

Valor nutritivo de subproductos de cártamo para cerdos en finalización

Fuente: <http://www.scielo.org.mx>

Nutritive value of safflower coproducts for finishing pigs

Gerardo Mariscal-Landín^a *

Ericka Ramírez Rodríguez^a

José Antonio Cuarón Ibarquengoytia^a

^a Centro Nacional de Investigación en Fisiología Animal - INIFAP, km 1 Carretera a Colón, Ajuchitlán Querétaro, México.

RESUMEN:

Para determinar en subproductos de cártamo la digestibilidad aparente del tracto total (DATT) de materia seca (MS), proteína cruda (PC) y energía (En); y las digestibilidades aparente ileal (DAI) y estandarizada ileal (DEI) de aminoácidos (AA), se realizaron dos experimentos. En el primero se utilizaron cinco cerdos de 50 ± 3.5 kg bajo un diseño en cuadro latino 5×5 . Se evaluaron dos subproductos de cártamo (SPC, pasta), en dos presentaciones: molida y sin moler. Se formuló una dieta testigo de caseína y cuatro experimentales de subproductos de cártamo y caseína. En el segundo se utilizaron ocho cerdos de 35.0 ± 2.5 kg canulados a nivel ileal. Se emplearon los subproductos molidos para fabricar tres dietas: una testigo de caseína y dos experimentales de subproductos de cártamo (pasta y SPC) y caseína. En el primer periodo los animales consumieron las dietas experimentales (cuatro cerdos por tratamiento); en el segundo todos consumieron la dieta testigo. Los resultados mostraron que fue mayor la DATT ($P < 0.05$) de PC de la pasta (87.4 en promedio); intermedia en el SPC sin moler (83.7) e inferior en el SPC molido (76.0). La DATT de En fue mayor ($P < 0.05$) en los SPC (64.5 en promedio) que en la Pasta (57.5 en promedio). La DAI y DEI de PC y AA de ambos subproductos fue similar ($P > 0.05$) entre ellos. Se concluye que el contenido de energía digestible de los subproductos de cártamo es bajo (1,419 a 1,738 kcal/kg) y la DEI de los AA fue similar entre ellos.

Palabras clave: Cártamo; Energía; Aminoácidos; Digestibilidad; Cerdos

ABSTRACT:

To determine the apparent total tract digestibility (ATTD) of dry matter (DM), crude protein (CP) and energy (E). And the apparent and standardized ileal digestibility (AID, SID) of amino acids (AA) in safflower coproducts, two experiments were conducted. In the first five pigs of 50 ± 3.5 kg under a latin square design 5×5 two safflower coproducts (byproduct, meal) were evaluated using two presentations each: Ground and unground. Five diets were formulated: control (casein) and four experimental (safflower coproducts and casein). In the second experiment, eight pigs of 35.0 ± 2.5 kg cannulated at the ileal level were used. The ground meals were used to fabricate three diets: a reference (casein) and two experimental (safflower coproducts and casein). In the first experimental period, the pigs consumed the experimental diets (four pigs per treatment); in the second period, all pigs consumed the reference diet. The digestibility was analyzed according to a completely randomized design. The ATTD of CP was higher ($P < 0.05$) on meal (87.4 in average); intermediate in by product unground (83.7) and lower in by product ground (76.0). The ATTD was higher ($P < 0.05$) in by product (64.5 in average) than from Meal (57.7 in

average). The AID and SID of CP and AA were similar ($P>0.05$) among coproducts. It is concluded that the SM digestible energy content is low (1.419 to 1.738 kcal/kg) and the SID of AA was similar among safflower coproducts.

Key words: Safflower meal; Energy; Amino acids; Digestibility; Pigs

INTRODUCCIÓN

El cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) es una oleaginosa que se ha usado tradicionalmente como fuente de pigmentos, aceite y proteína^{1,2}. Sin embargo, su alto contenido de fibra ha limitado su uso en aves y cerdos^{2,3}, siendo más utilizada en la alimentación de rumiantes⁴⁻⁶. El cártamo es un cultivo adaptado a condiciones áridas o semi-áridas, por lo que representa una alternativa interesante para la diversificación en áreas donde otras fuentes de aceites son limitantes⁷. Con respecto al cártamo como fuente de proteína para cerdos, no existen reportes en la literatura sobre la digestibilidad estandarizada a nivel ileal (DEI) de su proteína y aminoácidos (AA); lo que aunado a su alto contenido de fibra limita su inclusión en la formulación de raciones. La DEI es el valor de digestibilidad que se utiliza para formular dietas porque tiene la propiedad de ser aditiva⁸⁻¹⁰. Por lo anterior el objetivo del presente trabajo fue determinar la DEI de la proteína y aminoácidos de dos subproductos de cártamo, para generar los coeficientes de digestibilidad estandarizada; información necesaria que permitirá utilizar los subproductos de cártamo de manera racional en la formulación de alimentos para cerdos en crecimiento.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los dos experimentos se realizaron en la granja experimental del CENID-Fisiología, el manejo de los animales y los procedimientos experimentales respetaron en todo momento los lineamientos de la International "Guiding principles for biomedical research involving animals"¹¹, así como los de la Norma Oficial Mexicana para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio¹², como fue constatado por un Comité Interno.

Experimento 1. Digestibilidad aparente del tracto total (DATT)

Se utilizaron cinco cerdos machos castrados de la línea "Genetiporc" (Fertilis 25 x G Performance 8), alojados en corraletas individuales. Noblet y van Milgen¹³ mencionan que la ED desde un punto de vista práctico se puede determinar en cerdos de 60 kg, porque el valor obtenido se puede aplicar a los lechones y cerdos en crecimiento-finalización. Por eso el peso inicial de los cerdos utilizados fue de 50 ± 3.5 kg, ya que al momento de realizar las mediciones su peso estaría cercano a los 60 kg que es el peso recomendado por esos autores. El periodo experimental tuvo una duración de 10 días (cinco de adaptación a la dieta y cinco de colecta de excretas).

El trabajo consistió en la evaluación de dos subproductos de cártamo: una muestra cumplió con la norma oficial mexicana "NMX-Y-176-SCFI-2008. Alimentos para animales, pasta de cártamo, especificaciones de calidad: declaratoria de vigencia en el Diario Oficial de la Federación, noviembre 19, 2008" y se le denominó Pasta, y otra con

menor contenido de proteína y mayor de fracciones de fibra que se denominó Subproducto (SPC) ([Cuadro 1](#)).

Cuadro 1 Composición química porcentual de los subproductos de cártamo

Pasta Subproducto		
Materia seca	93.49	92.85
Proteína	27.97	15.41
Extracto etéreo	2.00	0.30
FDN	47.17	70.51
FDA	35.97	53.36
Energía bruta, Mcal/kg	4.4	4.3
Ácido aspártico	2.14	1.19
Ácido glutámico	3.58	2.72
Alanina	1.00	0.54
Arginina	2.09	1.11
Fenilalanina	1.00	0.52
Glicina	1.18	0.76
Histidina	0.63	0.39
Isoleucina	0.77	0.46
Leucina	1.30	0.78
Lisina	0.70	0.42
Serina	1.08	0.55
Treonina	0.74	0.35
Tirosina	0.56	0.27
Valina	0.88	0.56
Calcio	1.41	0.70
Fósforo	0.38	0.38

FDN= fibra detergente neutra; FDA= fibra detergente ácida.

Las dos muestras se seleccionaron como representativas de los dos tipos de subproductos de cártamo existentes en el mercado nacional reportados en un trabajo

previo (datos no publicados). Cada subproducto de cártamo en dos diferentes presentaciones físicas: molido (a través de una criba de 3 mm), y sin moler. Se formularon cinco dietas ([Cuadro 2](#)) las cuales aportaban 160 g PC/kg. Se elaboró una dieta testigo utilizando caseína como proteína de referencia, y las cuatro dietas experimentales con uno de los dos subproductos de cártamo en cada una de sus presentaciones (molido y sin moler) y caseína como única fuente de proteína.

Cuadro 2 Dietas del experimento de digestibilidad aparente del tracto total (%)

Subproductos de cártamo					
Ingrediente	Pasta		Subproducto		
	Caseína	Sin moler	Molido	Sin moler	Molido
Caseína	17.80	7.20	7.20	7.20	7.20
Subproductos de cártamo					
Pasta	39.75				
Pasta molida	39.75				
Subproducto	66.70				
Subproducto molido	66.70				
Almidón de maíz	62.44	38.77	38.77	17.11	17.11
Azúcar	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Fibra	9.00	3.64	3.64		
Aceite de maíz	3.00	2.88	2.88	1.23	1.23
Carbonato de calcio	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Ortofosfato	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
Sal	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Vitaminas	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Minerales	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Óxido de titanio	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Tamaño de partícula, µm:					
Media		733	571	1594	916
Desviación estándar		2.16	1.69	1.77	1.82

La primer comida del periodo experimental (comida de la mañana del día 6) se marcó con óxido férrico a razón de 3 g/kg de alimento. Las excretas marcadas mostraron el inicio del periodo de su colecta, dos veces por día. El alimento de la mañana del día 11 (sexto día del periodo experimental) se marcó con óxido férrico a razón de 3/kg de alimento y la presencia de excremento marcado indicó el final del periodo de colecta. Las muestras colectadas se conservaron a -20 °C.

Los datos de la DATT de la materia seca, proteína y energía de los subproductos de cártamo se analizaron según un diseño en cuadro latino 5 x 5¹⁴ empleando el procedimiento GLM del paquete estadísticos SAS¹⁵.

Experimento 2. Digestibilidad aparente ileal (DAI)

Se utilizaron ocho cerdos machos castrados de la línea "Genetiporc" (Fertilis 25 x G Performance 8), con un peso de 35.0 ± 2.5 kg al momento de la cirugía, a los cuales se les implantó una cánula "T" en el íleon terminal¹⁶. Después de la cirugía los cerdos se alojaron individualmente en jaulas metabólicas localizadas en un corral con temperatura controlada a 19 ± 2 °C. Se utilizaron cerdos de ese peso, ya que Messad *et al*¹⁷ mencionan que el peso de los animales afecta los coeficientes de digestibilidad ileal, siendo diferentes los coeficientes en los animales con pesos inferiores a 25 kg; no existiendo diferencias en los coeficientes de DEI determinados en animales con diferente peso pero que pertenezcan al mismo grupo (mayores de 25 kg). El periodo posoperatorio duró 21 días, durante el cual los cerdos consumieron una dieta de crecimiento con 160 g de PC/kg, proporcionada dos veces al día (0800 y 1800 h). La cantidad ofrecida se incrementó diariamente hasta que los cerdos alcanzaron su consumo previo a la cirugía. En la elaboración de las dos dietas experimentales se emplearon los mismos subproductos de cártamo (Pasta, Subproducto) previamente molidos (a través de una criba de 3 mm) y caseína; además, se preparó una dieta testigo utilizando caseína como proteína de referencia ([Cuadro 3](#)).

Cuadro 3 Dietas del experimento de digestibilidad ileal (%)

Subproductos de cártamo			
Ingrediente	Caseína Pasta		Subproducto
Caseína	19.00	13.11	14.89
Subproductos de cártamo:			
Pasta molida	20.00		
SPC molido			20.00
Almidón de maíz	61.24	56.13	54.35
Azúcar	5.00	5.00	5.00
Fibra	9.00		
Aceite de maíz	3.00	3.00	3.00

Subproductos de cártamo

Ingrediente	Caseína Pasta		Subproducto
Carbonato de calcio	0.90	0.90	0.90
Ortofosfato	0.88	0.88	0.88
Sal	0.50	0.50	0.50
Vitaminas	0.16	0.16	0.16
Minerales	0.07	0.07	0.07
Titanio	0.25	0.25	0.25
TOTAL	100.00	100.00	100.00

La digesta ileal se colectó en bolsas de plástico (11 cm de largo x 5 cm de ancho); a las bolsas se les agregaron 10 ml de una solución de HCl 0.2 M con el objeto de bloquear toda actividad bacteriana. Las bolsas se fijaron a la cánula con una liga a las 0800 h del día uno y se colectó la digesta ileal durante 12 h continuas durante los días de muestreo. Conforme se colectó la digesta ileal, ésta se transfirió a un contenedor para proceder inmediatamente a congelarla a -20 °C hasta su liofilización.

Los dos periodos tuvieron una duración de siete días (cinco de adaptación a la dieta y dos de colecta ileal). En el periodo experimental (primer periodo) los ocho cerdos se alimentaron con una de las dos dietas experimentales (cuatro cerdos por tratamiento); en el segundo periodo (no experimental, utilizado para conocer la digestibilidad de la proteína y aminoácidos de la caseína en cada cerdo), los ocho cerdos se alimentaron con la dieta testigo (dieta a base de caseína); y su digestibilidad únicamente se utilizó para estimar la DAI de los subproductos de cártamo utilizando el método de diferencia¹⁸, y posteriormente se estimó la DEI según el método propuesto por Furuya y Kaji¹⁰ empleando los valores de pérdidas endógenas reportadas por Mariscal-Landín y Reis de Souza¹⁹.

Los datos de la DAI de las dietas experimentales (caseína-Subproductos de cártamo) y la DAI y DEI de los subproductos de cártamo se analizaron de acuerdo a un diseño completamente al azar¹⁴, empleando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS¹⁵; existiendo cuatro repeticiones por dieta (tratamiento).

Alimentación

El manejo alimenticio fue similar en los dos experimentos; los cerdos se alimentaron dos veces al día (0008 y 0018 h) a razón de 2.5 veces su requerimiento de ED de mantenimiento, el cual se estimó en 460 KJ de ED/kg de PV^{0.75}²⁰, el agua se proporcionó a libertad a través de un bebedero de chupón. En ambos experimentos las vitaminas y minerales se adicionaron a las dietas para proporcionar o exceder los requerimientos recomendados por el NRC²¹, el óxido de titanio se incluyó a razón de 2.5 g/kg como marcador de digestibilidad.

Preparación de muestras y análisis químicos

Las excretas se secaron en estufa de aire forzado a 55 °C durante 48 h y las muestras de digesta ileal se liofilizaron. Posteriormente, las muestras secas de excremento y de digesta liofilizada se molieron a través de una malla de 1 mm en un molino de laboratorio (Arthur H. Thomas Co. Philadelphia, PA). Los siguientes análisis se realizaron en las dietas experimentales y en las muestras de digesta ileal y excremento: MS y PC de acuerdo a los métodos 934.01 y 976.05 del AOAC²², óxido de titanio según Myers²³. La preparación de las muestras para la determinación de AA se realizó según el método 994.12 del AOAC²², el cual consiste en hidrolizar las muestras a 110 °C durante 24 h en HCl 6M. Los análisis de AA se realizaron por medio de cromatografía en fase reversa según el método descrito por Henderson *et al*²⁴ en un HPLC de marca Hewlett Packard, modelo 1100. El tamaño de partícula en los subproductos de cártamo (molidos y sin moler) se determinó según el método reportado por Baker²⁵, empleando las mallas 4, 10, 16, 35 y 120.

Análisis de los datos

La DAI y DATT de la proteína y aminoácidos de las dietas experimentales se calcularon empleando la siguiente ecuación²⁶:

$$DAI/DATT = 1 - [(ID \times AF)/(AD \times IF)]$$

Donde DAI/DATT es la digestibilidad aparente (ileal o del tracto total) de un nutrimento en la dieta, ID es la concentración del indicador en la dieta (mg/kg de MS), AF es la concentración del nutrimento en la digesta ileal o excremento (mg/kg de MS), AD es la concentración del nutrimento en la dieta (mg/kg de MS), IF es la concentración del indicador en la digesta ileal o excremento (mg/kg de MS).

Para estimar en los subproductos de cártamo la DAI de la materia seca, proteína y aminoácidos, así como la DATT de la materia seca, proteína y energía, se empleó el método de diferencia, utilizando como ingrediente basal a la caseína, según el método propuesto por Fan y Sauer¹⁸:

$$DAI_{mp}/DATT_{mp} = [DAI_{de} - (DAI_{dt} \times Nit)]/Nie$$

$$DAI_{mp}/DATT_{mp} = DAI_{de} - DAI_{dt} \times Nit/Nie$$

Donde DAI_{mp}/DATT_{mp} es la digestibilidad (Ileal o del tracto total) aparente de un nutrimento en el ingrediente ensayo, DAI_{de} es la digestibilidad (Ileal o del tracto total) aparente de la dieta ensayo, DAI_{dt} es el coeficiente de digestibilidad (Ileal o del tracto total) aparente de la dieta basal, Nit es el nivel de contribución de un nutrimento del ingrediente testigo a la dieta ensayo (en proporción decimal), y Nie es el nivel de contribución de un nutrimento del ingrediente ensayo a la dieta ensayo (en proporción decimal).

Para estimar la digestibilidad estandarizada ileal (DEI) se utilizó la fórmula propuesta por Furuya y Kaji¹⁰:

$$DEI = DAI + (End\acute{o}geno / Consumido) \times 100$$

Donde DEI es la digestibilidad estandarizada ileal de un nutrimento, DAI es la digestibilidad aparente ileal de un nutrimento, Endógeno es la cantidad endógena

excretada del nutrimento en mg/kg de materia seca consumida (en el cálculo se utilizó el endógeno reportado por Mariscal-Landín y Reis de Souza¹⁹), Consumido es la cantidad de nutrimento consumido en miligramos por kilo de materia seca consumida.

RESULTADOS

El tamaño de partícula de los subproductos de cártamo sin moler fue de: SPC 1,594 μm ; pasta 733 μm ; de los subproductos de cártamo molidos fue: SPC 916 μm ; pasta 571 μm (Figura 1).

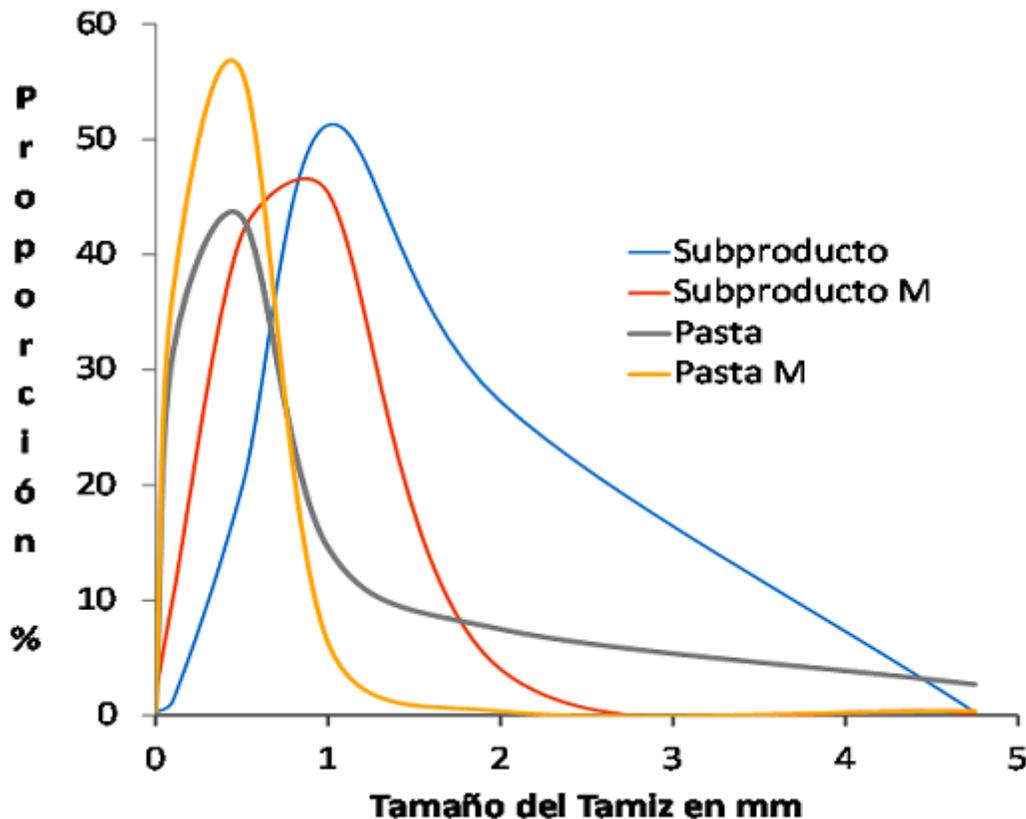


Figura 1 Porcentajes de tamaño de partículas de los subproductos de cártamo

Experimento 1. Digestibilidad del tracto total

La materia seca, proteína y energía fueron más digestibles ($P < 0.05$) en la dieta de caseína que en las dietas de subproductos de cártamo y caseína (Cuadro 4). La digestibilidad de la materia seca fue mayor ($P < 0.05$) en la dieta del SPC molido (79.8 %) que en la pasta sin moler (77.5 %); las otras dos dietas, SPC sin moler (79.0 %) y pasta molida (79.2 %) tuvieron una digestibilidad similar ($P > 0.05$) a ambas dietas. La digestibilidad de la proteína de la dieta de SPC molido (87.3 %) fue menor ($P < 0.05$) a las de las otras dietas (91.1 % en promedio). La DATT de la energía de las dietas caseína-subproductos de cártamo fue similar en todas ellas (76.7 %) e inferior ($P < 0.05$) a la de la dieta de caseína (92.2 %).

Cuadro 4 Digestibilidad aparente del tracto total. Experimento 1

Subproductos de cártamo						
	Pasta			Subproducto		
Criterio	Caseína Sin moler	Molida Sin moler	Molida Sin moler	Caseína Sin moler	Molida Sin moler	EEM
Materia seca	93.0 ^a	77.5 ^c	79.2 ^{bc}	79.0 ^{bc}	79.8 ^b	0.59
Proteína	97.5 ^a	90.8 ^b	91.5 ^b	91.1 ^b	87.3 ^c	0.48
Energía	92.2 ^a	76.7 ^b	77.7 ^b	76.3 ^b	76.2 ^b	0.62
Subproductos de cártamo						
Proteína		86.8 ^a	87.9 ^a	83.7 ^b	76.0 ^c	0.87
Energía		56.4 ^b	58.6 ^b	64.6 ^a	64.5 ^a	1.05
Energía, kcal		1419 ^b	1529 ^b	1738 ^a	1731 ^a	51

EEM= Error estándar de la media.

^{abc} Valores en la misma línea con diferente literal difieren ($P < 0.05$).

Al estimar la digestibilidad de las materias primas se observó una mayor digestibilidad ($P < 0.05$) de la proteína de pasta de cártamo (molida y sin moler, 87.9 y 86.8 % respectivamente); intermedia en el SPC sin moler (83.7 %) e inferior en el SPC molido (76.0 %). La digestibilidad de la energía fue mayor ($P < 0.05$) en el SPC molido y sin moler (64.5 y 64.6 % respectivamente) que en la pasta molida y sin moler (58.6 y 56.4 % respectivamente). Esta condición propició que el SPC tuviera en promedio 240 kcal más de energía digestible (1,734) que la pasta (1,494) ($P < 0.05$).

Experimento 2. Digestibilidad Ileal

Solo se muestran las digestibilidades de las dietas experimentales, ya que la digestibilidad de caseína solo sirvió para estimar la digestibilidad de la proteína de los subproductos de cártamo (SPC y pasta). En el [Cuadro 5](#) se observa que la dieta del SPC tuvo una mayor digestibilidad ileal ($P < 0.05$) de la materia seca, proteína, lisina, valina, fenilalanina, ácido glutámico y serina que la dieta de pasta. En los otros aminoácidos aunque no se observaron diferencias significativas entre dietas, la DAI fue numéricamente mayor en la dieta del SPC que en la dieta de pasta.

Cuadro 5 Digestibilidad aparente ileal de las dietas. Experimento 2

Subproductos de cártamo		
Ingrediente	Pasta	Subproducto
		EEM

Subproductos de cártamo

Ingrediente Pasta	Subproducto	EEM	
Materia seca	83.1 ^b	87.4 ^a	1.20
Proteína	83.2 ^b	87.7 ^a	1.27
Ácido aspártico	85.3	88.1	1.19
Ácido glutámico	89.0 ^b	92.1 ^a	0.83
Alanina	71.0	76.5	2.62
Arginina	81.5	85.1	1.97
Fenilalanina	91.7 ^b	93.0 ^a	0.64
Glicina	86.9	93.2	3.22
Histidina	90.6	92.2	0.91
Isoleucina	86.9	90.2	0.74
Leucina	91.7	93.1	0.61
Lisina	91.8 ^b	94.2 ^a	0.64
Serina	76.8 ^b	84.7 ^a	1.75
Tirosina	87.4	90.2	2.03
Treonina	82.7	87.0	1.61
Valina	86.2 ^b	89.7 ^a	0.78

EEM= error estándar de la media.

^{ab} Valores en la misma línea con diferente literal, difieren ($P < 0.05$).

La DAI y la DEI de la proteína y aminoácidos de los subproductos de cártamo (SPC y pasta), [Cuadro 6](#), fue similar ($P > 0.05$) entre ellos, aunque numéricamente fue mayor en el SPC. La DEI de la proteína fue de 78.6 y 92.2 % para el SPC y para la pasta respectivamente. La DEI de los aminoácidos fue de 75.3 y 81.9 para el SPC y para la pasta respectivamente.

Cuadro 6 Digestibilidad aparente y estandarizada lleal de los subproductos de cártamo

Subproductos de cártamo	
DAI	DEI

	Pasta Subproductos		Pasta Subproductos		EEM
Proteína	70.6	84.2	78.6	92.2	5.15
Ácido aspártico	77.1	81.1	81.4	86.0	4.40
Ácido glutámico	66.9	75.7	71.9	79.8	4.34
Alanina	51.0	53.8	59.1	63.3	2.47
Arginina	80.2	89.4	84.1	94.0	4.69
Fenilalanina	84.5	84.8	88.7	89.9	3.73
Glicina	80.0	89.7	86.7	96.2	4.69
Histidina	81.1	83.3	84.5	86.8	4.58
Isoleucina	63.7	70.5	73.0	80.3	5.26
Leucina	80.6	82.0	86.6	88.4	4.54
Lisina	74.3	75.3	79.2	80.4	6.49
Serina	39.5	52.5	49.1	64.3	8.47
Tirosina	45.8	50.6	54.1	61.4	9.80
Treonina	71.1	79.6	83.2	95.6	7.31
Valina	63.3	70.5	72.5	79.7	4.84

EEM= error estándar de la media.

DAI = Digestibilidad aparente a nivel ileal.

DEI = Digestibilidad estandarizada a nivel ileal.

DISCUSIÓN

La semilla de cártamo contiene entre 14 y 19 % de proteína, 27 a 35 % de aceite, 40 a 45 % de FDN, 30 a 32 % de FDA y de 30 a 34 % de FC^{27,28}, por eso al extraer el aceite queda un subproducto con un contenido de proteína que varía de 19 a 29 % de proteína, la cual se caracteriza por ser deficiente en lisina y en treonina, ya que solamente aporta alrededor del 50 % del requerimiento de lisina, y alrededor del 90 % del requerimiento de treonina de un cerdo en crecimiento-finalización. Las proteínas de reserva representan la mayor proporción de las proteínas presentes en la pasta de las semillas de oleaginosas, y son en realidad una mezcla de varios tipos de proteínas (albúminas, globulinas y glutelinas)²⁹, las cuales son solubles en agua y en alcohol, lo que favorece su digestión. Las proteínas de las semillas de oleaginosas son similares entre sí, todas están compuestas de cuatro fracciones: 2s (proteína de bajo peso molecular), 7s (proteína de peso molecular medio), 11s (proteína de alto peso

molecular) y de 15 a 18s (polímeros de proteína). La fracción 10 a 12s es la más abundante en la proteína de cártamo³⁰; tiene un alto peso molecular y se caracteriza por tener un alto contenido de amino ácidos aromáticos, ácidos y un bajo contenido de lisina. También se caracterizan por tener una baja proporción de α hélice y ser ricas en la estructura de lámina β ; y por contener carbohidratos³⁰. La presencia de láminas β y de carbohidratos ha sido asociada a una menor digestibilidad de las proteínas³¹. La digestibilidad ileal estandarizada obtenida en este trabajo es similar a la reportada por Farran *et al*³ en gallos. Es importante remarcar que no existe información de la digestibilidad estandarizada ileal de la proteína y aminoácidos de cártamo con los cuales se puedan comparar los resultados. En el único trabajo encontrado³, no se observó una mejoría de la digestibilidad verdadera de los aminoácidos al eliminar la cáscara del subproducto de cártamo, con excepción de tirosina y lisina. Esto es debido a que la cáscara de cártamo está compuesta principalmente de fibra insoluble (celulosa, y la mayoría de las hemicelulosas)³², la cual se caracteriza por tener un bajo efecto sobre la digestibilidad ileal de la proteína y aminoácidos³³⁻³⁷. También se caracteriza porque disminuye el tiempo de permanencia de la digesta a nivel del tubo digestivo posterior (ciego y colon)^{32,33}, lo que limita la fermentación de la materia orgánica por las bacterias intestinales, reduciendo la digestibilidad total de la proteína y la energía^{33,35,38}, por lo que aumenta la cantidad de bolo fecal, disminuyendo de esa manera la digestibilidad de la materia seca^{33,38}, como se observó en este trabajo.

La menor digestibilidad de la proteína del SPC molido, pudo deberse a que por la molienda varió el contenido de proteína de las diferentes fracciones. Por lo que al haber sido ofrecido el alimento en forma de harina, la proteína pudo haberse estratificado y el animal haber consumido una mayor proporción de fracciones grandes, las cuales tienen una mayor proporción de proteína ligada a la fibra como la proteína extensina³⁹⁻⁴¹; una menor digestibilidad de la proteína en las fracciones pequeñas en relación a las fracciones grandes también fue observada en la pasta de soya⁴². La digestibilidad de la proteína de los subproductos de cártamo (SPC y pasta) fue similar a la reportada para las pastas de canola y girasol^{21,43,44}, y granos secos de destilería⁴⁵; aunque la digestibilidad de la energía y el contenido de energía digestible de los subproductos de cártamo (SPC y Pasta) fue menor a la reportada para esas materias primas^{21,43,45}.

El conjunto de resultados obtenidos en el presente trabajo, permiten pensar en el uso de los subproductos de cártamo en dietas para cerdos en las últimas etapas de producción o en el pie de cría, ya que el contenido de fibra permitido en esas raciones es mayor en ese tipo de animales¹³. Actualmente, en un contexto moderno de formulación de raciones (en el que se considera la digestibilidad ileal estandarizada de los aminoácidos), los datos provistos aquí habilitan la incorporación de los subproductos de cártamo en dietas para cerdos al proporcionar los coeficientes de DEI de los aminoácidos y la DATT de la energía.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

La digestibilidad ileal de la proteína y aminoácidos de los dos subproductos de cártamo (SPC y Pasta) fue similar; los valores promedio de los coeficientes de digestibilidad estandarizada a nivel ileal de los aminoácidos fueron de 78.6, similares a otras fuentes proteicas. Sin embargo, el contenido de energía digestible de ellos fue bajo 1,419 (Pasta) y 1,738 (SPC) kcal/kg.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al INIFAP por su apoyo financiero al proyecto "Incorporación de las oleaginosas con mayor potencial en México, para la solución de una problemática fundamental en los mercados agrícola, industrial y pecuario" Proyecto SIGI Número 11311419345. Así como a la Química Jasmín Ruíz Jiménez, por los análisis de aminoácidos; a la MVZ Yamily Ramírez por los análisis de laboratorio, y a los MVZ Julio César Baltazar Vázquez y Víctor Balderrama Pérez por el cuidado de los animales.

LITERATURA CITADA

1. Bozan B, Temelli F. Chemical composition and oxidative stability of flax, safflower and poppy seed and seed oils. *Bioresour Technol* 2008;99:6354-6359. [[Links](#)]
2. Heuzé V, Tran G, Chapoutot P, Bastianelli D, Lebas F, Renaudeau D. Safflower (*Carthamus tinctorius*) seeds and oil meal. A programme by INRA, CIRAD, AFZ, FAO. 2012. [[Links](#)]
3. Farran M, Barbour G, Usayran N, Kayouli C. Metabolizable energy and amino acid digestibility of decorticated extruded safflower meal. *Poult Sci* 2010;89:1962-1966. [[Links](#)]
4. Thomas VM, Katz RJ, Auld DL, Peterson CL. Value of mechanically extracted rape and safflower oilseed meals as protein supplements for growing lambs. *Anim Feed Sci Technol* 1984;11:269-277. [[Links](#)]
5. Dschaak CM. Production performance and profiles of milk fatty acids of lactating dairy cows fed whole safflower seed containing high fat and low fiber [Master thesis]. Logan: Utah State University; 2009. [[Links](#)]
6. Alizadeh A, Alikhani M, Ghorbani G, Rahmani H, Rashidi L, Loor J. Effects of feeding roasted safflower seeds (variety IL-111) and fish oil on dry matter intake, performance and milk fatty acid profiles in dairy cattle. *J Anim Physiol Anim Nutr* 2012;96:466-473. [[Links](#)]
7. Smith JR. El cártamo. Historial, desarrollo, características, procesamiento y usos. *A&G* 2002;47:175-181. [[Links](#)]
8. Mariscal-Landín G, Reis de Souza TC, Hernández DAA, Escobar GK. Pérdidas endógenas de nitrógeno y aminoácidos en cerdos y su aplicación en la estimación de los coeficientes de digestibilidad ileal de la proteína y aminoácidos de las materias primas. *Téc Pecu Méx* 2009;47:371-388. [[Links](#)]
9. Stein HH, Pedersen C, Wirt AR, Bholke RA. Additivity of values for apparent and standardized ileal digestibility of AA in mixed diets fed to growing pigs. *J Anim Sci* 2005;83:2387-2395. [[Links](#)]

10. Furuya S, Kaji Y. Additivity of the apparent and true digestible amino acid supply in barley, maize, wheat or soya bean based diets for growing pigs. *Anim Feed Sci Technol* 1991;32:321-331. [[Links](#)]
11. CIOMS. International guiding principles for biomedical research involving animals. In: Organization WH editor. Council for International Organizations of Medical Sciences ed. Geneva; 1985. [[Links](#)]
12. Diario Oficial de la Federación. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999. Diario Oficial de la Federación 2001 (miércoles 2 de agosto). [[Links](#)]
13. Noblet J, van Milgen J. Energy value of pig feeds: effect of pig body weight and energy evaluation system. *J Anim Sci* 2004;82(E-Suppl):E229-E238. [[Links](#)]
14. Steel RGD, Torrie JH. Principles and procedures of statistics. A Biometrical approach. 2nd ed. New York: McGraw-Hill; 1980. [[Links](#)]
15. SAS version 9.2. Statistical Analysis Systems Institute User's guide. Statistical Analysis Systems Institute User's guide. 9.2 ed. Cary NC, USA: SAS Institute Inc.; 2008. [[Links](#)]
16. Reis de Souza TC, Mar BB, Mariscal LG. Canulación de cerdos posdestete para pruebas de digestibilidad ileal: Desarrollo de una metodología. *Téc Pecu Méx* 2000;38:143-150. [[Links](#)]
17. Messad F, Létourneau-Montminy MP, Charbonneau E, Sauvant D, Guay F. Prediction of standardized ileal digestibility and essential amino acid content of ingredients in swine: A meta-analysis. *Anim Feed Sci Technol* 2015;207:204-221. [[Links](#)]
18. Fan MZ, Sauer WC. Determination of apparent ileal amino acid digestibility in barley and canola meal for pigs with the direct, difference, and regression methods. *J Anim Sci* 1995;73:2364-2374. [[Links](#)]
19. Mariscal-Landín G, Reis de Souza TC. Endogenous ileal losses of nitrogen and amino acids in pigs and piglets fed graded levels of casein. *Arch Anim Nutr* 2006;60:454-466. [[Links](#)]
20. INRA. L'alimentation des animaux monogastriques: porc, lapin, volailles. Paris, France: Institut National de la Recherche Agronomique; 1984. [[Links](#)]
21. NRC. Nutrient requirements of swine. Tenth Rev ed. Washington, DC: The National Academy Press; 1998. [[Links](#)]
22. AOAC. Official methods of analysis. 17 th ed. Arlington, VA. USA: Assoc Offic Ana Chem; 2000. [[Links](#)]
23. Myers WD, Ludden PA, Nayigihugu V, Hess BW. Technical Note: A procedure for the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. *J Anim Sci* 2004;82:179-183. [[Links](#)]

24. Henderson JH, Ricker RD, Bidlingmeyer BA, Woodward C. Rapid, accurate and reproducible HPLC analysis of amino acids. Amino acid analysis using Zorbax Eclipse AAA columns and the Agilent 1100 HPLC. Agilent technologies 2000(Part No.5980-1193E):10 pag. <http://www.agilent.com/chem/supplies>. [[Links](#)]
25. Baker S, Herrman T. Evaluating particle size. Manhattan: Kansas State University; 2002. [[Links](#)]
26. Stein HH, Fuller MF, Moughan PJ, Sève B, Moshentin R, Jansman AJM, *et al.* Definition of apparent, true and standardized ileal digestibility of amino acids in pigs. *Livest Sci* 2007;109:282-285. [[Links](#)]
27. Mahdi M, Ahmad H. Nutritional evaluation of full-fat Safflower seed for broiler chickens. *Ital J Anim Sci* 2010;9:268-272. [[Links](#)]
28. Golkar P, Arzani A, Rezaei A. Genetic variation in safflower (*Carthamus tinctorious L.*) for seed quality-related traits and inter-simple sequence Repeat (ISSR) markers. *Int J Mol Sci* 2011;12:2664-2677. [[Links](#)]
29. Jahan-Mihan A, Luhovyy B, El Khoury D, Anderson G. Dietary proteins as determinants of metabolic and physiologic functions of the gastrointestinal tract. *Nutrients* 2011;3:574-603. [[Links](#)]
30. Prakash V, Rao M. Structural similarities among the high molecular weight protein fractions of oilseeds. *J Biosci* 1988;13:171-180. [[Links](#)]
31. Crevieu-Gabriel I. Digestion de protéines végétales chez les monogastriques. Exemple des protéines de pois. *INRA Prod Anim* 1999;12:147-161. [[Links](#)]
32. Le Gall M, Montagne L, Meunier-Salaün MC, Noblet J. Valeurs nutritives des fibres, conséquences sur la santé du porcelet et le bien-être de la truie. *INRA Prod Anim* 2009;22:17-24. [[Links](#)]
33. Bach Knudsen KE. The nutritional significance of "dietary fibre" analysis. *Anim Feed Sci Technol* 2001;90:3-20. [[Links](#)]
34. Li S, Sauer WC, Hardin RT. Effect of dietary fibre level on amino acid digestibility in young pigs. *Can J Anim Sci* 1994;74:327-333. [[Links](#)]
35. Dégen L, Halas B, Babinszky L. Effect of dietary fibre on protein and fat digestibility and its consequences on diet formulation for growing and fattening pigs: A review. *Acta Agric Scand Sect A. Anim Sci* 2007;57:1-9. [[Links](#)]
36. Mariscal-Landín G, Reis de Souza TC, Ramírez RE. Effects of corn gluten feed inclusion at graded levels in a corn-soybean diet on the ileal and fecal digestibility of growing pigs. *J Anim Sci Biotechnol* 2014;5:40. [[Links](#)]
37. Mariscal-Landín G, Reis de Souza TC, Bayardo UA. Neutral detergent fiber increases endogenous ileal losses but has no effect on ileal digestibility of amino acids in growing pigs. *Anim Sci J* 2017;88:322-330. [[Links](#)]

38. Souffrant WB. Effect of dietary fibre on ileal digestibility and endogenous nitrogen losses in the pig. *Anim Feed Sci Technol* 2001;90:93-102. [[Links](#)]
39. Sun T, Li S, Ren H. Profilin as a regulator of the membrane-actin cytoskeleton interface in plant cells. *Front Plant Sci* 2013;4:512. [[Links](#)]
40. Williamson MP. The structure and function of proline-rich regions in proteins. *Biochem J* 1994;297:249-260. [[Links](#)]
41. Bjerregaard C, Sørensen H, Sørensen S. Dietary fibres-important parts of high quality food and feeds. *J Anim Feed Sci* 1997;6:145-161. [[Links](#)]
42. Messerschmidt U, Eklund M, Rist VTS, Rosenfelder P, Spindler HK, Htoo JK, *et al.* Effect of particle size and heat treatment of soybean meal on standardized ileal digestibility of amino acids in growing pigs. *J Anim Sci* 2013;90(Suppl 4):119-121. [[Links](#)]
43. INRA. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. Paris, France: Institut National de la Recherche Agronomique ; 2002. [[Links](#)]
44. Mariscal LG, Ávila E, Tejada I, Cuarón IJA, Vásquez C. Tablas del contenido de aminoácidos totales y de los coeficientes de digestibilidad verdadera para aves y cerdos. Querétaro, México: INIFAP; 1997. [[Links](#)]
45. Almeida F, Htoo J, Thomson J, Stein H. Amino acid digestibility of heat damaged distillers dried grains with solubles fed to pigs. *J Anim Sci Biotechnol* 2013;4:44. [[Links](#)]