

Digestibilidad de nutrimentos en lechones alimentados con dietas con aislado o concentrado de proteína de soya

Digestibility of nutrients in piglets fed diets with isolated or concentrate soy protein

Maria de los Angeles Aguilera Barreiro^a, Tércia Cesária Reis de Souza^a, Gerardo Mariscal Landín^b, Arturo Germán Borbolla Sosa^c, Araceli Aguilera Barreyro^a

RESUMEN

Se utilizaron 15 lechones destetados a los 17 días con 6.1 ± 1.8 kg para medir el efecto de la fuente de proteína sobre la digestibilidad de tres dietas, una con concentrado de proteína de soya (CPS) y las otras dos con aislado de proteína de soya solo (APS) o con suero de leche (APSSL). Se determinó la digestibilidad ileal y total aparente (DIA y DTA) de materia seca (MS), proteína cruda (PC) y energía (En) en tres periodos (P): P1= 26-29; P2= 33-36 y P3= 40-43 días. La DIA-MS fue mayor ($P < 0.01$) en la dieta APS, seguido por APSSL y CPS (84.2, 82.8 vs 79.3 %). La DIA-PC de las dietas APS y APSSL fue mayor ($P < 0.01$) que CPS (80.1, 80.4 vs 76.4 %). La DIA-En fue mejor ($P < 0.01$) en la dieta APS, entre CPS y APSSL no hubo diferencias (86.9 vs 81.6, 83.9 %). La DIA-MS se incrementó ($P < 0.05$) en P2 y no difirió entre P2 y P3 (79.9 vs 83.1, 83.4 %). Para la energía hubo un efecto similar (82.4 vs 84.4, 85.7 %). La DIA-PC de los tratamientos CPS y APSSL fue más elevada ($P < 0.01$) en P3. La DTA-MS, DTA-PC y DTA-En fueron mejores ($P < 0.05$) en los animales que consumieron APS que CPS (91.3, 89.9, 92.6 vs 86.8, 80.4, 87.8 %). La DTA-MS de APS difirió de APSSL (91.3 vs 88.9 %). Las DTA de CPS y APSSL fueron similares, excepto para PC. La DTA-MS, DTA-PC y DTA-En aumentaron ($P < 0.01$) entre P1 y P2. Las fuentes de proteína estudiadas fueron bastante digestibles.

PALABRAS CLAVE: Proteína de soya, Suero de leche, Digestibilidad, Lechones, Destete.

ABSTRACT

Fifteen piglets weaned at 17 d of age and weighing 6.1 ± 1.8 kg were used to determine the effect of protein source on nutrient digestibility of three diets; one with soy protein concentrated (SPC), another with soy protein isolated alone (SPI) and the third with SPI plus dried whey (SPIDW). Apparent ileal (AID) and total digestibility (ATD) of dry matter (DM), crude protein (CP) and energy (En) were evaluated in three periods (P): P1= 26-29; P2= 33-36 and P3= 40-43 d. DM AID of SPI were higher ($P < 0.01$) than SPIDW and SPC (84.2 vs 82.8, 79.3 %). CP AID of diets SPI and SPIDW were higher ($P < 0.01$) than SPC (80.1, 80.4 vs 76.4 %). En AID of SPI were higher ($P < 0.01$) than others diets and SPC and SPIDW were practically similar (86.9 vs 81.6 and 83.9 %). DM AID increased ($P < 0.05$) in P2 and did not differ between P2 and P3 (79.9 vs 83.1 and 83.4 %). A similar effect was observed in energy (82.4 vs 84.4, 85.7 %). CP AID showed the best values for SPC and SPIDW in P3 ($P < 0.01$). Apparent total digestibility of DM, CP and En were higher in SPI fed piglets than in SPC (91.3, 89.9, 92.6 vs 86.8, 80.4, 87.8 %). SPI had a higher DM ATD than SPIDW (91.3 vs 88.9 %). SPC and SPIDW had a similar ATD, except to crude protein. DM ATD, CP ATD and En ATD increased ($P < 0.01$) between P1 and P2. The protein sources studied were very digestible.

KEY WORDS: Soy protein, Whey, Digestibility, Piglets, Weaner.

INTRODUCCIÓN

Para superar los efectos negativos del destete sobre el desarrollo de los lechones, se sugiere incorporar

INTRODUCTION

To overcome the negative effects due to weaning in piglets, the most common advice is to incorporate

Recibido el 22 de julio de 2005 y aceptado para su publicación el 9 de febrero de 2006.

^a Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Avenida de las Ciencias s/n, Colonia Juriquilla, Delegación Santa Rosa Jáuregui, 76230, Querétaro, Qro, México. tercia@uaq.mx. Correspondencia al segundo autor.

^b CENI Fisiología Animal, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

^c Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México.

a las dietas de iniciación ingredientes digestibles para facilitar los procesos de digestión y absorción de los nutrimentos⁽¹⁾. En este sentido las proteínas de origen animal, como los subproductos lácteos, son bastante recomendadas. El suero de leche deshidratado es una fuente de proteínas de buen valor nutritivo (11 a 13 % de proteína cruda)⁽²⁾ y de lactosa (63 a 70 %)⁽²⁾, además, por estimular la actividad enzimática^(3,4,5), mejora la función digestiva. Por otro lado, para que se de el proceso de adaptación digestiva es necesario que los lechones recién destetados consuman proteínas de origen vegetal^(6,7).

La soya es la fuente proteica de mayor elección en la alimentación de cerdos, debido a su alto contenido de proteína cruda; sin embargo, la presencia de algunos factores antinutricionales (FAN) limita su uso en la alimentación de lechones, por los efectos negativos que estos ejercen sobre las vellosidades intestinales^(8,9); la actividad de las enzimas digestivas⁽¹⁰⁾, y consecuentemente sobre la ganancia de peso en las primeras semanas posdestete⁽¹¹⁾. El procesamiento de la soya por medio de diferentes tratamientos tecnológicos (térmicos, físicos o químicos) produce una mejora del aprovechamiento digestivo por la disminución de los FAN⁽⁶⁾.

Los subproductos de la soya con un elevado porcentaje de proteína cruda son obtenidos por medio de procesos de precipitación de las proteínas (aislado de proteína de soya con 92 % de PC)⁽¹²⁾ o a través de la extracción de los carbohidratos solubles y de la grasa, resultando un producto altamente soluble y rico en proteína (concentrado de proteína de soya con 65 a 70 % de PC)⁽¹²⁾. Estos subproductos especiales pueden reemplazar o complementar los subproductos de leche en las dietas de iniciación⁽¹²⁻¹⁵⁾, por lo tanto, en el presente trabajo se midió a nivel del intestino delgado y en la totalidad del tracto digestivo, la digestibilidad de los nutrimentos de dietas, cuyas fuentes proteicas fueron el concentrado o el aislado de proteína de soya solo, o asociado a suero de leche deshidratado.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el experimento se utilizaron 15 lechones hembras (Landrace x Duroc), destetadas en promedio a los

digestible ingredients to starter diets to enhance both the digestion process and nutrient absorption⁽¹⁾. Animal proteins and milk byproducts are recommended for this. Dehydrated milk whey is an acceptable source of protein with good nutritional value (11-13 % crude protein)⁽²⁾ and also of lactose (63-70%)⁽²⁾. Besides, improves digestion through stimulating enzymatic activity^(3,4,5). On the other hand, for a good development of the digestive process adaptation, intake of vegetable proteins by piglets becomes necessary^(6,7).

Soybeans are the more common source of protein in pig feeding, owing to its high crude protein content. However, presence of some anti-nutritional factors (ANF) places some restraints on its use in piglet feeding, due to negative effects on intestinal villi^(8,9); digestive enzyme activity⁽¹⁰⁾ and therefore on daily weight gain in the first weeks postweaning⁽¹¹⁾. Soybeans processing through diverse methods (heat, physical, chemical) results in a better digestive use due to ANF diminution⁽⁶⁾.

Soy byproducts containing a high percentage of crude protein are obtained through either protein precipitation processes (soy protein isolate with 92 % CP)⁽¹²⁾ or fat and soluble carbohydrate extraction which provides a highly soluble and protein rich product (soy protein concentrate with 65-70 % CP)⁽¹²⁾. These special byproducts can replace or supplement milk byproducts in starter diets⁽¹²⁻¹⁵⁾. Owing to this, in the present study, diets' nutrient digestibility whose protein source was either soy protein concentrate or isolated, alone or associated to dehydrated milk whey, was measured at both small intestine and total digestive tract levels.

MATERIALS AND METHODS

Fifteen female piglets (Landrace x Duroc) with 17 d of age and weighing 6.1 ± 1.8 kg were used in this trial. They were distributed in three treatments in a completely randomized design in accordance with repeated measures⁽¹⁶⁾ (three periods to estimate digestibility). Experimental treatments consisted in three diets with two protein ingredients, i) soy protein concentrate (SPC), ii) soy protein isolated (SPI) as the only protein source and iii) SPI plus

17 días de edad, con 6.1 ± 1.8 kg de peso distribuidas entre tres tratamientos en un diseño experimental completamente al azar, con un arreglo de medidas repetidas en el tiempo⁽¹⁶⁾ (tres periodos para la estimación de la digestibilidad). Los tratamientos experimentales fueron tres dietas, cuyos ingredientes proteínicos consistieron de concentrado de proteína soya (CPS), aislado de proteína de soya como fuente única de proteína (APS) o combinado con suero de leche deshidratado (APSSL). Las dietas fueron isoproteicas e isoenergéticas⁽¹⁷⁾ y se les adicionaron 3 g/kg de óxido de cromo como marcador de digestibilidad (Cuadro 1).

Al día del destete los lechones se colocaron en jaulas individuales de digestibilidad que permiten la recolección del contenido ileal y de heces, provistas de un bebedero de chupón y un comedero, en los cuales se les proporcionó agua y alimento a libertad. Entre los días 17 y 20 de edad los lechones aprendieron a consumir alimento sólido y agua. El día 21 de vida se sometieron a una cirugía para la colocación de una cánula simple en "T"⁽¹⁸⁾. A partir del día siguiente a la cirugía, los animales consumieron las dietas experimentales.

Después de cuatro días de recuperación y de adaptación, se iniciaron los tres periodos de recolección de heces (P1= días 26 a 28; P2 = días 33 a 35 y P3 = días 40 a 42) y del contenido ileal (P1= días 28 y 29; P2= días 35 y 36 y P3 = días 42 y 43) a través de la cánula. Las muestras de heces de 24 h se recolectaron una vez al día a las 1600. Al final de cada periodo de colecta, las heces de cada animal se homogeneizaron, se secaron en estufa de aire forzado a 60 °C durante 48 h y se molieron utilizando una criba de 1 mm. La digesta ileal se recolectó seis veces al día, de las 0800 a las 2100 del día 1 de cada periodo, y de las 0900 a las 2200 del día 2. Las cánulas permanecieron abiertas las dos primeras horas de cada día, y en las siguientes se alternaba una hora cerrada y una hora abierta, haciendo un total de siete horas diarias de recolección. La digesta se recibió en bolsas plásticas con 2 ml de HCl 0.2 N para evitar la fermentación y parar toda actividad enzimática. El contenido ileal recolectado por animal en cada periodo se congeló, se liofilizó y se molió

dried whey (SPIDW). Diets were isoproteic and isoenergetic⁽¹⁷⁾ and were added with 3 g kg⁻¹ of chromic oxide as a digestibility marker (Table 1).

At weaning piglets were placed in individual digestibility cages provided with a nipple watering device. The cages allow the collection of ileal digesta and feces. Water and feed were provided ad libitum. Piglets started to eat solid and liquid feed between d 17 and 20. On d 21 a simple "T"

Cuadro 1. Composición centesimal de las dietas experimentales

Table 1. Experimental diet's composition (%)

Ingredients	Soybean protein concentrate	Soybean protein isolate	Soybean protein isolate + dehydrated milk whey
Corn starch	32.69	35.33	32.03
Lactose	31.52	31.52	
Soybean protein concentrate	25.34		
Soybean protein isolate		19.43	13.23
Dehydrated milk whey			42.85
Vegetable oil	5.00	5.00	5.00
Orthophosphate	2.90	2.90	2.90
Calcium Carbonate	0.58	0.79	0.75
Minerals ¹	0.40	0.40	0.40
Zn oxide	0.40	0.40	0.40
NaCl	0.35	0.35	0.35
Dinamotilin	0.30	0.30	0.30
Vitamins ²	0.20	0.20	0.20
Antioxidants	0.02	0.02	0.02
Chromium oxide	0.30	0.30	0.30
DL- Methionine		1.93	0.14
L-Lysine HCl		1.13	1.13
Chemical composition:			
Dry matter (%) ³	95.3	94.4	94.8
Crude protein (%) ^{3,4}	18.0	18.3	17.8
Metabolic energy (Kcal/kg) ⁵	3.6	3.6	3.6

¹ Mineral complex providing: Zn 114 mg, Fe 102 mg, Se 0.3 mg, Mn 22.8 mg, Cu 8.8 mg and I 0.41 mg per kg of diet.

² Vitamin complex providing vitamins : A 3.63 µg, D 165 µg, B₁₂ 37µg, Riboflavin 2.2 mg, Pantothenic acid 13.2 mg, Niacin 54 mg and Choline 351 mg per kg of diet.

³ Analyzed values.

⁴ As % of dry matter.

⁵ Estimated value.

utilizando una criba de 1 mm. Posteriormente se determinó el contenido de materia seca y proteína cruda⁽¹⁹⁾, energía bruta por calorimetría⁽²⁰⁾ y cromo⁽²¹⁾. A las dietas y a las heces se les realizaron los mismos análisis químicos. Se calcularon los coeficientes de digestibilidad ileal y total aparente de la materia seca, proteína cruda y energía⁽²²⁾.

Los resultados de las variables de respuesta del experimento se analizaron con la ayuda del paquete estadístico SAS⁽²³⁾, por medio del procedimiento Proc Mixed. La comparación de las medias se realizó con la prueba de Student-Newman-Keuls⁽²⁴⁾.

RESULTADOS

Digestibilidad ileal aparente

A nivel ileal (Cuadro 2) la materia seca fue más digestible ($P < 0.01$) en la dieta con aislado de proteína de soya como fuente única de proteína o con suero de leche, que en la dieta con CPS. Se observó un aumento de la digestibilidad ileal aparente de la materia seca ($P < 0.01$) y de la energía ($P < 0.05$) entre P1 y P2; sin embargo, entre P2 y P3 ésta se mantuvo constante. La digestibilidad ileal aparente de la energía fue mayor ($P < 0.01$) en la dieta APS, sin embargo, entre las

cannula was fitted at terminal ileum⁽¹⁸⁾. From the day after surgery piglets were fed with the experimental diets.

After four days of recovery and adaptation, three period of feces collection started (P1= d 26-28, P2= d 33 to 35 and P3= d 40 to 42) and of ileal digesta through the cannula (P1= d 28 and 29, P2= d 35 and 36 and P3= d 42 and 43). Feces samples were collected once a day at 4 PM. At the end of each collection period, feces of each animal were homogenized, dried in a forced air stove at 60 °C for 48 h and ground using a 1 mm sieve. Ileal digesta were collected 6 times a day between 8 am and 9 pm on d 1 and between 9 am and 10 pm on d 2 of each period. Cannulas kept open in the first two hours of each day and then were closed and opened at one hour intervals to make a total of seven collection hours. Ileal digesta was collected in plastic bags containing 2 ml of HCl 0.2 N to block fermentation and to stop enzymatic activity. Ileal digesta of each period was frozen and lyophilized and ground using a 1 mm sieve. Dry matter and crude protein contents⁽¹⁹⁾, gross energy through calorimetry⁽²⁰⁾ and chromium content⁽²¹⁾ were determined on diets, Ileal digesta and feces. Apparent Ileal and total digestibility

Cuadro 2. Coeficientes de digestibilidad ileal y total aparente de la materia seca proteína cruda y energía
Table 2 – Ileal and total digestibility coefficients for dry matter (DM), crude protein (CP) and energy (En)

	Treatment			Period			Probability			SEM
	SPC	SPI	SPI+DMW	1	2	3	T	P	T*P	
Ileal (%)										
DM	79.3 ^a	84.2 ^b	82.8 ^b	79.9 ^e	83.1 ^f	83.4 ^f	0.001	0.01	NS	0.23
CP	76.4 ^a	80.1 ^b	80.4 ^b	76.7 ^e	79.4 ^{ef}	80.8 ^f	0.001	0.07	0.01	0.39
En	81.6 ^a	86.9 ^b	83.9 ^a	82.4 ^e	84.4 ^{ef}	85.7 ^f	0.001	0.05	NS	0.28
Total (%)										
DM	86.8 ^a	91.3 ^b	88.9 ^c	87.6 ^e	89.2 ^f	90.0 ^f	0.001	0.01	NS	0.19
CP	80.4 ^a	89.9 ^b	87.8 ^b	82.5 ^e	87.3 ^f	88.3 ^f	0.001	0.001	NS	0.28
En	87.8 ^a	92.6 ^b	89.9 ^{ab}	88.1 ^e	90.7 ^f	91.5 ^f	0.001	0.01	NS	0.31

For total digestibility: P1= days 26-28, P2 = days 32-35 and P3 = day 40.

SPC= Soybean protein concentrate; SPI= Soybean protein isolate; DMW= Dehydrated milk whey; SEM= standard error of the mean.

NS = Non significant.

^{abc} Treatments showing different letters show statistical significant differences.

^{ef} Periods with different letters show significant differences.

dietas CPS y APSSL no se observaron diferencias. Los animales expresaron su máxima capacidad digestiva de la materia seca y energía en P3 ($P < 0.05$), no habiendo diferencias entre P1 y P2; la interacción entre tratamiento y periodo no fue significativa en estas determinaciones.

La proteína cruda proveniente de las dietas APS y APSSL fue más digestible ($P < 0.01$) en relación a la dieta CPS y hubo una tendencia ($P < 0.07$) de que la digestibilidad aumentara entre P1 y P3. Sin embargo, se observó una interacción ($P < 0.01$) entre el tratamiento y el periodo estudiado (Figura 1), pues los animales que consumieron la dieta APS tuvieron mejores coeficientes de digestibilidad ileal de la proteína en P1 y P2, y en P3 sufrieron una disminución. Mientras tanto, los lechones del tratamiento CPS mejoraron su digestibilidad en P3 y la diferencia entre APS y CPS ya no fue significativa. En los lechones del tratamiento APSSL hubo incremento importante de la digestibilidad de la proteína entre P1 y P2, que se mantuvo en P3.

Digestibilidad total aparente

La digestibilidad total de la materia seca, proteína cruda y de la energía fue mayor en los animales alimentados con la dieta con aislado de proteína de soya ($P < 0.01$) que en los lechones que consumieron la dieta con concentrado de proteína de soya (Cuadro 2). La materia seca de la dieta APS fue más digestible que en la dieta complementada con suero de leche ($P < 0.01$); para la proteína cruda y energía no se observaron diferencias entre estos tratamientos. Se observó un aumento de la digestibilidad total aparente de la materia seca, de la proteína cruda y de la energía ($P < 0.01$) entre el P1 y P2. Entre el P2 y P3 la digestibilidad de los nutrientes permaneció sin cambios. La interacción entre tratamiento y periodo no fue significativa.

DISCUSIÓN

Efecto del tipo de determinación de la digestibilidad

Los valores de digestibilidad de los nutrientes variaron de acuerdo con la región de determinación de la misma. Los datos obtenidos a nivel fecal

coeficientes de dry matter, crude protein and energy were estimated⁽²²⁾.

Data were analyzed through the SAS statistical software package⁽²³⁾ using the Proc Mixed procedure. Means comparisons were carried out through the Student-Newman-Keuls test⁽²⁴⁾.

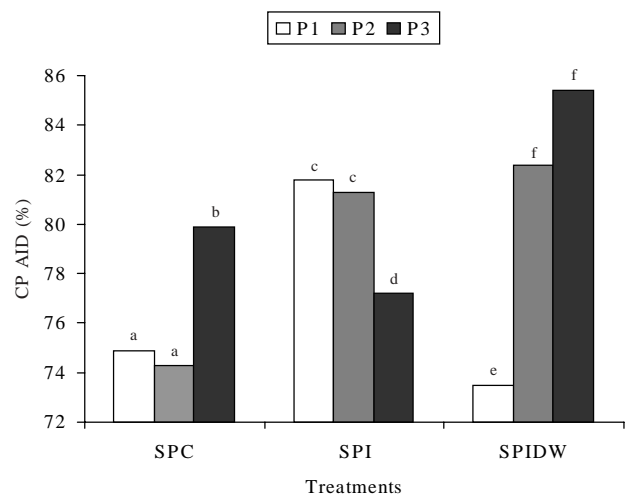
RESULTS

Apparent ileal digestibility

At ileal level (Table 2) dry matter was more digestible ($P < 0.01$) in the diet containing soy protein isolated alone or with whey than in the SPC diet. An increase in dry matter ($P < 0.01$) and energy ($P < 0.05$) apparent ileal digestibility was observed between P1 and P2; however, it remained constant between P2 and P3. Energy apparent ileal digestibility was higher ($P < 0.01$) in the SPI diet, however between SPC and SPIDW diets no differences were found. Animals expressed their

Figura 1. Efecto de la interacción tratamiento*periodo sobre los coeficientes de digestibilidad ileal aparente de la proteína cruda

Figure 1: Effect of the interaction treatments*periods on crude protein apparent ileal digestibility coefficients (CPAID)



SPC= soy protein concentrated; SPI= soy protein isolated; SPIDW= SPI + dried whey.

ab ($P < 0.09$); cd ($P < 0.09$); ef ($P < 0.01$).

(digestibilidad total aparente) fueron superiores a los observados a nivel ileal (digestibilidad ileal aparente), lo que coincide con los resultados presentados en la literatura^(15,25). La desaparición de nitrógeno a nivel del intestino grueso se debe al proceso metabólico de los microorganismos nativos⁽²⁶⁾, los cuales tienen la capacidad de fermentar los nutrimentos que no fueron digeridos y absorbidos a nivel del intestino delgado⁽²⁷⁾. Los aminoácidos provenientes del alimento, que no fueron absorbidos hasta el final del íleon, son utilizados para la síntesis de proteína microbiana o se aprovechan sus cadenas carbonadas como fuente de energía, y el grupo amino es transformado en amoníaco, el cual es absorbido por el intestino grueso y excretado vía urinaria⁽²⁶⁾. Todo este proceso fermentativo disminuye la cantidad de nutrimentos excretados en las heces, sobrestimando la digestibilidad de los mismos⁽²⁷⁾.

Efecto de la fuente de proteínas

Los coeficientes de digestibilidad total aparente (DTA) de los nutrimentos muestran que las fuentes de proteína estudiadas son muy digestibles, desde la primera semana postdestete. Los valores de la DTA de la materia seca y de la proteína cruda de las dietas complementadas con aislado de proteína de soya fueron similares a los reportados en la literatura^(14,15). Los lechones que consumieron la dieta con concentrado de proteína de soya tuvieron la digestibilidad total de la materia seca similar a los resultados descritos por Friesen *et al*⁽⁶⁾; sin embargo, en relación a otros autores^(14,15) los presentes valores fueron inferiores. La DTA de los nutrimentos de la dieta con suero de leche (APSSL) estimada en el presente trabajo, confirma algunas observaciones anteriores⁽²⁸⁾, donde se reportan valores elevados para la digestibilidad de la materia seca (87 %) y del nitrógeno (83 %) en dietas complementadas con suero de leche deshidratado.

Son escasos los trabajos sobre la digestibilidad ileal de fuentes proteicas en lechones recién destetados; sin embargo, la comparación de los presentes resultados con los determinados por Shon *et al*⁽¹⁵⁾ muestran que estos autores obtuvieron valores ligeramente inferiores a la digestibilidad de la materia seca de la dieta a base de aislado de proteína

greater digestive capacity for energy and dry matter in P3 ($P < 0.05$), there being no differences between P1 and P2. Interaction between treatment and period was non significant in these analyses.

Crude protein in the SPI and SPIDW diets was more digestible ($P < 0.001$) than in SPC and a trend ($P < 0.07$) for an increase between P1 and P3 was observed. However, an interaction between treatment and period ($P < 0.01$) was found (Figure 1), because animals which were fed with the SPI diet showed a better protein ileal digestibility in P1 and P2, showing a decrease in P3. In the meantime, piglets in SPC treatment increased their digestibility in P3 and the difference between SPI and SPC was non significant. Piglets in the SPIDW treatment showed an important increase in protein digestibility between P1 and P2, which maintained itself in P3.

Apparent total digestibility

Dry matter, protein and energy total digestibility was higher in animals fed with soy protein isolated ($P < 0.01$) than in those fed with soy protein concentrate (Table 2). Dry matter in the SPI diet was more digestible than in the diet added with whey ($P < 0.01$). Crude protein and energy digestibility showed no differences between these treatments. Dry matter, crude protein and energy apparent total digestibility showed an increase ($P < 0.01$) between P1 and P2. The differences in digestibility for these parameters between P2 and P3, and the interaction between treatments and periods were not significant.

DISCUSSION

Effect of digestibility type

Digestibility values changed in accordance with the region in which it was determined. Data at the fecal level (apparent total digestibility) were higher than those at the ileal level (apparent ileal digestibility), which agree with available literature^(15,25). Nitrogen disappearance at the large intestine is due to metabolic processes of native microorganisms⁽²⁶⁾, which are able to ferment nutrients undigested and unabsorbed at the small intestine⁽²⁷⁾. Dietary amino acids not absorbed up to the ileum's end, are used for microbial protein

de soya (APS) (84.2 vs 83.6 %); para la proteína cruda (nitrógeno) la digestibilidad ileal aparente (DIA) fue más baja en el presente trabajo (80.1 vs 88.3 %). En el caso de la dieta con concentrado de proteína de soya (CPS) los resultados obtenidos fueron inferiores tanto para la materia seca (79.3 vs 82.7 %) como para la proteína cruda (76.4 vs 82.7 %). En relación al trabajo de Cho *et al*⁽²⁵⁾ se observa que los presentes valores de DIA fueron mayores para la materia seca (84.2 vs 80.1 %) y menores para la proteína cruda (80.1 vs 85.1 %). Por otro lado, Chae *et al*⁽²⁹⁾ obtuvieron valores inferiores a los del presente trabajo para la digestibilidad de la materia seca (78.7 vs 84.2 %) y ligeramente superiores para la proteína cruda (83 vs 80.1 %) en dietas complementadas con APS. Los resultados de DIA presentados en este trabajo y en la literatura consultada muestran el buen valor nutricional de las fuentes de proteína utilizadas; sin embargo, también se reportan⁽²⁶⁾ valores más bajos que los anteriormente mencionados, cuando se utilizaron dietas a base de maíz-CPS (72.3 y 65.4 % para DIA-MS y DIA-PC, respectivamente) o maíz-APS (73 y 67.1 % para DIA-MS y DIA-PC, respectivamente).

La DTA y DIA de la energía de las tres dietas experimentales muy probablemente está relacionada con la gran cantidad de almidón contenida en éstas, el cual tiene una digestibilidad cercana al 100 %^(9,30). En un trabajo⁽³¹⁾ en donde se emplearon dietas a base de suero de leche y concentrado de proteína de soya sin la adición de almidón, se reportan valores inferiores de digestibilidad de la energía en relación a la dieta CPS a nivel ileal (68 vs 81.6 %) y fecal (81 vs 87.8 %). La presencia de lactosa en la dieta APS pudo haber sido un factor que contribuyó a la mayor DIA-En en relación a las dietas APSSL, pues se reporta que en animales alimentados con dietas complementadas con lactosa en su forma cristalina, en comparación con una dieta con suero de leche deshidratado, estimula la actividad de la lactasa, mejorando el proceso de digestión de la energía⁽⁴⁾.

Una probable explicación a la mejor digestibilidad de la dieta con APS como fuente única de proteína durante los dos primeros periodos del estudio, se basa en la observación de algunos autores^(32,33),

synthesis or their carbon chains as an energy source and the amino group is converted into ammonia which is absorbed at the large intestine and excreted as urine⁽²⁶⁾. This fermentation process reduces the amount of nutrients excreted in feces, thus overestimating their digestibility⁽²⁷⁾.

Effect of protein source

Apparent total digestibility (ATD) coefficients of nutrients show that the protein sources being studied are highly digestible, from the first week post weaning onwards. ATD values for dry matter and crude protein of diets added with soy protein isolated were similar to those reported in literature^(14,15). Piglets fed with diets containing soy protein concentrate showed dry matter total digestibility similar to those reported by Friesen *et al*⁽⁶⁾. However, these results were lower than those reported by other authors^(14,15). ATD of nutrients in diets containing dried whey (SPIDW) observed in the present study confirms some previous reports⁽²⁸⁾ showing high dry matter (87 %) and nitrogen (88 %) digestibility in diets added with dried whey. Studies on ileal digestibility of diverse protein sources in recently weaned piglets are few, however, when results obtained in the present study are compared to those reported by Shon *et al*⁽¹⁵⁾, these last authors obtained slightly lower values for dry matter digestibility in diets based on soy protein isolated (SPI) (84.2 vs 83.6 %), while crude protein (nitrogen) apparent ileal digestibility (AID) values were lower in the present study (80.1 vs 88.3 %). In diets containing soy protein concentrate (SPC), results obtained were lower both for dry matter (79.3 vs 82.7 %) and crude protein (76.4 vs 82.7 %). Results obtained in the study carried out by Cho *et al*⁽²⁵⁾ for AID are lower than those obtained in this study for dry matter (80.1 vs 84.2 %) and higher for crude protein (85.1 vs 80.1 %). On the other hand, Chae *et al*⁽²⁹⁾ obtained lower values than those obtained in the present study for dry matter digestibility (78.7 vs 84.2 %) and slightly higher values for crude protein (83.0 vs 80.1 %) in diets added with SPI. Results for AID shown in the present study and in the cited literature show the good nutritional value of the protein sources used, however lower values were reported⁽²⁶⁾ when using diets based on maize-SPC (72.3 and 65.4 % for DM AID and CP AID, respectively) and maize-

los cuales reportan que la adición de subproductos lácteos, tales como el suero de leche o la lactosa cristalina, en dietas de iniciación, aumenta su digestibilidad y consecuentemente el desarrollo de los lechones⁽²⁶⁾. En el presente trabajo, la asociación de las proteínas del suero de leche con las del aislado de proteína de soya tuvo una respuesta positiva en P3, mostrando un efecto aditivo de la digestibilidad de estos dos ingredientes, lo que sugiere que por periodos de consumo más prolongados, una fuente única de proteína a partir de un ingrediente tan digestible como el APS no es recomendable. Aguilera⁽³⁴⁾ observó que al final del P3 los lechones que consumieron aislado de soya presentaron un menor desarrollo de las vellosidades con una mayor frecuencia de atrofia y las criptas fueron menos profundas, en relación a los animales de CPS; lo que puede explicar la menor digestibilidad ileal en P3. Al adicionarle suero de leche (APSSL) se estimuló el crecimiento de las vellosidades y aumentó la profundidad de las criptas.

Efecto del periodo de determinación de la digestibilidad

En lechones recién destetados la etapa del desarrollo en que se encuentra los animales (edad), es muy importante, debido al rápido crecimiento del aparato digestivo en la fase posdestete, por lo que generalmente existe un efecto "periodo" en las determinaciones de digestibilidad⁽⁴⁾. Sohn *et al*⁽¹³⁾ observaron que en dietas a base de leche en polvo, aislado de proteína de soya, concentrado de proteína de soya y pasta de soya, la digestibilidad ileal y total del nitrógeno y de todos los aminoácidos, excepto del ácido glutámico, aumentó de los 25 a los 53 días de edad. En dietas con pasta de soya tratada o no con enzimas, se observó un aumento en la digestibilidad ileal aparente de la proteína cruda y de los aminoácidos de 5 a 16 % entre los días 7 y 16 posdestete, lo que representó un proceso de adaptación digestiva bastante acelerado⁽⁷⁾. En el presente estudio el incremento de la digestibilidad ileal entre P1 y P3 (3.5, 4.1 y 3.3 puntos para la MS, PC y En, respectivamente) indica una maduración del aparato digestivo en términos morfofisiológicos, proporcionando una mayor capacidad de digestión y absorción de los

SPI (73.0 and 67.1 % for DM AID and CP AID, respectively).

Energy AID and ATD in the three experimental diets most probably were related to the high amount of corn starch, whose digestibility is close to 100 %^(9,30). In a study⁽³¹⁾ in which diets based on dried whey and soy protein concentrate to which no starch was added, lower energy digestibility values relative to SPC diets at the ileal (68.0 vs 80.6 %) and fecal (81.0 vs 87.8 %) levels are reported. Lactose presence in SPI diets could have been a factor which contributed to a higher energy AID than in SPIDW diets, because it has been reported⁽⁴⁾ that in animals fed with diets added with crystalline lactose when compared to animals fed with diets containing dried whey, lactase activity was stimulated in a higher grade, thus increasing energy digestion.

A possible explanation to the better digestibility of SPI diets as the only protein source in the first two periods, is based on reports of some authors^(32,33) who state that the addition of milk byproducts, as dried whey or crystalline lactose, to starter diets increases digestibility and therefore growth of weaned pigs⁽²⁶⁾. In the present study, association of whey proteins to soy protein isolated showed a positive response in P3, showing an additive effect on digestibility of both ingredients, which suggests that in longer feeding periods, a single protein source coming from a highly digestible ingredient as SPI is not recommendable. Aguilera⁽³⁴⁾ reports that at the end of P3 piglets fed with soy protein isolated showed poorer villi development with higher atrophy frequency and less deeper crypts than animals fed diets with SPC, which could help explain the lower ileal digestibility in P3. When dried whey was added (SPIDW) villi development was stimulated and crypt deepness increased.

Effect of age in digestibility analysis

In recently weaned pigs, the development stage of animals (age) is very important, owing to the fast growth of the digestive tract in the post weaning phase, and therefore there is a "stage" effect in digestibility analyses⁽⁴⁾. Sohn *et al*⁽¹³⁾ observed that in diets based on powdered milk, soybean protein isolated, soybean protein concentrate and soybean

nutrimentos en el tracto digestivo anterior, como lo observaron diferentes autores⁽³⁵⁻³⁹⁾.

También el aumento de la digestibilidad total entre P1 y P3 (2.4, 5.8 y 3.4 puntos para la MS, PC y En, respectivamente) probablemente se debe al desarrollo del intestino grueso en la fase posdestete⁽⁴⁰⁾, y de la actividad microbiana resultante de su colonización progresiva^(26,27,41), disminuyendo así la cantidad de nutrimentos excretados en las heces, sobreestimando la digestibilidad total de los mismos.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

El aislado de proteína de soya y el concentrado de proteína de soya son materias primas bastante digestibles, por lo tanto se les puede recomendar como complementos proteínicos de las dietas para lechones desde una temprana edad. La asociación en la dieta del suero de leche con el aislado de soya, por un periodo de tres semanas, favoreció la digestibilidad de los nutrimentos. La capacidad digestiva de los lechones mejoró entre el primero y tercero periodo de medición de la digestibilidad ileal y total, indicando un proceso de adaptación digestiva al alimento y un incremento de la actividad fermentativa a nivel del intestino grueso.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las siguientes instituciones por su apoyo al proyecto de investigación que generó esta publicación: CONACYT por medio del Sistema Regional Miguel Hidalgo (SIHGO); Universidad Autónoma de Querétaro y al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.

LITERATURA CITADA

1. Reis de Souza TC, Mariscal-Landín G. El destete, la función digestiva y la digestibilidad de los alimentos en cerdos jóvenes. *Téc Pecu Méx* 1997;35:145-159.
2. Cole M, Sprent M. Protein and amino acid requirements of weaner pigs. In: Varley MA, Wiseman J editors. *The weaner*

meal, nitrogen ileal and total digestibility of all amino acids, excepting glutamic acid, increased from 25 to 53 d of age. In diets containing soybean paste treated with enzymes, crude protein and amino acid apparent ileal digestibility increased 5 to 16 % between d 7 and d 16 post weaning, which shows a quite fast digestive adaptation process⁽⁷⁾. In the present study the increase of ileal digestibility between P1 and P3 (3.5, 4.1 and 3.3 points for dry matter, crude protein and energy, respectively) indicates maturity of the digestive tract in morphophysiological conditions, providing a higher nutrient digestion and absorption capacity of small intestine, as reported by several authors⁽³⁴⁻³⁹⁾.

The increase of total digestibility between P1 and P3 (2.4, 5.8 and 3.4 points for dry matter, crude protein and energy, respectively) most probably is due to large intestine growth in the post weaning phase⁽⁴⁰⁾ and microflora activity as a result of progressive colonization^(26,27,41), thus diminishing the amount of nutrients excreted in feces and therefore overestimating their total digestibility.

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

Soybean protein isolated and soybean protein concentrate are very digestible byproducts and therefore can be suggested as protein complements in piglet diets from an early age. Association in diets of whey and soybean isolated for a three week period improves nutrient digestibility. Piglet digestive capacity increased between the first and the third period of total and ileal digestibility assessment, indicating a digestive adaptation to feeds and an increase of fermentation activity at the large intestine.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank to CONACYT through the Sistema Regional Miguel Hidalgo (SIHGO), Universidad Autónoma de Querétaro and INIFAP for their grant to present study.

End of english version

- pig: nutrition and management. New York: CABI Publishing; 2001.
3. Lindemann MD, Cornelius SG, El Kandelgy SM, Moset RL, Pettigrew JE. Effect of age, weaning and diet on digestive enzyme levels in the piglet. *J Anim Sci* 1986; 62:1298-1307.
 4. Reis de Souza TC, Mariscal-Landín G, Aguilera BA. Empleo de dos fuentes de lactosa en la dieta de lechones y sus efectos en el aparato digestivo. *Téc Pecu Méx* 2002;40:299-308.
 5. Owsley WF, Orr DE, Tribble LF. Effects of age and diet on the development of the pancreas and synthesis and secretion of pancreatic enzymes in the young pig. *J Anim Sci* 1986;63:492-504.
 6. Friesen KG, Nelssen JL, Goodband RD, Behnke KC, Kats LJ. The effect of moist extrusion of soy products on growth performance and nutrient utilization in the early-weaned pig. *J Anim Sci* 1993;71:2099-2109.
 7. Caine WR, Sauer WC, Tamminga S, Verstegen MWA, Schultze H. Apparent ileal digestibilities of aminoacids in newly weaned pigs fed diets with protease-treated soybean meal. *J Anim Sci* 1997;75:2962-2969.
 8. Li DF, Nelssen JL, Reddy PG, Blecha F, Hancock JD, Allee GL, Goodband RD, Klemm RD. Transient hypersensitivity to soybean meal in the early-weaned pig. *J Anim Sci* 1990;68:1790-1799.
 9. Salgado P, Freire JPB, Mourato M, Cabral F, Toullec R, Lallès JP. Comparative effects of different legume protein sources in weaned piglets: nutrient digestibility, intestinal morphology and digestive enzymes. *Livest Prod Sci* 2002;74:191-202.
 10. Liener IE. Factors affecting the nutritional quality of soya products. *J Am Oil Chem Soc* 1981;58:406-415.
 11. Friesen KG, Nelssen JL, Goodband RD, Behnke KC, Kats LJ. The effect of pre and postweaning exposure to soybean meal on growth performance and on the immune response in the early-weaned pig. *J Anim Sci* 1993;71:2089-2098.
 12. Dritz SS, Goodband RD, Nelssen JL, Tokach MD. Swine nutrition guide. Kansas State University. 1997.
 13. Li DF, Nelssen JL, Reddy P, Blecha F, Klemm RD, Giesting DW, *et al.* Measuring suitability of soybean products for early-weaned pigs with immunological criteria. *J Anim Sci* 1991;69:3299-3307.
 14. Sohn KS, Maxwell CV, Buchanan DS, Southern LL. Improved soybean protein sources for early-weaned pigs I. Effects on performance and total tract amino acid digestibility. *J Anim Sci* 1994;72:622-630.
 15. Sohn KS, Maxwell CV, Southern LL, Buchanan DS. Improved soybean protein sources for early-weaned pigs: II. Effects on ileal amino acid digestibility. *J Anim Sci* 1994;72:631-637.
 16. Kristensen M, Hansen T. Statistical analyses of repeated measures in physiological research: a tutorial. *Adv Physiol Educ* 2004;28:2-14.
 17. National Research Council. Nutrient Requirement of Swine. 10th ed. Washington (DC). National Academy Press; 1998.
 18. Reis de Souza TC, Mar BB, Mariscal GL. Digestibilidad ileal en cerdos canulados: desarrollo de una metodología. *Téc Pecu Méx* 2000;32:143-150.
 19. AOAC. Official methods of analysis. 15th ed. Arlington, VA, US: Association of Official Analytical Chemists. 1990.
 20. Bateman JV. Nutrición animal. Manual de métodos analíticos. México. Herrero Hnos. y Sucesores; 1970.
 21. Fenton TW, Fenton M. An improved procedure for the determination of chromic oxide in feed and feces. *Can J Anim Sci* 1979;59:631-634.
 22. Reis de Souza TC, Mariscal-Landín G, Uribe LL. Efecto de la fuente de grasa en el comportamiento zootécnico y la digestibilidad total e ileal de los nutrimentos en lechones destetados. *Téc Pecu Méx* 2001;39:193-206.
 23. SAS. User's Guide: Statistics. SAS. Inst. Inc. Cary, NC; 1982.
 24. Steel RGD, Torrie JH. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. 2nd ed. New York, US: McGraw-Hill Book Co., 1985.
 25. Cho SB, Kim JH, Moon HK, Chae BJ, Cho WT. Apparent digestibility of amino acids, energy and proximate nutrients in dietary protein sources for young pigs. *AJAS* 1997;10:63-651.
 26. Giesting DW, Easter A. 1991. Effect of protein source and fumaric acid supplementation on apparent ileal digestibility of nutrients by young pigs. *J Anim Sci* 1991;69:2497-2503.
 27. Lizardo R. Exploration de l'adaptation de la capacité digestive du porcelet après le sevrage: effet des facteurs antinutritionnels et des polysaccharides non amylacés sur l'activité des enzymes, la digestibilité et les performances zootechniques. [thèse de doctorat]. Rennes, France: L'École Nationale Supérieure Agronomique de Rennes; 1997.
 28. Hansen JA, Nelssen JL, Goodband RD, Weeden TL. Evaluation of animal protein supplements in diets of early-weaned pigs. *J Anim Sci* 1993;71:1853-1862.
 29. Chae BJ, Han IK, Kim JH, Yang CJ, Hancock JD, Kim IH, Anderson DA. Effects of dietary protein sources on ileal digestibility and growth performance for early-weaned pigs. *Livest Prod Sci* 1999;58:45-54.
 30. Susenbeth A, Dickel T, Diekenhorst AM, Höhler D. The effect of energy intake, genotype, and body weight on protein retention in pigs when dietary lysine is the first-limiting factor. *J Anim Sci* 1999;77:2985-2989.
 31. Souza RTC, Aguilera AB, Mariscal LG. Digestibilidad de los nutrimentos y peso de órganos digestivos de lechones alimentados con dietas complementadas con diferentes tipos de suero de leche. XXXVII Congreso Nacional AMVEC. Puerto Vallarta, México. 2002.
 32. Turlington WH, Allee GL, Nelssen JL. Effects of protein and carbohydrate sources on digestibility and digesta flow rate in weaned pigs fed a high-fat, dry diet. *J Anim Sci* 1989;67:2333-2340.
 33. Giesting DW, Easter RA, Roe BA. A comparison of protein and carbohydrate source of milk and plant origin for starter pigs [abstract]. *J Anim Sci* 1985;61(Suppl 1):299.
 34. Aguilera MAB. Utilización de diferentes fuentes de proteína en la alimentación de lechones al destete [tesis maestría]. México, DF: Universidad Nacional Autónoma de México; 2001.
 35. Cera KR, Mahan DC, Cross RF, Reinhart GA, Whitmoyer RE. Effect of age, weaning and post-weaning diet on small intestinal growth and jejunal morphology in young swine. *J Anim Sci* 1988;66:574-584.
 36. Makkink CA, Berntsen PJM, op den Kamp BML, Kemp B, Verstegen WA. Gastric protein breakdown and pancreatic enzyme activities in response to two different dietary protein sources in newly weaned pigs. *J Anim Sci* 1994;72:2843-2850.
 37. Cranwell PD. Development of the neonatal gut and enzyme systems. In: Varley MA editor. The neonatal pig: development and survival. UK Cab Internacional, 1995:99-145.

DIGESTIBILIDAD DE NUTRIMENTOS EN LECHONES ALIMENTADOS CON SOYA

38. Van Beers-Schreus HMG, Nabuurs MJA, Vellenga L, Kalsbeek-van der Valk HJ, Wensing T, Breukink HJ. Weaning and the weanling diet influence the villous height and crypt depth in the small intestine of pigs and alter the concentrations of short-chain fatty acids in the large intestine and blood. *J Nutr* 1998;128:947-953.
39. Jensen MS, Jensen SK, Jakobsen K. Development of digestive enzymes in pigs with emphasis on lipolytic activity in the stomach and pancreas. *J Anim Sci* 1997;75:437-445.
40. Aguilera BA, Souza RTC, Mariscal LG, Juárez GY. Desarrollo de los órganos digestivos hasta la cuarta semana postdestete en lechones alimentados con subproductos lácteos. Memorias del XI Congreso de la AMENA y I del CLANA. Cancún, México. 2003.
41. Mathew AG, Franklin MA, Upchurch WG, Chattin SE. Influence of weaning age on ileal microflora and fermentation acids in young pigs. *Nutrition Res* 1996;16:817-827.

