras na nutrição de coelhos. In: Anais do VI Seminário Nacional de Ciência e Tecnologia em Cunicultura/ II Encontro de Cunicultores de SC, 13-14 de Julho, Florianópolis. Revista Brasileira de Cunicultura, 15(1): 145-152, ISSN: 2238-4634, Available: <<http://www.rbc.acbc.org.br/artigos/anais-do-vi-seminario-nacional-de-ciencia-e-tecnologia-em-cunicultura>>.
- Pérez, J.M., Cervera, C., Falcão-e-Cunha, L., Maertens, L., Villamide, M.J. & Xiccato, G. 1995a. "European ring-test on *in vivo* determination of digestibility in rabbits: reproducibility of a reference method compared with individual laboratory procedures". *World Rabbit Science*, 3(4): 171-178, ISSN: 1257-5011, DOI: <https://doi.org/10.4995/wrs.1995.259>.
- Pérez, J.M., Lebas, F., Gidenne, T., Maertens, L., Xiccato, G., Parigi-Bini, R., Dalle-Zotte, A., Cossu, M.E., Carazzolo, A., Villamide, M.J., Carabaño, R., Fraga, M.J., Ramos, M.A., Cervera, C., Blas, E., Fernández, J., Falcão-e-Cunha, L. & Bengala Freire, J. 1995b. "European reference method for *in vivo* determination of diet digestibility in rabbits". *World Rabbit Science*, 3(1): 41-43, ISSN: 1257-5011, DOI: <https://doi.org/10.4995/wrs.1995.239>.
- Pinheiro, V., Outor-Monteiro, D., Mourão, J.L., Cone, J.W. & Lourenço, A.L. 2018. "Effects of animal type (wild vs. domestic) and diet alfalfa level on intake and digestibility of European adult rabbits (*Oryctolagus cuniculus*)". *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(1): 460-467, ISSN: 1439-0396, DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.12774>.
- R Core Team. 2017. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available: <<http://www.R-project.org/>>.
- Raharjo, Y.C. 1987. Evaluation of tropical forages and by products feeds for rabbit's production. PhD Thesis. Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA, p. 251.
- Silva, D.J. & Queiroz, A.C. 2009. Análise de alimentos: Métodos Químicos e Biológicos. 3rd Ed. Ed. Universitária Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, p. 235.
- Valdiviá, M., Martínez-Aguilar, Y., Mesa, O., Botello-León, A., Betancur, C. & Velázquez-Martí, B. 2019. "Review of *Moringa oleifera* as forage meal (leaves plus stems) intended for the feeding of non-ruminant animals". *Animal Feed Science and Technology*, 260: 114338, ISSN: 0377-8401, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2019.114338>.
- Villamide, M.J., Nicodemus, N., Fraga, M.J. & Carabaño, R. 2010. Protein digestion. In: Nutrition of the Rabbit. 2nd Ed. de Blas, C. & Wiseman, J. (eds.). Ed. CABI Publishing. Wallingford, UK, p. 39-55, ISBN: 9781845936693, DOI: <https://doi.org/10.1079/9781845936693.0039>.
- Xiccato, G. & Trocino, A. 2010. Energy and protein metabolism and requirements. In: Nutrition of the Rabbit. 2nd Ed. de Blas, C. & Wiseman, J. (eds.). Ed. CABI Publishing. Wallingford, UK, p. 83-118, ISBN: 9781845936693, DOI: <https://doi.org/10.1079/9781845936693.0083>.
- y maní forrajero (*Arachis pintoi* cv. Belmonte) en área degradada de *Brachiaria brizantha*". Revista Mexicana de Ciencias

Received: April 15, 2020

Accepted: June 18, 2020