

Evaluación del valor nutrimental de pasta de higuerilla (*Ricinus communis* L.) producida en México en la alimentación de pollos de engorda

Avaliação do valor nutricional da mamona (*Ricinus communis* L.) produzida no México na alimentação de frangos de corte

Evaluation of the nutritional value of castor oil meal (*Ricinus communis* L.) produced in Mexico in the feeding of broiler chickens

DOI: 10.34188/bjaerv7n4-151

Submetido: 01/08/2024

Aprovado: 30/09/2024

María de Lourdes Angeles

Médico Veterinario Zootecnista, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal (CENIDFyMA). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)
Ajuchitlán, Querétaro. México
E-mail: angeles.lourdes@inifap.gob.mx

Sergio Gómez Rosales

Médico Veterinario Zootecnista, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana
Maestro en Ciencias de Nutrición Animal, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México (FESC-UNAM)
Doctor en Filosofía (PhD), Departamento de Animal Science, Universidad de Nebraska (UNL).
Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal (CENIDFyMA). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)
Ajuchitlán, Querétaro. México
E-mail: gomez.sergio@inifap.gob.mx

Rafael Jiménez Ocampo

Médico Veterinario Zootecnista, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Maestro en Ciencias en Producción y Salud Animal, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Doctor en Nutrición Animal, Universidad Autónoma de Yucatán
Campo Experimental Valle de Guadiana, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)
Durango, Durango. México
E-mail: jimenez.rafael@inifap.gob.mx

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar la retención de nutrientes, contenido de energía metabolizable aparente corregida a retención cero de nitrógeno (EMAn) y la digestibilidad ileal aparente (DIA) de los aminoácidos (AA) en pollos de engorda alimentados con dietas que incluyeron niveles crecientes de pasta de higuerilla (PAH) detoxificada con un tratamiento térmico. La detoxificación de PAH se hizo calentando durante 15 min en autoclave a 121 °C, a 1 atm de presión y 30% de humedad

relativa. Se usaron 60 pollos machos Ross B308 de 35 a 49 días de edad, alojados en jaulas individuales equipadas con charola para colección de excretas. Se tuvieron cuatro niveles crecientes de PAH (0, 10, 20 y 30%) usando el método de sustitución. Se colectó las excretas durante tres días consecutivos en intervalos de 24 h. Al final, se sacrificaron los pollos y se colectó el contenido ileal. Las excretas y el contenido ileal de tres pollos se mezclaron por repetición. Se calculó el balance de materia seca (MS), cenizas, nitrógeno (N) y energía, se estimó la EMAn y se analizó la DIA de AA. Los resultados fueron sometidos a ANOVA y análisis de regresión lineal. La retención de MS, N y energía y la EMAn mostraron respuestas de tipo cuadrático ($P < 0.05$) conforme se incrementó la concentración de PAH en el alimento. En la PAH la DIA de PC, Lys, Thr, Arg e His disminuyó linealmente ($P < 0.01$) y de Ile, Val, Leu, Phe y Tyr mostró un patrón cuadrático ($P < 0.01$) conforme se incrementó el nivel de PAH. En conclusión, la EMAn de la PAH fue de 1767 kcal/kg de alimento y la DIA de AA esenciales disminuyó en la PAH conforme se incrementó el nivel de inclusión en el alimento.

RESUMO

O objetivo do estudo foi determinar a retenção de nutrientes, o conteúdo de energia metabolizável aparente corrigido para retenção zero de nitrogênio (EMAn) e a digestibilidade ileal aparente (DIA) de aminoácidos (AA) em frangos de corte alimentados com dietas que incluíam níveis crescentes de polpa de figueira desintoxicada (PAH) com tratamento térmico. A desintoxicação da PAH foi feita por aquecimento durante 15 minutos em uma autoclave a 121 °C, 1 atm de pressão e 30% de umidade relativa. Foram usados 60 frangos de corte Ross B308 machos, com 35 a 49 dias de idade, alojados em gaiolas individuais equipadas com uma bandeja de coleta de excrementos. Quatro níveis crescentes de PAH (0, 10, 20 e 30%) foram usados usando o método de substituição. As excretas foram coletadas por três dias consecutivos em intervalos de 24 horas. No final, as galinhas foram sacrificadas e o conteúdo ileal foi coletado. As excretas e o conteúdo ileal de três pintinhos foram misturados por réplica. A matéria seca (DM), as cinzas, o nitrogênio (N) e o balanço energético foram calculados, a EMAn foi estimada e o AA DIA foi analisado. Os resultados foram submetidos à ANOVA e à análise de regressão linear. A retenção de MS, N e energia e a EMAn apresentaram respostas do tipo quadrático ($P < 0,05$) à medida que a concentração de HAP na ração aumentou. No HAP, o DIA de PC, Lys, Thr, Arg e His diminuiu linearmente ($P < 0,01$) e de Ile, Val, Leu, Phe e Tyr apresentou um padrão quadrático ($P < 0,01$) à medida que o nível de HAP aumentou. Em conclusão, a EMAn da HAP foi de 1767 kcal/kg de ração e o DIA dos AA essenciais diminuiu na HAP à medida que o nível de inclusão na ração aumentou.

ABSTRACT

The objective of the study was to determine nutrient retention, apparent metabolizable energy content corrected to zero nitrogen retention (EMAn) and apparent ileal digestibility (DIA) of amino acids (AA) in broilers fed diets that included increasing levels of detoxified figwood pulp (PAH) with a heat treatment. PAH detoxification was done by heating for 15 min in autoclave at 121 °C, 1 atm pressure and 30% relative humidity. Sixty 35- to 49-day-old male Ross B308 broilers, housed in individual cages equipped with an excreta collection tray, were used. Four increasing levels of PAH (0, 10, 20 and 30%) were used using the substitution method. Excreta were collected for three consecutive days at 24-h intervals. At the end, the chicks were sacrificed and ileal contents were collected. The excreta and ileal contents of three chicks were mixed per replicate. Dry matter (DM), ash, nitrogen (N) and energy balance were calculated, EMAn was estimated and AA DIA was analyzed. The results were subjected to ANOVA and linear regression analysis. DM, N and energy retention and EMAn showed quadratic type responses ($P < 0.05$) as PAH concentration in the feed increased. In PAH the DIA of PC, Lys, Thr, Arg and His decreased linearly ($P < 0.01$) and of Ile, Val, Leu, Phe and Tyr showed a quadratic pattern ($P < 0.01$) as PAH level increased. In conclusion, the EMAn of PAH was 1767 kcal/kg feed and the DIA of essential AA decreased in PAH as the level of inclusion in the feed increased.

1 INTRODUCCIÓN

El aceite extraído de las semillas de higuierilla (*Ricinus communis*) es utilizado para producir biodiesel y lubricantes, generándose como residuo la pasta de higuierilla (PAH) (Melo et al., 2008). El aceite también tiene múltiples usos en varias industrias incluyendo la de cosméticos, productos de limpieza, pintura, farmacéutica, entre otras; en medicina veterinaria es usual su uso como agente garrapaticida, en especial, en animales fuertemente infestados por garrapatas (Esponda et al., 2021). Por cada tonelada métrica de la semilla procesada se pueden producir hasta 500 kg de PAH, debido a que el contenido de aceite en la semilla varía de 46-50 % de su peso (Menezes et al., 2016). Este residuo presenta alta concentración de proteína y energía, similar a otras pastas de oleaginosas; sin embargo, no se utiliza en la alimentación animal debido a la presencia de potentes factores antinutricionales, como la ricina, ricinina y la aglutinina-RCA. La ricina es una proteína insoluble en aceite que se encuentra sólo en el endospermo de la semilla (Severino, 2005) y tiene la habilidad de inactivar irreversiblemente los ribosomas inhibiendo la síntesis de proteínas (Endo y Tsurugi, 1988); su concentración en la PAH puede ser de hasta el 1.5 % (Ambekar y Dole, 1957). En animales se ha demostrado que la ricina ingerida se absorbe en 2 h por los vasos linfáticos y los vasos sanguíneos, acumulándose principalmente en el hígado y el bazo (Audi et al., 2005) presentándose un aumento de grasa en el hígado y hemorragias petequiales internas ampliamente distribuidas, o equimosis y enteritis catarral (EFSA, 2008) y daño renal (Akande et al., 2011). La ricinina es un alcaloide que puede tener una concentración de hasta 0.23 % (Hinkson et al., 1972), pero no ha sido reportado como amenaza para los animales. La aglutinina-RCA comparte una alta homología con la ricina, pero es mucho menos tóxica (Roberts et al., 1985). Se caracteriza por aglutinar los eritrocitos, pero no atraviesa fácilmente el intestino, por lo cual no se considera tóxica por ingestión (Helmenstin, 2015). Por tanto, la ricina es la principal preocupación cuando se utiliza la PAH en la alimentación de los animales, y los intentos para detoxificarla deben enfocarse en esta proteína.

Se han evaluado diferentes tratamientos con el objetivo de desnaturalizar el componente tóxico de la ricina, incluyendo métodos físicos: autoclave, ebullición, al vapor, horno con aire caliente, fermentación; y métodos químicos: agua de lejía, hidróxido sodio o de potasio, amonio, formaldehído, cloruro de sodio y ácido tánico, con resultados variables (Ani y Okorie, 2005, Akande et al., 2016). La ricina es termolábil y soluble en agua y es susceptible a los álcalis fuertes. Parkouda et al. (2009) registraron que es estable a 75 °C y a un pH de 4.5.

La evaluación de la eficacia de los tratamientos de detoxificación de PAH se basa en estudios de toxicidad oral y de neutralización utilizando animales de experimentación; la cual está influenciada por diferentes factores como la especie, la edad, material detoxificado y la duración de la alimentación. También a través de la cuantificación de ricina (mg/kg) o por unidad de

hemaglutinación (UH), definida como la menor cantidad de material por mL en la última dilución dando aglutinación positiva (Grant et al., 1983). En un estudio realizado por Anandan et al. (2005) demostraron que los tratamientos físicos más eficaces fueron el de autoclave (15 psi por 60 min) eliminando completamente la ricina y el de ebullición (30 o 60 min a 100 °C), obteniéndose en ambos una baja concentración de ricina; el tratamiento menos efectivo fue el de horno con aire caliente (100-120 °C por 20 min). Con base en estos resultados, en un estudio realizado en México se evaluó la efectividad de detoxificación de una PAH sometida a un tratamiento térmico, complementando con ensayos inmuno-enzimáticos, observándose la ausencia del 99.4% de compuestos tóxicos en la PAH tratada, comparada con la PH original (Jiménez et al., 2012).

El perfil nutricional de la PAH detoxificada puede estar influenciado por los métodos industriales aplicados para la extracción del aceite (mecánico o con disolventes), el nivel de descortezado de la semilla y el proceso de detoxificación. Por lo cual, la composición nutricional de la PAH presenta una amplia variación en el contenido de proteína cruda (PC = 20-36 %), extracto etéreo (EE = 2.7-18.0 %), fibra cruda (FC = 4.7-32.0 %), energía bruta (EB = 1.6-4.9 kcal/kg) (Ani y Okorie, 2009; Oso et al., 2011; Dairo et al., 2014) y energía metabolizable (EM = 1484 a 2513 kcal/kg) (Rostagno et al., 2005; Matos Júnior et al., 2011; Santos et al., 2015). En alimentación de pollos de engorda y gallinas de postura, el valor nutricional de un ingrediente depende del aporte de EM y cantidad de aminoácidos (AA) digestibles; sin embargo, en las PAH producidas en México se desconocen estos valores. Los valores de EM y AA digestibles son necesarios para formular alimentos balanceados y ofrecerlos a libre acceso para evaluar otros factores que potencialmente pueden limitar la producción como factores antinutricionales que reduzcan el consumo de alimento, o afecten negativamente los procesos de digestión, absorción y metabolismo de los nutrientes. Por lo anterior, el objetivo del estudio fue determinar la retención de nutrientes, el contenido de EM aparente corregida a retención cero de nitrógeno (EMAn) y la digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos (DIA) en pollos de engorda alimentados con dietas que incluyeron niveles crecientes de una PAH detoxificada con un tratamiento térmico.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

El grano de higuierilla usado para obtener la PAH se colectó en Oaxaca, y el aceite se extrajo en la industria Aceitera de Occidente S.A. de C.V., ubicada en Guadalajara, Jal.; la detoxificación se hizo calentando la PAH durante 15 min en autoclave a 121o C, a 1 atm de presión y 30% de humedad relativa y a través de un ensayo inmuno-enzimático se confirmó la ausencia del 99.4% de compuestos tóxicos en la PAH tratada, (Jiménez et al., 2013).

Se usaron 60 pollos machos Ross B308 de 35 a 49 días de edad, alojados en jaulas individuales en batería equipadas con comedero, bebedero y charola en la parte inferior para la colección de excretas. Los pollos fueron asignados a cuatro tratamientos de manera aleatoria consistentes en cuatro niveles crecientes de PAH (0, 10, 20 y 30%). Se usó como dieta de referencia (nivel 0 de PAH) un alimento comercial y se recurrió al método de sustitución para introducir los niveles crecientes de PAH. Se incluyó 0.3% de dióxido de titanio en las dietas, como marcador inerte, para determinar la DIA de AA. Al principio y al final se registró el peso corporal y durante los 14 días de la prueba se llevó el registro del consumo de alimento. Durante los primeros nueve días el alimento se ofreció a libre acceso. Del día 10 al 12 se ofreció una cantidad de alimento correspondiente al 90% del consumo observado durante los primeros nueve días y se ofreció en dos comidas, una por la mañana y una por la tarde para evitar desperdicio de alimento; del día 11 al 13 se realizó la colecta total de excretas. Para esto, se colocó una bolsa de plástico en la charola de colección y las excretas se colectaron cada 24 h. Después de la colecta, las excretas se pesaron y se guardaron en congelación. Posteriormente las excretas se liofilizaron y se sometieron a análisis de laboratorio. Las excretas correspondientes a tres pollos del mismo tratamiento, situados en jaulas adyacentes, se mezclaron para obtener cinco repeticiones por tratamiento.

Al finalizar la última colecta de excretas (día 13) de nuevo se ofreció las dietas a libre acceso y al día siguiente se sacrificaron todos los pollos para realizar la colecta de la digesta ileal en bolsas de plástico. La digesta ileal de tres pollos del mismo tratamiento se mezcló y al final se tuvieron cinco muestras (repeticiones) de cada tratamiento. Las muestras se congelaron inmediatamente. Después las muestras se liofilizaron, se molieron y se guardaron en botes de plástico para su análisis posterior.

En el laboratorio, en una muestra de PAH, dietas experimentales y excretas se determinó el contenido de materia seca (MS), cenizas, nitrógeno (N) y EB, siguiendo los procedimientos estandarizados. El consumo de MS durante la fase de colección se estimó multiplicando la cantidad de alimento consumido por el contenido de MS de las dietas; y el consumo de cenizas, N y EB se estimó multiplicando el consumo de MS por el contenido de cenizas, N y EB de las dietas. La excreción de MS se estimó multiplicando el peso de las excretas frescas por el contenido de MS de las excretas; y la excreción de cenizas, N y EB se estimó multiplicando la excreción de MS por el contenido de cenizas, N y EB de las excretas. La retención de MS, cenizas, N y EB se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Retención de nutrientes, \%} = ((\text{Consumo del nutriente, g} - \text{excreción del nutriente, g}) / (\text{consumo del nutriente, g})) \times 100.$$

Todos los resultados se expresan en base seca, por pollo por día.

El contenido de EMAn de las dietas se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{EMAn, kcal/kg} = (\text{Consumo de EB} - (\text{Excreción de EB} + (\text{retención de N, g} \times 8.22^*))) / \text{Consumo de MS, g.}$$

* El valor 8.22 corresponde al contenido de EB por g de N retenido.

El contenido de EMAn en la PAH se calculó por diferencia en cada dieta, y el valor final corresponde al promedio de EMAn obtenido en los niveles de 10, 20 y 30% de PAH.

En las muestras de digesta ileal se determinó el contenido de MS, N y AA, usando el procedimiento correspondiente al análisis de AA regulares, lisina (Lys), treonina (Thr), arginina (Arg), isoleucina (Ile), valina (Val), leucina (Leu), fenilalanina (Phe), tirosina (Tyr) e histidina (His), en el cual se excluye metionina (Met) y triptófano (Trp). Los AA fueron analizados usando cromatografía de líquidos de alto rendimiento (HPLC).

La digestibilidad ileal aparente (DIA) de AA en las dietas se estimó con la siguiente fórmula:

$$\text{DIA, \%} = ((\text{Contenido de titanio en la dieta, g} / \text{contenido de titanio en la digesta ileal, g}) \times (\text{contenido de AA en la dieta, g} / \text{contenido de AA en la digesta ileal, g})) \times 100.$$

La DIA de AA en la PAH se calculó por diferencia en cada dieta. El contenido de cada AA en base ileal aparente de la PAH se calculó multiplicando el contenido total de cada AA en la PAH por la DIA.

Los resultados fueron sometidos a análisis de varianza y regresión lineal. Se tuvieron cinco repeticiones por tratamiento; en cada repetición se tuvieron tres pollos del mismo tratamiento alojados en jaulas en forma adyacente en las baterías.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las concentraciones de PC y EB de la PAH evaluada fueron de 35.32% y 4690 kcal/kg, respectivamente. En otros trabajos se han observado concentraciones de PC de 20.6 a 35.75 % y de EB de 4030 a 4910 Mcal/kg (Ani y Okorie 2009; Oso et al. 2011; Faria et al. 2016), por lo que la PC y EB de la PAH usada en el presente trabajo se encuentran dentro de los valores reportados previamente.

En Tabla 1 se presenta la concentración de AA totales de la PAH y se compara con los resultados de otros estudios. Se observa que la concentración de Lys, Thr, Arg, Ile, Val y Leu se

encontraron dentro del rango, mientras que la concentración de Phe e His fue mayor a los valores reportados en estudios previos (Annongu y Joseph, 2008; Jiménez et al., 2012; Santos et al., 2015).

Tabla 1. Comparación en el contenido de proteína cruda (%) y aminoácidos totales (%) en la pasta de higuierilla.

Reference	Muestra	PC	Lys	Thr	Arg	Ile	Val	Leu	Phe	Tyr	His
Actual	PAH ^a	35.3	0.86	1.03	2.76	1.16	1.4	1.69	1.33	1.07	0.9
Santos et al. (2015)	PAH 1 ^b	32.0	0.94	0.95	3.04	1.15	1.45	1.73	1.13	-	0.59
	PAH 2	32.1	0.96	1.03	3.19	1.26	1.56	1.86	1.19	-	0.61
	PAH 3	32.7	1.00	1.03	3.31	1.26	1.59	1.88	1.20	-	0.64
	PAH 4	33.3	0.96	0.99	3.04	1.21	1.51	1.78	1.15	-	0.59
Jiménez et al. (2012)	PAH 1 ^c	27.2	0.78	0.87	2.72	1.09	1.31	1.65	1.08	-	0.58
	PAH 2	27.7	0.87	0.87	2.99	1.14	1.39	1.60	1.05	-	0.58
Annongu y Joseph (2008)	PAH 1 ^d	20.8	0.85	0.62	1.66	0.64	1.13	1.23	-	-	0.29
	PAH 2	31.1	1.39	1.21	2.91	0.50	1.53	2.66	-	-	0.58

Fuente: Elaborado por los autores (2024).

La concentración de Tyr no se había reportado anteriormente en PAH. Probablemente las diferencias en el contenido de PC, EB y AA entre la PAH usada en el presente trabajo y en los otros estudios mencionados, se deben a las diferentes variedades de higuierilla y diferentes métodos de extracción del aceite y de detoxificación de la pasta residual.

En la Tabla 2 se presenta el balance de MS, cenizas, N y energía por efecto del nivel de PAH en la dieta. La MS consumida, excretada y retenida mostró patrones de tipo cuadrático ($P < 0.05$) conforme se incrementó la concentración de PAH en el alimento. La MS consumida fue similar en los pollos que se les ofreció entre 0 a 20% de PAH pero disminuyó al 30% de PAH. La MS excretada se incrementó conforme se incrementó el nivel de PAH en la dieta; este incremento fue de menor magnitud entre los niveles de 20 y 30% de PAH; debido a lo anterior, la MS retenida disminuyó conforme se incrementó el nivel de PAH, siendo de menor magnitud entre los niveles de 20 y 30% de PAH. El menor consumo de MS en pollos que consumieron la dieta con 30% de PAH, coincide con el menor consumo de alimento reportada en gallos alimentados con niveles de 0, 5, 10 y 15% de una PAH fermentada (Oso et al., 2011), pero es contrario, al aumento en el consumo de alimento en pollos alimentados con niveles de 0, 10, 15 y 20% de una semilla de higuierilla molida y tratada con etanol (Sobayo et al., 2012). La menor retención de MS coincide con la reducción lineal de MS observada en pollos alimentados con dietas que incluyeron niveles de 0, 10, 15 y 20% de una PAH tratada con calor (Ani et al., 2013) y con la reducción lineal de la digestibilidad ileal de MS reportada en gallos alimentados con niveles de 0, 5, 10 y 15% de una PAH fermentada (Oso et al., 2011). En contraste, la digestibilidad aparente de MS no fue diferente en pollos alimentados con niveles de 0, 10, 15 y 20% de una semilla de higuierilla molida y tratada con etanol (Sobayo et al., 2012).

Las cenizas consumidas se incrementaron entre los niveles de 0 y 10% de PAH y después disminuyeron entre los niveles de 20 y 30% (Efecto cúbico, $P < 0.01$). Las cenizas excretadas fueron menores al 0% de PAH y se incrementaron entre los niveles de 10-30% (Efecto cuadrático, $P < 0.05$). Las cenizas retenidas disminuyeron entre los niveles de 0 a 20% de PAH y después se incrementaron ligeramente al nivel de 30% (Efecto cúbico, $P < 0.01$). Estos resultados coinciden con la reducción lineal de la digestibilidad ileal de cenizas en gallos alimentados con una PAH fermentada (Oso et al., 2011), y pollos de engorda alimentados con semilla de higuierilla molida tratada con etanol (Sobayo et al., 2012).

Tabla 2. Balance de materia seca, cenizas, nitrógeno y energía en pollos adicionados con diferentes niveles de pasta de higuierilla en el alimento.

Nivel de pasta de Higuierilla, %							
	0	10	20	30	Respuesta	Ecuación	R ²
Materia seca							
Consumida, g/d	160.20	160.06	161.78	153.38	Cuadrática, P < 0.05	y = - 2.066x ² + 8.4547x + 153.21	0.83
Excretada, g/d	39.27	50.53	58.32	60.03	Cuadrática, P < 0.05	y = - 2.3867x ² + 18.94x + 22.588	0.99
Retenida, %	75.62	68.44	63.91	60.94	Cuadrática, P < 0.05	y = 1.0525x ² - 10.12x + 84.633	0.99
Cenizas							
Consumida, g/d	15.99	17.88	17.01	15.51	Cúbica, P < 0.05	y = 2.1793x ³ - 14.18x ² + 20.717x + 26.036	0.99
Excretada, g/d	10.48	12.84	13.71	12.19	Cuadrática, P < 0.05	y = - 0.9691x ² + 5.4469x + 5.9577	0.99
Retenida, %	34.75	28.19	19.41	21.50	Cúbica, P < 0.05	y = 0.3529x ³ - 3.4951x ² + 9.9061x + 9.2233	0.99
Nitrógeno							
Consumido, g/d	3.82	4.66	4.87	5.09	Cuadrática, P < 0.05	y = - 0.1524x ² + 1.1643x + 2.8426	0.98
Excretado, g/d	1.52	2.16	2.69	2.94	Cuadrática, P < 0.05	y = - 0.0982x ² + 0.9708x + 0.6359	0.99

Retenido, g/d	2.31	2.50	2.18	2.15	Cuadrática, $P < 0.05$	$y = -0.0542x^2 + 0.1935x + 2.2067$	0.56
Retenido, %	60.51	53.68	44.72	42.44	Cuadrática, $P < 0.05$	$y = 1.1349x^2 - 11.991x + 71.802$	0.98
Energía							
Consumida, g/d	636.21	648.61	676.11	654.43	Cúbica, $P < 0.05$	$y = -10.715x^3 + 71.847x^2 - 128.14x + 703.22$	0.99
Excretada, g/d	120.77	159.21	193.78	206.94	Cuadrática, $P < 0.05$	$y = -6.3185x^2 + 60.901x + 65.311$	0.99
Retenida, %	81.13	75.46	71.30	68.47	Cuadrática, $P < 0.05$	$y = 0.7107x^2 - 7.7671x + 88.174$	0.99
EMAn, Kcal/kg de alimento	2810.4	2667.4	2627.2	2575.0	Cuadrática, $P < 0.05$	$y = 22.694x^2 - 188.11x + 2970.1$	0.98

Fuente: Elaborado por los autores (2024).

El N consumido, excretado y retenido mostró respuestas de tipo cuadrático ($P < 0.05$). El consumo y excreción de N fue menor al nivel de 0 y se incrementaron entre los niveles de 10-30% de PAH. El N retenido se redujo en todos los niveles de PAH, siendo esta reducción menor entre los niveles de 20-30%. Estos resultados coinciden con la reducción lineal de la retención de N en pollos alimentados con una PAH tratada (Ani et al., 2013), y reducción de la digestibilidad ileal de PC en gallos alimentados con PAH fermentada (Oso et al., 2011) y pollos de engorda alimentados con semilla de higuierilla molida tratada con etanol (Sobayo et al., 2012).

El consumo de energía se incrementó entre el 0 y 20% pero disminuyó al nivel de 30% de PAH (Efecto cúbico, $P < 0.05$). Este resultado es acorde a la reducción en el consumo de MS. La excreción de energía se incrementó conforme se incrementó el nivel de PAH, pero en los niveles de 20 y 30% el cambio fue de menor magnitud (Efecto cuadrático, $P < 0.05$). La retención de energía disminuyó conforme se incrementó el nivel de PAH, pero en los niveles de 20-30% la diferencia fue mínima (Efecto cuadrático, $P < 0.05$). La EMAn fue mayor al 0 y se redujo al nivel de 10% de PAH; entre los niveles de 10-20% la EMAn se mantuvo sin mucho cambio, y al nivel de 30% volvió

a disminuir (Efecto cuadrático, $P < 0.05$). No se encontraron resultados sobre balance de energía y EMAn reportados en trabajos previos.

El valor energético estimado de la PAH fue en promedio de 1767 kcal/kg de EMAn. La EMAn de la PAH se ha evaluado en pocos estudios, mostrando un amplio rango, lo que probablemente se debe a las diferencias en las condiciones de procesamiento a las que ha sido sometida, como la temperatura, presión y agentes químicos utilizados para la extracción de aceite, todo lo cual influye directamente en la eficiencia de la utilización de nutrientes por las aves. Matos Júnior et al. (2011) reportaron valores de 1829 a 2320 kcal de EMAn en una PAH detoxificada con óxido de calcio. Por su parte, Santos et al. (2015) obtuvieron valores desde 2344 hasta 2513 kcal de EMAn en PAH sometida a diferentes métodos de extracción de aceite y detoxificaron con 5 % de NaOH. Mientras que, en las tablas brasileñas para aves y cerdos, se reporta un valor de EM de 1484 kcal/kg para la PAH (Rostagno et al., 2017). Comparando la PAH con otras pastas de oleaginosas usadas en la alimentación de aves en México, su valor energético se encuentra por debajo del valor publicado para pasta de soya (2256-2440 kcal de EM/kg) en las Tablas Brasileñas para aves y cerdos (Rostagno et al., 2017) y por el Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos Americanos (NRC, 1994); comparada con la pasta de canola, el valor energético también está por debajo de las 2000 kcal de EM/kg reportadas por el NRC (1994), pero por arriba de las 1692 kcal de EM/kg reportadas por Rostagno et al. (2017).

En la Tabla 3 se muestra la DIA de PC y AA en las dietas experimentales. La digestibilidad de PC, Lys, Thr, Ile, Phe y Tyr disminuyó linealmente ($P < 0.01$) conforme se incrementó el nivel de PAH de 0 a 30%. La digestibilidad de Arg, Leu, e His mostró un patrón cuadrático ($P < 0.01$); mientras que la digestibilidad de Val fue similar entre los diferentes niveles de PAH.

En la Tabla 4 se presenta la DIA de PC y los AA en la PAH. La digestibilidad de PC, Lys, Thr, Arg e His disminuyó linealmente ($P < 0.01$) conforme se incrementó el nivel de PAH de 10 a 30%. La digestibilidad de Ile, Val, Leu, Phe y Tyr mostró un patrón cuadrático ($P < 0.01$) conforme se incrementó el nivel de PAH. La columna de promedios representa los coeficientes de digestibilidad ileal aparente de los AA derivados de las ecuaciones de regresión lineal o de la primera derivada, para el caso de las ecuaciones de segundo grado obtenidas.

En Tabla 5 se compara el contenido de AA totales, DIA y AA digestibles de la PAH, pasta de soya, pasta de canola y granos secos de destilería con solubles (DDGS). En la PAH el contenido total de Met se obtuvo de Jiménez et al. (2012) y el de Trp de Vilhjalmsdottir y Fisher (1971); mientras que el promedio de la DIA de los AA analizados en el presente estudio (64.0%) se usó para estimar la cantidad de Met y Trp digestibles en la PAH. El contenido de AAT, DIA y AA digestibles

de la pasta de soya, pasta de canola y DDGS se tomaron de publicaciones disponibles (Adedokun et al., 2015; NRC, 1998; Rostagno et al., 2017).

El AAT, DIA y AA digestibles de la pasta de soya (44.0% de PC) fueron mayores en todos los AA comparados con la PAH; de la misma manera, los AAT, DIA y AA digestibles en la pasta de canola fueron mayores con respecto a PAH, con excepción de Arg que mostró contenido total y digestible mayor en PAH.

Tabla 3. Coeficientes de digestibilidad ileal aparente de proteína cruda y aminoácidos en las dietas experimentales.

	Concentración de pasta de higuera, %				Respuesta	Ecuación	R ²
	0	10	20	30			
PC	77.46	76.04	74.09	71.23	Lineal, P < 0.01	$y = -0.2066x + 77.802$	0.98
Lys	85.47	83.87	81.55	77.36	Lineal, P < 0.01	$y = -0.2665x + 86.057$	0.95
Thr	73.06	71.99	70.08	67.76	Lineal, P < 0.01	$y = -0.178x + 73.393$	0.98
Arg	80.92	82.06	79.53	76.00	Cuadrática, P < 0.01	$y = -0.0117x^2 + 0.1778x + 81.049$	0.98
Ile	78.93	77.01	73.70	74.22	Cuadrática, P < 0.01	$y = 0.0061x^2 - 0.3577x + 79.195$	0.92
Val	75.08	75.79	76.60	75.95			
Leu	83.93	85.48	80.15	76.56	Cuadrática, P < 0.01	$y = -0.0015x^2 - 0.185x + 83.674$	0.95
Phe	80.79	68.68	77.27	74.60	Lineal, P < 0.01	$y = -0.2002x + 80.851$	0.99
Tyr	79.96	78.23	75.56	73.54	Lineal, P < 0.01	$y = -0.2195x + 80.114$	0.99
His	76.10	77.91	71.77	68.41	Cuadrática, P < 0.01	$y = -0.0129x^2 + 0.0959x + 76.634$	0.90

Fuente: Elaborado por los autores (2024).

Tabla 4. Coeficientes de digestibilidad ileal aparente de proteína cruda y aminoácidos en la pasta de higuierilla.

	Concentración de pasta de higuierilla, %				Respuesta	Ecuación	R ²
	10	20	30	Promedio			
PC	63.24	60.58	56.68	60.17	Lineal	$y = -3.282x + 66.73$	0.99
Lys	69.45	65.86	58.43	64.58	Cuadrática	$y = -1.9233x^2 + 2.1854x + 69.183$	0.99
Thr	62.33	58.16	55.41	58.63	Lineal	$y = -3.4626x + 65.557$	0.99
Arg	92.35	73.99	64.53	76.96	Cuadrática	$y = 4.4459x^2 - 31.693x + 119.6$	0.99
Ile	59.71	52.76	63.21	58.56	Cuadrática	$y = 8.702x^2 - 33.054x + 84.058$	0.99
Val	82.22	82.70	77.99	80.97	Cuadrática	$y = 2.5963x^2 + 8.269x + 76.55$	0.99
Leu	45.30	65.05	59.38	56.58	Cuadrática	$y = 12.709x^2 + 57.877x + 0.1323$	0.99
Phe	43.20	63.21	60.16	55.52	Cuadrática	$y = 11.531x^2 + 54.606x + 0.1255$	0.99
Tyr	62.65	57.93	58.54	59.71	Cuadrática	$y = 2.6622x^2 - 12.704x + 72.693$	0.99
His	94.24	54.46	50.48	66.39	Cuadrática	$y = 17.899x^2 - 93.475x + 169.81$	0.99

Fuente: Elaborado por los autores (2024).

Tabla 5. Contenido de AA totales (AAT), digestibilidad ileal aparente (DIA) y AA digestibles (AAD) de la pasta de higuierilla, pasta de soya, pasta de canola y granos secos de destilería con solubles (DDGS).

	Pasta de higuierilla			Pasta de soya			Pasta de canola			DDGS		
	AAT	DIA	AAD	CTAA	DIA	AAD	CTAA	DIA	AAD	CTAA	DIA	AAD
Lys	0.86	64.58	0.55	2.69	89	2.39	1.94	78	1.51	0.75	59	0.44
Thr	1.03	58.63	0.60	1.72	85	1.46	1.53	76	1.16	0.92	65	0.60
Arg	2.76	76.96	2.12	3.14	93	2.92	2.08	85	1.77	0.98	77	0.75
Ile	1.16	58.56	0.68	1.96	88	1.72	1.37	78	1.07	1.00	73	0.73
Val	1.40	80.97	1.13	2.07	86	1.78	1.76	77	1.36	1.30	67	0.87
Leu	1.69	56.58	0.96	3.39	88	2.98	2.47	81	2.00	2.20	79	1.74
Phe	1.33	55.52	0.74	2.16	88	1.90	1.44	82	1.18	1.20	79	0.95
Tyr	1.07	59.71	0.64	1.91	90	1.72	1.09	79	0.86	0.74	77	0.57
His	0.90	66.39	0.60	1.17	90	1.05	0.93	85	0.79	0.66	61	0.40
Met	0.42	64.00	0.25	0.62	90	0.56	0.71	86	0.61	0.60	87	0.52
Trp	0.31	64.00	0.19	0.74	87	0.64	0.44	74	0.33	0.19	83	0.16

Fuente: Elaborado por los autores (2024).

El contenido total, DIA y contenido digestible de Lys, Val e His fueron mayores en PAH comparados con los respectivos AA en DDGS; el contenido total y digestible de Arg, Tyr y Trp fueron mayores pero la DIA fue menor en PAH comparados con DDGS. El contenido total de Trp fue mayor y el contenido digestible de Thr fue similar en PAH con respecto a DDGS. Estos resultados indican que con respecto a DDGS la PAH tiene la ventaja de tener mayores cantidades de AA esenciales como Lys, Arg y Trp, contenido similar de Thr digestible, pero menor cantidad de Met digestible. En formulación práctica, la sustitución de PAH por DDGS podría reducir la adición de Lys, Arg y Trp de fuentes sintéticas, pero debido a que el valor energético de la PAH es inferior a DDGS, se requiere adicionar una fuente de energía extra a las dietas, a partir de cereales o grasas.

Se han reportado diferencias en el contenido de ricina entre las distintas variedades de *Ricinus communis* e incluso de una misma variedad, pero de distinta zona geográfica, por ejemplo, los cultivares mexicanos contienen casi el doble de ricina y aglutinina-RCA respecto a cultivares de otros países (Schieltz et al., 2011). Por lo que, a pesar de que el tratamiento de autoclave ha sido reportado como efectivo en eliminar la ricina de la PAH no se descarta la posibilidad de que existan concentraciones residuales de ricina, un factor inhibidor del crecimiento o incluso otras fitotoxinas que no son termolábiles (Okoye et al. 1987; Agababika et al., 2011).

A pesar de la desnaturalización de los compuestos tóxicos y alergénicos, las pastas proteicas de higuera contienen otros elementos antinutricionales sobresaliendo los taninos, oxalatos, fitina y el ácido fítico, los cuales son compuestos típicos de leguminosas como el frijol y oleaginosas que afectan negativamente la digestibilidad (Agbabiaka et al., 2011).

4 CONCLUSIONES

El valor energético de la PAH fue en promedio de 1767 kcal/kg de alimento de EMAn. La digestibilidad de PC y de AA esenciales disminuyó en los alimentos y la PAH conforme se incrementó el nivel de inclusión de PAH. Comparada con otras pastas de oleaginosas, el valor energético de la PAH es cercano al valor energético de la pasta de canola pero inferior al de la pasta de soya. En la pasta de soya y pasta de canola el contenido total, DIA y contenido digestible de AA fue mayor con respecto a PAH, con excepción de Arg que mostró valores superiores en PAH comparada con pasta de canola. El valor energético de PAH fue inferior al de DDGS, pero el contenido digestible de AA esenciales como Lys, Arg y Trp fue mayor, y el contenido de Thr digestible fue similar en PAH. En formulación práctica es factible sustituir la PAH por DDGS dependiendo de su disponibilidad y balance económico de sustituir AA sintéticos y aumentar ingredientes energéticos a los alimentos. Una probable limitación del estudio fue que solamente se

usó un método de tratamiento, por autoclave, el cual fue parcialmente efectivo en la detoxificación de la PAH. Por lo que en estudios subsecuentes se recomienda evaluar la efectividad de varios métodos de detoxificación, y recurrir a otras estrategias alimenticias para mejorar el valor nutrimental de la PAH como el uso de enzimas proteasas que ayudan a liberar mayor cantidad de AA y fitasas que ayudan a hidrolizar el ácido fítico reduciendo su efecto antinutricional.

REFERENCIAS

- Adedokun, S. A., P. Jaynes, R. L. Payne, and T. J. Applegate (2015) Standardized ileal amino acid digestibility of corn, corn distillers' dried grains with solubles, wheat middlings, and bakery by-products in broilers and laying hens. *Poult. Sci.* 94: 2480–2487.
- Agbabiaka, L.A.; B. O. Esonu; F. N. Madubuike (2011) Effect of processing on nutrients and anti-nutrients of castor oil bean (*Ricinus communis*) seeds and by-products. *Pakistan Journal of Nutrition* 10: 561-563.
- Akande, T. O.; Odunsi, A. A.; Akinfala, E. O. (2016) A review of nutritional and toxicological implications of castor bean (*Ricinus communis* L.) meal in animal feeding systems. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 100: 201-210
- Akande, T. O.; Odunsi, A. A.; Adedeji, O. S. (2011) Toxicity and nutritive assessment of castor (*Ricinus communis*) oil and processed cake in rat diet. *Asian Journal of Animal Science* 5: 330–339.
- Ambekar VR, Dole KK (1957) Detoxication of castor cake. *Indian journal of dairy* 10: 107-122 <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:89097438>
- Anandan, S., Kumar, G.K.A., Ghosh, J., Ramachandra, K.S (2005) Effect of different physical and chemical treatments on detoxification of ricin in castor cake. *Animal Feed Science and Technology* 120: 159-168.
- Ani, A.O. (2007) Effects of graded levels of dehulled and cooked castor oil bean (*Ricinus communis* L.) meal and supplementary L-lysine on performance of broiler finishers. *J. Trop. Agric. Food Environ.* 6 : 89–97.
- Ani, A. O. & Okorie, A. U. (2009). Response of broiler finishers to diets containing graded levels of processed castor oil bean (*Ricinus communis* L.) meal. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 93(2), 157–64.
- Ani, A. O.; Okorie, A. U. (2005) The effects of dehulled and cooked castor oil bean (*Ricinus communis* L.) meal on performance of broiler starters. *Nigerian Journal of Animal Production*, 32, 54–60.
- Annongu, A. A.; Joseph, J. K. (2008) Proximate analysis of castor seeds and cake. *Journal of Applied Science and Environmental Management* 12: 39–41.
- Audi J, Belson M, Patel M, Schier J, Osterloh J (2005) Ricin poisoning: a comprehensive review. *JAMA* 294: 2342-2351.
- Dairo, O.U., Iyerimah, R.B., Sobayo A.O., Aderinlewo, A.A., Adeosun, O.J., Adeleke, E.A (2014) Optimization of Inclusion Level of Castor Oil Bean Cake in Broiler Feed Using Response Surface Methodology. *British Journal of Poultry Sciences.* 3: 42-48.
- European Food Safety Authority (2008) Nitrate in vegetables-Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food chain. *EFSA J* 689: 1-79.
- Endo Y, Tsurugi K (1988) The RNA N-glycosidase activity of ricin A-chain. *Nucleic Acids Symp Ser.* 19: 139-42.

Esponda, M. M., Cruz, M. Ángel G., & Tovar, L. G. (2021) Alternativas para el manejo de la garrapata *Boophilus microplus* en el Trópico Mexicano / Alternative Strategies for Tick (*Boophilus microplus*) Management in the Mexican Tropics. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research* 4: 4424–4435. <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n3-126>

Faria F, D., Dias, A., Carneiro, W., Bueno, C., Matos Júnior, J., Veloso, A. Rodrigues, P (2016) Detoxified Castor Seed Cake for Broilers. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 18: 69–72.

Hinkson JW, Elliger CA, Fuller G (1972) The effect of ammoniation upon ricinine in castor meal. *Journal of the American Oil Chemist's Society* <https://aocs.onlinelibrary.wiley.com/journal/15589331>

Jiménez O., R.; R. Cervantes M.; J. A. Vallejo V.; R. Rosales S.; J. C. Ríos S. (2012) Perfil de aminoácidos de pastas residuales de piñón tropical (*Jatropha curcas*) e higuierilla (*Ricinus communis*). *Agrofaz* 12: 173-176.

Mariscal LG, Ávila E, Tejada HI, Cuarón IJA, Vázquez PC (1998) Tablas del contenido de aminoácidos totales y de los coeficientes de digestibilidad verdadera para aves y cerdos. INIFAP-PRODUCE. México, DF.

Matos Júnior JB, Dias AN, Bueno CFD, Rodrigues PA, Veloso ALC, Faria Filho

DE (2011) Metabolizable energy and nutrient digestibility of detoxified castor meal and castor seed cake for poultry. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40: 2439-2442.

Melo, W. C., Santos, A. S., Santa Anna, L.M. M., Pereira Jr., N (2008) Acid and enzymatic hydrolysis of the residue from Castor Bean (*Ricinus communis* L.) oil extraction for ethanol production: detoxification and biodiesel process integration. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 19: 418-425.

Menezes, D. R., Costa, R. G., de Araujo, G. G., Pereira, L. G., de Medeiros, G. R., Oliveira, J. S., Busato, K. C. (2016) Detoxified castor meal in substitution of soybean meal in sheep diet: growth performance, carcass characteristics and meat yield. *Trop Anim Health Prod*, 48: 297-302.

Nutritional Research Council (NRC) (1994) Nutrient requirement of poultry ninth ed. National Academic of Sciences. Nutritional Research Council. Washington, D. C. United States of America.

Okoye, J. O. A.; Nunwonye, C. A.; Okorie, A. U.; Anugwa, F. O. I. (1987) Pathological effects of feeding roasted castor bean (*Ricinus communis*) meal to chicks. *Avian Pathology* 16: 283–290.

Oso, A., Olayemi, W., Bamgbose, A. & Fowoyo, O (2011) Utilization of fermented castor oil seed (*ricinus communis*, L) meal in diets for cockerel chicks. *Archivos de Zootecnia*, 60(229). Universidad de Córdoba. Parkouda et al. (2009)

Roberts, L.M.; Lamb, F.I.; Pappin, D.J.; Lord, J.M (1985) The primary sequence of *Ricinus communis* agglutinin. Comparison with ricin. *J. Biol. Chem.* 260: 15682–15686

Rostagno HS, Albino LFT, Donzele JL, Gomes PC, Oliveira RF, Lopes DC, et al. (2017) Brazilian tables for poultry and pigs: food composition and nutritional

requirements. Viçosa: UFV/DZO.

Santos PA, MCMM Ludke, JV Ludke, CBV Rabello, MJB dos Santos, TR Torres (2015) Characterization and Digestibility of Detoxified Castor Oil Meal for Japanese Quails. *Revista Brasileira de Ciência Avícola* 17: 65-71.

Schieltz, D.M.; McGrath, S.C.; McWilliams, L.G.; Rees, J.; Bowen, M.D.; Kools, J.J.; Dauphin, L.A.; Gomez-Saladin, E.; Newton, B.N.; Stang, H.L.; et al. (2009) Analysis of active ricin and castor bean proteins in a ricin preparation, castor bean extract, and surface swabs from a public health investigation. *Forensic. Sci. Int.* 209: 70–79.

Severino, L. S. (2005). O que sabemos sobre a torta de mamona. (Embrapa Algodão. Documentos, 134). Consultado em <http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/publicacoes/2005/DOC134.pdf> NRC, 1994

Sobayo RA, Oso AO, Adeyemi OA, Fafiolu AO, Jegede AV, Idowu OMO, Dairo OU, Iyerimah RB, Ayoola OA, Awosanya RA (2012) Changes in growth, digestibility and gut anatomy by broilers fed diets containing ethanol treated castor oil seed (*Ricinus communis* L.) meal. *Revista Científica UDO Agrícola* 12: 660-667.

Vilhjalmsdottir L, Fisher H (1971) Castor Bean Meal as a Protein Source for Chickens: Detoxification and Determination of Limiting Amino Acids. *The Journal of Nutrition* 101: 1185-1192. <https://doi.org/10.1093/jn/101.9.1185>