

DIGESTIBILIDAD APARENTE ILEAL Y FECAL DE AMINO ÁCIDOS DE HARINA DE SEMILLA DE ALGODÓN EN CERDOS

The Ileal and Fecal Amino Acids Digestibility of Cottonseed Meal in Pigs

Lourdes Gutiérrez-Coronado, Leticia García-Rico, Francisco Vázquez-Ortiz y Bernardino Saavedra-Insunza

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Dirección de Nutrición. Carretera a la Victoria Km. 0.6. Apartado Postal 1735 Hermosillo, Sonora, México. C.P. 83000. E-mail: lulu@cascabel.ciad.mx

RESUMEN

La determinación de la digestibilidad ileal es nutricionalmente más significativa que la fecal, porque los amino ácidos dietarios pueden sufrir cambios en su tránsito por el intestino grueso, degradándose o sintetizándose por acción de la flora microbiana. En este estudio se determinó la digestibilidad aparente ileal y fecal de aminoácidos (A.A) de harina de semilla de algodón (HSA), empleando el método del sacrificio. Se utilizó un modelo animal de seis cerdos machos castrados (Duroc-York-Landrace) de 30 kg de peso inicial, alojados individualmente en jaulas de varilla y lámina, alimentados con una dieta formulada con HSA como fuente proteica y 0,2% de óxido de cromo como marcador. La dieta se ofreció a libre voluntad por 10 días. Antes del sacrificio de los cerdos se evacuó el contenido de 20 cm de ileon y las heces se colectaron manualmente. Las muestras de ileon, heces y dieta fueron procesadas para determinar el nitrógeno por Kjeldahl, el óxido de cromo por espectroscopia de absorción atómica y A.A por cromatografía líquida. Los resultados del análisis proximal de la HSA realizado de acuerdo a la metodología del AOAC fueron (%): humedad 6,3, proteína 43,3, grasa 1,2 y cenizas, 6,8. La digestibilidad aparente ileal y fecal promedio para todos los AA fue de 60,7% (Lisina 45- Arginina 84) y de 65,7% (Treonina 51- Arginina 82) respectivamente. Los valores de digestibilidad fecal fueron más altos que los ileales para la mayoría de los A.A analizados, como lisina ($P < 0,05$); pero no siempre fueron diferentes estadísticamente como la metionina ($P > 0,05$). Lo anterior sugiere que el método fecal puede sobreestimar la digestibilidad, mientras que la digestibilidad ileal fue una mejor estimación del aporte de A.A de la HSA.

Palabras clave: Amino ácidos, digestibilidad aparente ileal-fecal, cerdos, harina de semilla de algodón.

ABSTRACT

Ileal amino acids digestibility determination is nutritionally more significant than the fecal approach, because dietary A.A could have great changes during their passing through the large intestine, which could be breakdown or synthesized by the activity of the microflora. Apparent ileal and fecal amino acids digestibility in cottonseed meal (CSM) was determined using the slaughter technique for sampling ileal digesta. A model animal of six 30 Kg bodyweight castrate male Duroc-York-Landrace pigs was utilized. The pigs were individually housed in open pens without bedding material at 25°C. Pigs were fed ad libitum for ten days with a diet containing cottonseed meal as the sole protein source and 0.2% chromic oxide as an indigestible marker. Ileal contents from the terminal 20 cm of ileum were collected after slaughter of pigs and feces were collected by hand. Ileal, fecal and diet samples were analyzed for chromium by atomic absorption and for amino acids by liquid chromatography to calculate digestibility. The cottonseed meal composition performed using AOAC methodology was in percentages: dry matter 93.7, crude protein 43.3, crude fat 1.2 and ash 6.8. The overall mean ileal and fecal digestibilities results were 60.7% (Lysine 45-Arginine 84) and 65.7% (Threonine 51-Arginine 82) respectively. Fecal digestibilities values were generally greater than the corresponding ileal values, as for lysine ($P < 0.05$). But not always were statistically different, as methionine ($P > 0.05$). The fecal method could overestimate digestibility, Whereas ileal AA digestibility was a better estimate of the AA available in the cottonseed meal.

Key words: Aminoacids, ileal and fecal digestibility, pigs, cottonseed meal.

INTRODUCCIÓN

La harina de semilla de algodón (HSA) también llamada harinolina, es un subproducto de segundo orden, ya que el al-

godón es producido principalmente para fibra, siendo el aceite extraído de la semilla el mayor subproducto [5]. Esta harina ha sido utilizada principalmente en la alimentación de bovinos, pero también es una fuente importante de proteína en las dietas para cerdos en crecimiento y finalización. La HSA es alta en fibra, baja en lisina y triptofano, así como deficiente en calcio, vitamina D y caroteno. Es rica en fósforo pero con muy baja biodisponibilidad [19]. El contenido de proteína en la HSA puede variar de 22% en harinas elaboradas con semilla sin descascarillar y 60% en semillas completamente descascarilladas. El factor limitante para su uso es un pigmento presente en la semilla conocido como gosispol, el cual es tóxico para los cerdos y no debe de ser incluido a más del 0,01% del total de la dieta [9].

El nivel máximo de inclusión de HSA en dietas para cerdo depende de la variedad, procesamiento, digestibilidad, lisina dietaria y genotipo del cerdo. Si se tiene un nivel adecuado de lisina en la dieta se puede suplementar a cerdos en crecimiento o en finalización sin afectar el desarrollo del animal [9]. Se ha reportado que hasta 75% de la pasta de soya se puede reemplazar por HSA sin afectar el desempeño de cerdos en finalización [3] como también de lechones [6]. También se han reportado efectos similares a la soya alimentando cerdas en crecimiento con HSA hasta un 15% de inclusión [18].

La digestibilidad ileal de los amino ácidos es uno de los factores más importantes para calificar la calidad de un ingrediente o de una dieta, así como la respuesta productiva de los animales [4]. Los AA dietarios pueden sufrir grandes cambios al llegar al intestino grueso por la acción de la microflora bacteriana, que degrada o sintetiza nuevos A.A, o bien fermenta los AA a amoníaco y aminas, los cuales son eliminados en la orina como urea y altera los valores obtenidos en las heces. El grado de fermentación en el intestino grueso no es constante para los diferentes ingredientes ni para todos los A.A en un mismo ingrediente; así como tampoco es constante la acción de la microflora en los AA de un mismo ingrediente. En general, ingredientes con baja digestibilidad en ileon son más fermentados en intestino grueso que ingredientes con alta digestibilidad ileal [22]. Debido a que los A.A que llegan al intestino grueso no son utilizados por el cerdo para síntesis de proteína y la acción de la microflora bacteriana difiere entre ingredientes, es preferible determinar la digestibilidad ileal como una mejor medida de la absorción de los A.A por el cerdo.

Para coleccionar la digesta ileal del intestino delgado se requieren cerdos modificados quirúrgicamente, siendo la implantación de una cánula simple en forma de T el procedimiento más utilizado [10]. No obstante, la cirugía es costosa y con dietas altas en fibra las cánulas tienden a bloquearse. Además, la cánula produce incomodidad y efectos fisiológicos adversos en el animal a medida que crece. Se ha reportado que con la técnica del sacrificio, se obtienen resultados comparables a los de cerdos canulados utilizando diversos ingredientes [10, 12]. Esta técnica interfiere mínimamente con el funcionamiento del sistema digestivo del animal, permite la colección

de digesta de diferentes partes del tracto digestivo y no tiene limitaciones en cuanto al tipo o forma de dieta ofrecida. Además, esta técnica reduce el tiempo de experimentación de los animales, es menos laboriosa y es más aceptable desde el punto de vista ético [12].

Uno de los objetivos de la producción porcina es incrementar la producción animal al menor costo, por lo que optimizar el uso de los ingredientes con los que se formulan las dietas, que llega a representar hasta un 75% de los costos de producción, puede generar importantes ganancias a los productores. Una herramienta clave es la determinación de la digestibilidad ileal de A.A, lo que parece ser la manera más apropiada de evaluar el potencial de los ingredientes, especialmente de nuevos ingredientes o alternativos, para satisfacer las especificaciones de A.A en dietas para cerdos. Lo anterior ha sido apoyado por experimentos en los que la velocidad de crecimiento ha estado más cercanamente correlacionada a la digestibilidad ileal que a la fecal [24].

El objetivo del presente estudio fue determinar la digestibilidad ileal y fecal de aminoácidos de la harina de semilla de algodón en cerdos en desarrollo y comparar ambas digestibilidades, utilizando la técnica del sacrificio para la colección de la digesta ileal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El bioensayo realizado se llevó a cabo en la Unidad Metabólica Animal del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. localizado en Hermosillo, Sonora, México, de acuerdo a los lineamientos acerca del cuidado y uso de animales de experimentación, estipulado por el Comité de Ética de la Institución. Se utilizó un modelo animal constituido por seis unidades experimentales.

Confinamiento y alimentación de animales

Se utilizaron seis cerdos machos castrados híbridos (Duroc-York-Landrace), de un peso inicial promedio de 30 kg. Los cerdos fueron confinados juntos a su llegada a la unidad metabólica animal donde permanecieron un día para su adaptación a las condiciones de confinamiento. Posteriormente se confinaron individualmente en jaulas elevadas de varilla y lámina de 50 X 90 cm, con piso de metal y sin material de cama. A los cerdos se les ofreció una dieta comercial por dos días y posteriormente se les introdujo la dieta experimental en forma gradual (50:50; 25:75; 100%) por 5 días. La dieta se formuló con HSA como única fuente de proteína, la cual se caracterizó en el laboratorio por un análisis proximal y perfil de aminoácidos, y se le añadió óxido de cromo al 0,2% como marcador no digestible (TABLA I). La dieta se ofreció por 7 días. Los cerdos se alimentaron dos veces al día con libre acceso al agua y al alimento. La temperatura ambiente se mantuvo entre 25 y 27°C y la humedad relativa en 65-70%.

TABLA I
COMPOSICIÓN DE LA DIETA EXPERIMENTAL

Ingrediente	% de inclusión
Harina de semilla de algodón	28,0
Aceite de maíz	5,0
Vitaminas y Minerales	1,5
Celulosa	3,0
Almidón de Maíz	52,26
Sacarosa	10,0
Oxido de Cromo	0,2
Sulfato Ferroso ¹	0,04

¹ = la dieta se formuló con 0,04% de sulfato ferroso para inhibir los efectos del gopisol.

Sacrificio de animales y colección de las muestras de heces y digesta ileal

Las heces se colectaron manualmente el día previo y el día del sacrificio. Los cerdos se sacrificaron bajo anestesia terminal, dos horas después de que se les ofreció el último alimento, aplicando 10 mL del analgésico acepromacina por vía intramuscular. Después de 10 a 15 min se les aplicó halotano mezclado con oxígeno al 4%. Se realizó una incisión a través de la línea media ventral y se expuso el tracto digestivo para remover los 20 cm finales del ileon, justo antes de la intersección de la válvula ileo-cecal y su contenido se evacuó utilizando agua destilada. Ambas muestras se congelaron inmediatamente a -20°C, se secaron en una estufa de convección forzada a 50°C por 48 h, se pulverizaron en un molino Cyclotec malla 100 y finalmente se almacenaron a -20°C hasta su análisis.

Análisis químicos

A la muestra del ingrediente se le realizó un análisis proximal de acuerdo a las técnicas oficiales de la AOAC [1]. A las muestras de dieta, digesta ileal y fecal se les determinó:

Oxido de Cromo por espectroscopía de absorción atómica por flama. Se pesaron 0,01 g de muestra de ileon y dieta y 0,03 g de heces, las cuales se precalcinaron en una parrilla eléctrica y se transfirieron a la mufla por 6 h a 650°C. A las cenizas resultantes se les adicionó 10 mL de HNO₃ 70% y 6 mL de peróxido de hidrógeno 30%. Se aplicó la energía de microondas (Microwave digestion system MDS-8ID; CEM Corp., Matthews, NC) en un rango del 85 al 95% a 90 psi por 58 min. A las soluciones resultantes se les determinó el contenido de cromo por Espectroscopia de Absorción Atómica por flama (Varian Spect AA-20; Varian, Victoria, Australia).

Aminoácidos por Cromatografía Líquida de Alta Resolución. Las muestras se hidrolizaron en un exceso de HCl 6N en vacío de 3 a 6 h dependiendo del contenido de proteína

y se evaporaron a sequedad a 65°C por rotavaporación. Los hidrolizados secos se llevaron a un volumen de 2 mL con buffer de citrato pH 2,2 y se añadió o-phthalaldehído (OPA) como agente derivatizante. Se utilizó un cromatógrafo de líquidos (Varian Model 9010, Varian Associates, Inc., Walnut Creek) con detector de fluorescencia a 340 y 458 nm, columna RP C-18 de 10 cm x 4,6 mm (Rainin Instrumental Co. Inc., Emeryville, CA) y como fase móvil metanol, acetato de sodio pH=2,2 y tetrahidrofurano al 1%.

Cálculo de digestibilidad

La estimación de la digestibilidad aparente ileal y fecal de A.A se calculó por el método indirecto del marcador óxido de cromo de acuerdo a la siguiente fórmula: $D = 1 - (a \times d) / (b \times c)$, donde D= digestibilidad, a= marcador en la dieta, b= nutriente (AA) en la dieta, c= marcador en digesta ileal o heces, d= nutriente (AA) en digesta ileal o heces.

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se utilizó el programa estadístico NCSS 6,0 versión 3,1 [Number Cruncher Statistical System for Windows, Kaysville, Utah]. Los resultados obtenidos se sometieron a un análisis de varianza de una vía. Los valores de las medias se sometieron a una prueba Tukey-Duncan y los valores de probabilidad (P) fueron considerados estadísticamente significativos al nivel de 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente estudio se analizó la digestibilidad ileal y fecal de la HSA, la cual es una fuente de proteína para la alimentación animal, incluyendo al cerdo. Los resultados obtenidos de la composición química (TABLA II) revelan que la HSA utilizada para formular las dietas ofrecidas a los cerdos presentó un contenido de proteína de 43,3%, similar a las harinas del estudio de Batterham y col. [2] y Tanksley y col. [21]. De los A.A esenciales, la leucina y valina fueron los que se encontraron en mayor proporción y de los no esenciales el ac. glutámico. También es una buena fuente de arginina, un aminoácido esencial para el crecimiento de cerdos jóvenes.

Los valores promedio y la desviación estándar, así como el nivel de significancia de la digestibilidad aparente ileal y fecal de amino ácidos y sus rangos de diferencias se muestran en la TABLA III. La lisina resultó ser el A.A menos digestible en el ileon (45) y la arginina y glutámico los más digestible tanto en ileon (84, 72) como en heces (82, 82), lo cual coincide con lo reportado por Tanksley y col. [21] para HSA elaborada por extracción directa con solvente o por prensado (TABLA IV). La baja digestibilidad de la lisina se puede asociar a la formación de un complejo altamente indigestible entre el grupo epsilon de la lisina y el gopisol libre o carbohidratos (reacción de Maillard) durante la aplicación de calor [20]. La treonina fue el A.A menos digestible en heces (51) y el segun-

TABLA II
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE HARINA DE SEMILLA DE ALGODÓN (%)

	Analizada	Knabe	Batterham	Prawirodigdo	Tanksley		
					Sin glándula	Solvente	Prensado
Humedad	6,3	5,6	11,5	8,9	4,3	10,7	4,5
Proteína	43,3	39,9	40,8	38,1	62,7	46,8	43,2
Grasa	1,2	4,0	1,7	-	2,04	2,97	6,5
Cenizas	6,8	5,6	6,3	-	7,63	6,81	6,6
Lisina	1,5	1,5	2,0	1,59	2,36	1,71	1,60
Metionina	0,5	0,7	0,5	-	0,84	0,67	0,61
Histidina	1,5	1,1	1,4	1,14	1,52	1,09	1,00
Fenilalanina	1,7	2,1	2,2	1,89	3,06	2,22	2,01
Tirosina	0,9	-	1,2	0,89	1,71	1,25	1,15
Treonina	1,1	1,3	1,5	1,18	1,66	1,25	1,17
Leucina	1,9	2,4	2,5	2,06	3,02	2,29	2,10
Isoleucina	1,3	1,3	1,2	1,24	1,69	1,27	1,20
Valina	1,9	1,8	1,6	0,35	3,97	2,97	2,68
Ac. Aspártico	3,1	-	4,0	3,09	5,00	3,56	3,30
Ac. Glutámico	6,7	-	8,6	6,7	11,33	7,99	7,34
Serina	1,6	-	2,1	1,57	2,22	1,63	1,51
Glicina	1,8	2,0	1,8	1,46	1,94	1,46	1,35
Alanina	1,5	-	1,7	1,38	1,91	1,45	1,35
Arginina	3,3	4,2	4,8	3,81	6,61	4,51	4,16

Knabe y col. [9], Batterham y col. [2], Prawirodigdo y col [14], Tanksley y col. [21]. - = No reportado.

do menos digestible en iléon (48). La baja digestibilidad de la treonina ha sido ya reportada [25] y puede estar relacionada a su alta concentración en las secreciones endógenas y a su baja velocidad de absorción. Para la metionina, la digestibilidad ileal y fecal fueron casi iguales, lo cual puede asociarse a una síntesis neta de este AA en el IG al transformarse la cisteína en metionina [23]. No se encontró diferencia significativa ($P > 0,05$) entre los valores de digestibilidad ileal y fecal para, treonina, leucina, metionina, isoleucina, alanina y arginina. Por lo que se podría considerar que ambas digestibilidades son iguales; sin embargo, la digestibilidad fecal tiene poca importancia nutricional ya que el nitrógeno encontrado en heces, generalmente es de origen endógeno y microbiano, y solo una pequeña proporción proviene del nitrógeno no digerido de la dieta (Low, 1978: citado por Ratcliffe, B. [15]). Mientras que histidina, fenilalanina, tirosina, valina, ac. aspártico, serina, ac. glutámico, glicina y lisina si fueron estadísticamente diferentes ($P < 0,05$). Al comparar los valores absolutos para digestibilidad ileal y fecal de amino ácidos individuales, se encontró que los valores de digestibilidad fecal fueron más altos que los ileales

para la mayoría de los amino ácidos indicando que ocurrió una degradación o desaparición neta de éstos durante su tránsito por el intestino grueso (IG). Para isoleucina, alanina, arginina y fenilalanina, la digestibilidad ileal fue mayor que la fecal indicando que ocurrió una síntesis.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que el perfil de A.A de la digesta ileal es alterado a medida que la digesta pasa a través del IG. En la TABLA III se presentan los rangos de diferencia obtenidos al restarle a la digestibilidad fecal la ileal. Los rangos de diferencia positivos, indican una desaparición neta del A.A al llegar al IG. Los rangos negativos indican que ocurrió una síntesis [8, 21]. Los rangos de diferencia positivos más altos fueron para el ac. aspártico (23), seguido por glicina (15) y lisina (12); los cuales presentaron las digestibilidades más bajas en ileon, es decir concentraciones altas de nitrógeno sin digerir. Al llegar al intestino grueso fueron convertidos a amoniaco ó aminas por reacciones de deaminación o descarboxilación, que se eliminan en forma de urea a través de la orina. Estos AA se degradaron y desaparecieron en mayor proporción al llegar al intestino grueso, por lo que sus di-

TABLA III
DIGESTIBILIDAD APARENTE ILEAL Y FECAL DE AMINOÁCIDOS DE HARINA DE SEMILLA DE ALGODÓN (%) y RANGOS DE DIFERENCIA

	Ileal \bar{X}	Fecal \bar{X}	EEM	Rango
Ac. Aspártico	50 ^a	73 ^b	1,14	+23
Glicina	54 ^a	69 ^b	1,48	+15
Lisina	45 ^a	57 ^b	1,08	+12
Ac. Glutámico	72 ^a	82 ^b	0,88	+10
Histidina	69 ^a	78 ^b	2,97	+9
Tirosina	56 ^a	64 ^b	1,52	+8
Valina	67 ^a	75 ^b	1,05	+8
Serina	59 ^a	67 ^b	1,95	+8
Treonina	48 ^a	51 ^a	1,69	+3
Leucina	62 ^a	64 ^a	1,05	+2
Metionina	54 ^a	55 ^a	2,39	+1
Isoleucina	61 ^a	59 ^a	1,49	-2
Alanina	57 ^a	55 ^a	2,40	-2
Arginina	84 ^a	82 ^a	0,97	-2
Fenilalanina	73 ^a	55 ^a	1,70	-18

EEM= Error estándar de la media. n= 6. ^{a,b} Letras distintas en una misma fila difieren significativamente, P<0,05.

gestibilidades en heces fueron más altas que las ileales [11, 15, 16]. Lo mismo sucede, aunque en menor proporción para el resto de los A.A con rangos de diferencia positivos, como ac. glutámico y serina. Esto es de particular importancia para lisina, ya que es generalmente el A.A limitante en las dietas para cerdos, cuya digestibilidad fue sobreestimada por el método fecal. En este estudio la digestibilidad ileal de lisina fue menor que la fecal, en contraste a lo reportado por Tanksley y col. [21] y Batterham y col. [2] para HSA obtenida por extracción por solvente y prensado. Coincide con los valores reportados por Paraksa [13], para harina de pescado (84,3; 87,5), harina de cacahuate (78,6; 82,8) y harina de soya (86,3; 90,1) y para HSA sin glándulas [21]. Para amino ácidos como la fenilalanina, la cual presenta el rango de diferencia negativo más alto (-18) y una alta digestibilidad ileal (73), se tiene que la digestión y absorción fue casi completa en ileon, quedando poco material nitrogenado para que pase a intestino grueso. Al existir un déficit relativo de nitrógeno (y un exceso de energía fermentable) se promueve el reciclado de nitrógeno en el intestino grueso en forma de urea y que menos nitrógeno sea absorbido en forma de amoniaco utilizándolo para la síntesis de este A.A, el cual será excretado en las heces. Esto ocasiona que su digestibilidad fecal (55) sea más baja que la ileal [8, 15, 17]. Para el caso de la arginina con la digestibilidad ileal más alta (84), se puede decir que la acción de la microflora fue más bien amortiguadora, ya que se encontró una pequeña diferencia entre digestibilidad ileal y fecal, al igual que para alanina, isoleucina y leucina [24].

Como se observa en la TABLA III, los rangos de diferencia son muy variados, la velocidad y el tipo de degradación que ocurre en el intestino grueso son altamente dependientes de la ingesta, y está especialmente relacionada con el nivel y tipo de carbohidratos presentes así como a la presencia de toxinas [24]. Se puede decir que ocurrió una desaparición neta de AA en el IG, con excepción de isoleucina, alanina, arginina y fenilalanina, los cuales fueron sintetizados como parte de la proteína bacteriana, resultados que coinciden con los reportados por Tanksley y col. [21]. El catabolismo y síntesis de A.A en el IG así como la inhabilidad del cerdo de retener el nitrógeno en el IG sugiere que la digestibilidad ileal debe de ser preferida a la fecal, ya que refleja la velocidad de recuperación de los A.A para su efectiva absorción a través de las paredes intestinales, lo cual ha sido reportado por numerosos autores [7, 16, 17]. Las subsecuentes modificaciones en el IG de los residuos nitrogenados por la microflora son consideradas de poco valor nutricional para el cerdo. Además, si los requerimientos de A.A del cerdo se satisfacen empleando valores de digestibilidad fecal, se estarían dando cantidades menores a las requeridas para alcanzar su potencial de crecimiento o se suministrarían en exceso, dependiendo de si los AA al llegar a intestino grueso se degradan o sintetizan.

En general, se obtuvo una digestibilidad aparente ileal media de amino ácidos de 60,7% y una digestibilidad aparente fecal media de 65,7%, siendo el valor fecal 8,23% más alto con respecto al ileal [24]. La digestibilidad fecal sobreestimó la digestibilidad de la mayoría de los A.A, especialmente de Ac.

TABLA IV
DIGESTIBILIDAD APARENTE ILEAL Y FECAL DE AMINOÁCIDOS DE HARINA DE SEMILLA DE ALGODÓN
ANALIZADA Y COMPARADA CON LITERATURA (%)

	Analizada		Batterham		Tanksley				Prawirodigdo		Knabe	
	Ileal		Ileal, Fecal		Sin glándula		Solvente		Prensado		Ileal	
Lisina	45,0	57,0	74,0	70,0	87,1	88,7	61,7	57,9	64,0	61,0	51,1	42,0
Metionina	54,0	55,0	79,0	68,0	82,6	85,3	64,7	64,7	66,3	66,6	-	-
Histidina	69,0	78,0	66,0	80,0	92,2	95,6	79,1	80,3	81,1	82,9	65,8	66,0
Fenilalanina	73,0	55,0	88,0	86,0	90,7	93,0	76,5	77,9	81,6	80,6	71,1	81,0
Tirosina	56,0	64,0	82,0	80,0	87,9	90,6	73,0	71,8	76,0	74,7	63,2	-
Treonina	48,0	51,0	76,0	77,0	78,5	86,6	62,0	64,0	64,9	67,2	41,7	56,0
Leucina	62,0	64,0	83,0	80,0	84,9	88,8	68,8	67,9	72,5	71,8	53,4	66,0
Isoleucina	61,0	59,0	85,0	80,0	83,6	87,7	66,2	64,9	69,7	68,8	50,4	60,0
Valina	67,0	75,0	85,0	82,0	85,0	89,9	68,3	68,4	71,2	71,7	60,2	68,0
Ac. Aspártico	50,0	73,0	82,0	83,0	87,5	92,0	74,0	75,5	74,7	78,2	61,7	-
Serina	59,0	67,0	80,0	82,0	86,5	89,6	72,2	73,7	73,7	77,1	56,4	-
Ac. Glutámico	72,0	82,0	90,0	89,0	92,2	95,8	82,3	83,9	85,3	86,9	77,3	-
Glicina	54,0	69,0	76,0	79,0	80,6	89,7	66,9	71,3	67,1	72,5	43,4	-
Alanina	57,0	55,0	75,0	72,0	80,7	86,0	62,0	61,4	65,2	65,1	49,8	-
Arginina	84,0	82,0	91,0	91,0	95,9	97,3	87,2	87,3	89,8	90,0	79,2	87,0

Batterham y col. [2], Tanksley y col [21], Prawirodigdo y col. [14], Knabe y col. [9]. - = No reportado.

aspártico, glicina, lisina, Ac. glutámico, histidina, tirosina, valina; subestimó la digestibilidad de fenilalanina y dio valores muy similares para treonina, leucina, metionina, isoleucina, alanina y arginina.

Los valores de digestibilidad fecal encontrados en este estudio fueron más bajos que los reportados por Batterham y col. [2] y Tanksley y col. [21]. Los valores de digestibilidad ileal también fueron más bajos que los reportados por los autores anteriores, pero más altos que los reportados por Prawirodigdo y col. [14] y muy similares a los reportados por Knabe y col. [9] (TABLA IV). Estas diferencias en los valores de digestibilidad ileal pueden ser un reflejo del proceso a través del cual se obtuvieron las harinas de algodón evaluadas. En el estudio de Batterham y col. [2], la HSA se obtuvo a través de un prensado parcial seguido de una extracción por solvente, Tanksley y col. [21] analizan tres HSA: sin glándulas (libre de gosipol), extracción directa con solvente y prensado. En el estudio de Knabe y col. [9], la HSA se obtuvo después de la extracción del aceite directamente con solvente. También es importante mencionar que los valores de digestibilidad ileal obtenidos en los estudios antes señalados, se determinaron empleando cerdos canulados, mientras que en este estudio se empleó la técnica del sacrificio para la colección de la digesta ileal. A pesar de que existen estudios en los que se valida que con la técnica del sacrificio se obtienen resultados similares a los de cerdos canulados, no existen reportes a este respecto en relación a la harina de semilla de algodón. Sin embargo, parece ser más contundente la influencia que tiene el procesamiento con que se obtiene la HSA en la digestibilidad ileal de los A.A.

CONCLUSIONES

Se determinó la digestibilidad aparente ileal y fecal de A.A de HSA en cerdos utilizando la técnica del sacrificio para la colección de la digesta ileal. Para la mayoría de los AA analizados, la digestibilidad fecal fue mayor que la ileal. Se obtuvo una digestibilidad aparente ileal media de amino ácidos de 60,7% y una digestibilidad aparente fecal media de 65,7%, siendo el valor fecal 8,23% más alto con respecto al ileal. La digestibilidad fecal sobreestimó la digestibilidad de la mayoría de los AA, especialmente de Ac. aspártico, glicina, lisina, Ac. glutámico, histidina, tirosina, valina; subestimó la digestibilidad de fenilalanina y dio valores muy similares para treonina, leucina, metionina, isoleucina, alanina y arginina. La baja digestibilidad ileal de la lisina reportada en este estudio coincide con reportes previos y su conocimiento es de particular importancia para la formulación más precisa de dietas para cerdo empleando la HSA como sustituto parcial de soya. La gran variabilidad en la calidad de la HSA hace necesaria su evaluación periódica. Se recomienda realizar estudios de digestibilidad ileal de HSA empleando muestras de diversos orígenes y procedencia, así como diferentes procesos de elaboración.

AGRADECIMIENTO

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento del estudio, a través del proyecto # 25741-B.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the AOAC**. 15th Edition. Arlington, Virginia . USA. 854-855pp. 1990.
- [2] BATTERHAM, E.S.; ANDERSEN, L.M.; BAIGENT, D.R.; BEECH, S.A. Utilization of ileal digestible amino acids by pigs: lysine. **Br. J. Nutr.** 64 (3): 679-690. 1990.
- [3] CERVANTES, M.; GONZÁLEZ, J.; TORRENTERA, N.; ESPINOZA, S.; CUCA, M. Evaluation of dietary level of cottonseed meal on performance and carcass traits of growing pigs. **J. Anim. Sci.** 77 (Supp 1): 283. 1999.
- [4] CERVANTES-RAMÍREZ, M.; GONZÁLEZ-VIZCARRA, V.; RODRÍGUEZ-RUBÍ, S.; GONZÁLEZ-MONREAL, J.; FLORES-AGUIRRE, L. Canulación duodenal e ileal para estudios de digestión en cerdos. **Agrociencia** 34: 135-139. 2000.
- [5] CHURCH, D.C.; POND, W.G. Applied animal nutrition. Part III. In: **Basic Animal Nutrition and Feeding**. 5th edition. Oxford Press. Portland, Oregon. 243 pp. 1978.
- [6] DOVE, C.R. Cottonseed meal for nursery pigs. University of Georgia Animal & Dairy Science. **Annual Report**. 224-231 pp. 1997.
- [7] FULLER, M.F.; WANG, T.C. Digestible ideal protein -a measure of dietary protein value. **Pig News Info**. 11(3): 353-357. 1990.
- [8] HENRY, Y. Principles of protein evaluation in pig feeding. **World Review of Animal Production** 21 (4): 48-58. 1985.
- [9] KNABE, D.A.; LA RUE, D.C.; GREGG, E.J.; MARTÍNEZ, G.M.; TANKSLEY JR, T.D. Apparent digestibility of nitrogen and amino acids in protein feedstuffs by growing pigs. **J. Anim. Sci.** 67:441-458. 1989.
- [10] KOHLER, T.; HUISMAN, J.; DEN HARTOG, L.A.; MOSENTHIN, R.A. A comparison of different digest collection methods to determine the apparent digestibilities of the nutrients at the terminal ileum in pigs. **J. Sci. Food Agric**: 297-303. 1990.
- [11] MASON, V.C. Metabolism of nitrogenous compounds in the large gut. **Proc. Nutr. Soc.** 43: 45-54. 1984.
- [12] MOUGHAN, P.J.; SMITH, W.C. A note on the effect of cannulation of the terminal ileum of the growing pig on the apparent ileal digestibility of amino acids in ground barley. **Anim. Prod.** 44: 319-321. 1987.

- [13] PARASKA, N. Ileal and faecal amino acids digestibility of some tropical feedstuffs in growing pigs. **Kasetsart J. (Nat. Sci.)** 36: 23-29. 2002.
- [14] PRAWIRODIGDO, S.; GANNON, N.J.; VAN BARNEVELD, R.J.; KERTON, D.J.; LEURY, B.J.; DUNSHEA, F.R. Assessment of apparent ileal digestibility of amino acids and nitrogen in cottonseed and soyabean meals fed to pigs determined using ileal dissection under halothane anaesthesia or following carbon dioxide-stunning. **Br. J. Nutr.** 80: 183-191. 1998.
- [15] RATCLIFFE, B. The role of the microflora in digestion. In: **In vitro digestion for pigs and poultry**. Edited by M.F. Fuller. CAB International, UK. 19-34 pp. 1991.
- [16] RERAT, A. Digestion and absorption of carbohydrates and nitrogenous matters in the hindgut of the omnivorous nonruminant animal. **J. Anim. Sci.** 46: 1808-1837. 1978.
- [17] SAUER, W. C.; OZIMECK, L. Digestibility of amino acids in swine: results and their practical applications. A review. **Livest. Prod. Sci.** 15: 367-373. 1986.
- [18] SCHELL, T.C.; DOVE, C.R.; BISHOP, D.K. Growth rate, carcass composition and onset of estrus in developing gilts fed cottonseed meal. **J. Anim. Sci.** 78 (1): 191. 2000.
- [19] SEERLEY, R.W. **Swine Nutrition**. Butterworth-Heinemann, a division of Reed Publishing. Stoneham, MA. 451-480 pp. 1991.
- [20] SMITH, F.H. Effect of gossypol bound to cottonseed protein on growth of meanling rats. **Agr. Food Chem.** 20: 803-811. 1972.
- [21] TANKSLEY Jr., T.D.; KNABE, D.A.; PURSER, K.; ZEBROWZKA, T.; CORLEY, J.R. Apparent digestibility of amino acids and nitrogen in three cottonseed meals and one soybean meal. **J. Anim. Sci.** 52 (4): 769-777. 1981.
- [22] TANKSLEY, T.D.; KNABE, D. A. Ileal digestibilities of amino acids in pig feeds and their use in formulating diets. In: **Recent Advances in Animal Nutrition**. W. Haresing and D.J.A. Cole (Editors), Butterworths, London. 75-95 pp. 1984.
- [23] WEERDEN, E.J.; SLUMP, P.; HUISMAN, J. Amino acid digestion in different parts of the intestinal tract of pigs. **Proceedings of the 3rd EAAP Symposium on Protein Metabolism and Nutrition**. Oslage, H.J.; Rohr, K. (Eds.). Braunschweig, F.R. Germany. 207-214 pp. 1980.
- [24] WHITTEMORE, C. Nutritional value of proteins and amino acids in feedstuffs for pigs. In: **The science and practice of pig production**. Second edition. Blackwell Science Ltd. London. 308-321pp. 1998.
- [25] YU, F.; MOUGHAN, P.J.; BARRY, T.N.; McNABB, W.C. The effect of condensed tannins from heated and unheated cottonseed on the ileal digestibility of amino acids for the growing rat and pig. **Br. J. Nutr.** 76: 359-371. 1996.