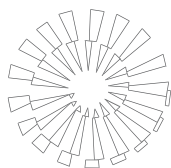


Digestibilidad de la proteína y energía en dietas para lechones, complementadas con tres diferentes tipos de suero de leche deshidratado



Protein and energy digestibility in diets for piglets, supplemented with three different kinds of dried whey

Tércia Cesária Reis de Souza* Gerardo Mariscal Landín** Araceli Aguilera Barreyro*
Juan Guillermo Cervantes Huerta*

Abstract

To measure the effect of kind of dried whey on nutrient digestibility, added to started diets, twelve piglets weaned at 17.7 days of age and weighing 6.8 kg were used. Piglets were fitted with a simple T cannula at terminal ileum. Three diets were tested, one supplemented with neutralized dried whey (NDW), another with acid dried whey (ADW) and the third with sweet dried whey (SDW). Apparent ileal and total digestibility of dry matter (DM), crude protein (CP) and energy (En) were measured in three periods (Pe): Pe1= days 27-29; Pe2= days 34-36 and Pe3= days 41-43. There were no differences ($P > 0.05$) among treatments in DM ileal digestibility (69.9% vs 71.9% vs 68.8% for NDW, ADW and SDW), CP ileal digestibility (71.2% vs 71% vs 68.3% for NDW, ADW and SDW) and En (67.9% vs 69.2% vs 67.3% for NDW, ADW and SDW). There was no period effect on nutrients ileal digestibility. Dry matter total digestibility was higher ($P < 0.05$) in piglets fed with acid dried whey (83.2% vs 81.4% vs 81% for ADW, NDW and SDW). There were no differences ($P > 0.05$) among treatments for total digestibility of crude protein (78.7% vs 79.5% vs 77.6% for NDW, ADW and SDW) and energy (81.4% vs 82.6% vs 80.5% for NDW, ADW and SDW), but they showed a tendency ($P < 0.10$) to increased from the first to the second period. In conclusion, the different kinds of dry whey did not affect nutrient ileal digestibility, and they were well degraded and absorbed in upper gastrointestinal tract (GIT). The supplementation of acid dry whey in starter diets promoted a better utilization of dry matter in total GIT.

Key words: DRIED WHEY, ILEAL AND TOTAL DIGESTIBILITY, WEANED PIGS.

Resumen

Con el propósito de verificar el efecto del tipo de suero deshidratado de leche, adicionado a la dieta iniciadora, sobre la digestibilidad de los nutrimentos, se utilizaron 12 lechones destetados a los 17.7 días con 6.8 kg de peso vivo, a los que se les insertó una cánula tipo "T simple" a nivel ileal. Se probaron tres dietas: una complementada con suero de leche deshidratado neutralizado (SLDN); otra con suero de leche deshidratado ácido (SLDA) y una tercera con suero de leche deshidratado dulce (SLDD). Se determinó la digestibilidad aparente a nivel ileal y total de la materia seca (MS), proteína (PC) y energía (En) en tres periodos (Pe): Pe1 = días 27-29; Pe2 = días 34-36 y Pe3 = días 41-43. No se observaron diferencias ($P > 0.05$) entre tratamientos para la digestibilidad ileal de la MS (69.9% vs 71.9% vs 68.8% para SLDN, SLDA y SLDD), de la PC (71.2% vs 71% vs 68.3% para SLDN, SLDA y SLDD) y de energía (67.9% vs 69.2% vs 67.3% para SLDN, SLDA y SLDD); tampoco se manifestó efecto alguno del periodo. Los animales alimentados con suero ácido mostraron una mayor ($P < 0.05$) digestibilidad total de la materia seca (83.2% vs 81.4% vs 81% para SLDA, SLDN y SLDD). La digestibilidad total aparente de la proteína cruda (78.7% vs 79.5% vs 77.6% para SLDN, SLDA y SLDD) y de la energía (81.4% vs 82.6% vs 80.5% para SLDN, SLDA y SLDD); no difirió ($P > 0.05$) entre tratamientos, pero tendió ($P < 0.10$) a aumentar entre Pe1 y Pe2. Se concluye que los diferentes tipos de suero de leche no afectaron la digestibilidad ileal de los nutrimentos, y que éstos son ingredientes bien digeridos y absorbidos en la parte anterior del tracto gastrointestinal (TGI). La complementación de la dieta de iniciación con suero de leche ácido promovió mayor aprovechamiento de la materia seca en la totalidad del TGI.

Palabras clave: SUERO DE LECHE DESHIDRATADO, DIGESTIBILIDAD ILEAL Y TOTAL, LECHONES DESTETADOS.

Recibido el 3 de mayo de 2006 y aceptado el 21 de noviembre de 2006.

*Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Avenida de las Ciencias s/n, Colonia Juriquilla, Delegación Santa Rosa Jáuregui, 76230, Querétaro, Querétaro, México.

**CENI-Fisiología, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Carretera Ajuchitlán-Colón, Km 1, 76218, Ajuchitlán, Querétaro, México.

Correspondencia: Tércia Cesária Reis de Souza, Avenida de las Ciencias s/n, Colonia Juriquilla, Delegación Santa Rosa Jáuregui, 76230, Querétaro, Querétaro, Mexico, Teléfono: 01 442 1 92 12 00, extensión 5391, correo electrónico: tercia@uaq.mx

Introduction

During the last few decades, age at weaning has been considerably reduced. In this sense, at weaning time, piglets are younger and their digestive system is not completely developed; therefore, they are more susceptible of having digestive problems.¹ Complementary solid feed intake during lactation and the first weeks post-weaning has positive effects on the development of digestive capacity of the piglet² and, consequently, in its adaptation process to new environmental and nutritional conditions. In order to facilitate the digestive process during the post-weaning period, feed industry uses additives and ingredients with a high nutritive quality that are highly digestible for starter diets. Acidifiers, enzymes, protein concentrates and other vegetable or animal by-products are examples of these raw materials. It is recommended that dairy products such as whey be included,³ since they are a rich source of lactose and proteins and also by their beneficial effects on performance,^{4,5} digestive and nutritive function of the piglet,⁶⁻⁸ just after weaning.

Whey is the generic name given to the part of milk that remains liquid after the production of cheese, normally it is considered as one product;⁹ nevertheless, commercially there are two types of whey: sweet and acid.^{9,10}

The first one has not been fermented by addition of lactic cultures nor acidified with organic acids; it has a pH that is above 5.6, acidity titrated between 0.10%-0.15% and it is obtained in the production of cheeses such as panela (fresh), double cream, ranch, cheddar and mozzarella. The second one is fermented or acidified, it has a pH below to 5.1, acidity titrated at 0.35%-0.44% and it comes from the production of cheeses such as Oaxaca (string cheese), cottage and cream.

Neutralized whey that was used in this trial was obtained by adding calcium hydroxide to acid whey in order to facilitate the drying process. Prior to the experiment, analyses were carried out to verify pH of the different whey that varied from 7.1 of sweet whey to 5.0 for acid whey and 5.5 for neutralized whey. These different acidity levels of whey modify diet pH, flavor and feeding preference of piglets,¹¹ that could affect digestive utilization of nutrients. In view of the above, three diets were evaluated in this study each one supplemented with dehydrated whey (sweet, acid or neutralized) in order to determine if the type of whey affects ileal and total apparent digestibility of nutrients.

Introducción

En las últimas décadas, la edad al destete se ha reducido considerablemente; en este sentido, al momento del destete los lechones son más jóvenes y poseen un sistema digestivo poco desarrollado, por ello son más susceptibles a padecer problemas digestivos.¹ La ingestión de alimento sólido complementario durante la lactancia y en las primeras semanas posdestete, tiene efectos positivos en el desarrollo de la capacidad digestiva del lechón² y, consecuentemente, en su proceso de adaptación a las nuevas condiciones ambientales y de nutrición. Para facilitar el proceso digestivo en el periodo posdestete, la industria alimentaria utiliza aditivos e ingredientes altamente digestibles para elaborar dietas iniciadoras con alta calidad nutritiva. Los acidificantes, las enzimas, los concentrados proteínicos y otros subproductos de origen vegetal o animal son ejemplos de estas materias primas. Se recomienda incorporar a estas dietas los productos lácteos, como el suero de leche,³ en virtud de que son fuente de lactosa y proteínas, debido a sus efectos benéficos sobre el desempeño zootécnico,^{4,5} digestivo y nutritivo del lechón,⁶⁻⁸ justo después del destete.

El suero es un término genérico que se refiere a la parte de la leche que se mantiene líquida después de la manufactura del queso, normalmente se le considera como un producto único;⁹ sin embargo, comercialmente existen dos tipos de suero: dulce y ácido.^{9,10}

El primero no se fermentó por adición de cultivos lácteos o no se acidificó con ácidos orgánicos, tiene pH superior a 5.6, acidez titulable de 0.10%-0.15% y se obtiene al producir quesos tipo panela, doble crema, ranchero, cheddar y mozzarella. El segundo se fermentó o se acidificó, tiene pH menor a 5.1, acidez titulable de 0.35%-0.44% y proviene de la producción de quesos tipo Oaxaca, cottage y crema.

El suero de leche neutralizado que se usó en el presente trabajo se obtuvo al agregar hidróxido de calcio al suero ácido para facilitar el proceso de secado. En análisis realizados previamente al experimento, se constató que el pH de los sueros varió de 7.1 para el suero dulce a 5.0 para el ácido y 5.5 para el neutralizado. Estos diferentes niveles de acidez de los sueros de leche modifican el pH de las dietas, su sabor y la preferencia alimentaria mostrada por los lechones,¹¹ lo cual podría afectar el aprovechamiento digestivo de los nutrientes. Con base en lo anterior, en el presente trabajo se evaluaron tres dietas, cada una de ellas complementada con un suero de leche deshidratado (dulce, ácido o neutralizado) con el objetivo de determinar si el tipo de suero afecta la digestibilidad ileal y total aparente de los nutrientes.

Material and methods

This experiment was carried out in the swine farm of CENID-Physiology of the National Forestry, Agriculture and Livestock Research Institute in Ajuchitlan, Queretaro, and chemical analyses were carried out in the Animal Nutrition Laboratory of the School of Veterinary Medicine and Animal Science of the Autonomous University of Queretaro. The experiment was carried out according to the Mexican Official Standard NOM-062-ZOO-1999, for the production, care and use of laboratory animals.¹² Three experimental diets were tested, prepared based on sorghum, soy paste, soy protein concentrate and swine plasma; each diet was complemented with one type of dried whey [neutralized (NDW), acid (ADW) or sweet (SDW)], that in turn changed diet pH (Table 1). Diets were formulated to provide digestible crude protein and lysine requirements, as proposed by NRC,¹³ based on the ideal protein concept.¹⁴

Chromium oxide at 3 g/kg was used as digestibility marker. Twelve hybrid piglets (Landrace × Duroc), castrated males, weaned at 17.7 ± 0.5 days, with an average weight of 6.8 ± 0.9 kg were used. Four groups with three animals each were formed, according to the initial weight of the animal and litter of origin, having one observation (piglet) per treatment, per group. On the day of weaning, piglets were placed in individual digestibility cages, elevated 50 cm from the floor, 0.68 m² surfaces, equipped with individual feeders, nipple drinkers and trays to collect feces and urine, especially constructed to allow ileal digesta collection.

Between days 17 and 20 of age, piglets started to consume solid feed and water: on day 21 they were fitted with a T canula at terminal ileon.¹⁵ After six days, of surgical recuperation and adaptation to the experimental diets, feces collection periods (Pe) were begun (Pe1 = days 27 and 28; Pe2 = days 34 and 35, and Pe3 = days 41 and 42) as well as the three collection periods of ileal content through the canula (Pe1 = days 28 and 29; Pe2 = days 35 and 36; and Pe3 = days 42 and 43).

Ileal digesta was collected five times a day, from 8:00 to 20:00 hours on the first day of each period and from 9:00 to 21:00 hours of the second day. Canulas remained open the first two hours of each day and after that they were closed for an hour alternating with one hour open until the seven daily collection hours were completed. Digesta was received in plastic bags with 2 mL of HCl 0.2 N, in order to stop all enzymatic activity and avoid fermentation. Ileal digesta collected per animal during each period was frozen at -20°C and lyophilized. Fecal samples of each piglet were collected once per day at 12 h and frozen after each collection.

Material y métodos

Este trabajo experimental se desarrolló en la granja porcina del CENID-Fisiología, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, en Ajuchitlán-Queretaro, y los análisis químicos en el Laboratorio de Nutrición Animal de la licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Querétaro. El experimento se condujo según la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio.¹² Se probaron tres dietas experimentales, elaboradas a base de sorgo, pasta de soya, concentrado de proteína de soya y plasma porcino; cada dieta se complementó con un tipo de suero de leche deshidratado [neutralizado (SLDN), ácido (SLDA) o dulce (SLDD)], lo que hizo variar el pH de la dieta (Cuadro 1). Las dietas se balancearon para aportar los requerimientos de proteína cruda y lisina digestible, propuestos por el NRC,¹³ con base en el concepto de proteína ideal.¹⁴

El óxido de cromo se empleó como marcador de digestibilidad a razón de 3 g/kg. Se utilizaron 12 lechones híbridos (Landrace × Duroc), machos castrados, destetados a los 17.7 ± 0.5 días, con peso promedio de 6.8 ± 0.9 kg. Se constituyeron cuatro grupos de tres animales cada uno, según el peso inicial del animal y la camada de origen, y se realizó una observación (lechón) por tratamiento por grupo. El día del destete, los lechones se instalaron en jaulas individuales de digestibilidad, elevadas a 50 cm del piso, con superficie de 0.68 m², equipadas con comedero individual, bebedero de chupón y charolas recolectoras de heces y orina, especialmente construidas para permitir la recolección del contenido ileal.

Entre los días 17 y 20 de edad, los lechones aprendieron a consumir alimento sólido y agua; el día 21 se intervinieron quirúrgicamente para la colocación de una cánula simple en T en la porción terminal del íleon.¹⁵ Después de seis días de recuperación de la cirugía y de adaptación de los lechones a las dietas experimentales, se iniciaron los periodos (Pe) de recolección de heces (Pe1 = días 27 y 28; Pe2 = días 34 y 35, y Pe3 = días 41 y 42) y los tres periodos de recolección de contenido ileal a través de la cánula (Pe1 = días 28 y 29; Pe2 = días 35 y 36, y Pe3 = días 42 y 43).

La digesta ileal se recolectó cinco veces al día, de las 8:00 a las 20:00 horas del primer día de cada periodo, y de las 9:00 a las 21:00 horas del segundo día. Las cánulas permanecieron abiertas las dos primeras horas de cada día, y en las siguientes se alternaba una hora cerrada y otra hora abierta, hasta completar siete horas diarias de recolección. La digesta se recibió en bolsas plásticas con 2 mL de HCl 0.2 N, con el fin de evitar la fermentación y parar toda actividad

Cuadro 1			
COMPOSICIÓN CENTESIMAL Y QUÍMICA DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES, DE ACUERDO CON EL TIPO DE SUERO DE LECHE: DESHIDRATADO NEUTRALIZADO (SLDN), ÁCIDO (SLDA) O DULCE (SLDD)			
CENTESIMAL AND CHEMICAL COMPOSITION OF EXPERIMENTAL DIETS, ACCORDING TO THE TYPE OF DRIED WHEY: NEUTRALIZED (NDW), ACID (ADW) OR SWEET (SDW)			
<i>Ingredients</i>	<i>Experimental diets</i>		
	<i>NDW</i>	<i>ADW</i>	<i>SDW</i>
Sorghum	41.77	40.88	42.73
Dried whey	25.00	25.00	25.00
Soybean meal	12.00	12.00	12.00
Soy protein concentrate	8.62	9.46	7.75
Spray dry porcine plasma	4.00	4.00	4.00
Corn oil	4.00	4.00	4.00
Calcium ortophosphate	1.15	1.10	1.15
Calcium carbonate	0.66	0.66	0.66
Zinc oxide	0.40	0.40	0.40
Sodium chloride	0.35	0.35	0.35
Chromium oxide	0.30	0.30	0.30
Vitamins ¹	0.36	0.36	0.36
Minerals ²	0.12	0.12	0.12
Lysine-HCL	0.39	0.40	0.40
DL-Methionine	0.18	0.19	0.17
Threonine	0.22	0.25	0.18
Tryptosine	0.31	0.36	0.26
Antibiotic ³	0.15	0.15	0.15
Antioxidant	0.02	0.02	0.02
<i>Chemical composition</i>			
Dry matter (%)	94.6	94.7	94.5
Crude protein (%) ⁴	22.8	23.1	22.8
Digestible lysine (%) ⁵	1.2	1.2	1.2
Lactose (%) ⁵	17.5	17.5	17.5
Metabolizable energy (kcal/kg) ⁵	3 378	3 364	3 391
pH	6.0	5.2	5.9

¹Vitamin complement that provides per kg of diet: Vitamin A 6.8 IU/g, Vitamin D 1.35 IU/g, Vitamin E 0.10 IU/g, Choline 361 mg/kg, Niacin 55.7 mg/kg, Pantothenic acid 13.6 mg/kg, Riboflavin 2.27 mg/kg and Vitamin₁₂ B 37 µg/kg.

²Mineral complement that provides per kg of diet: Copper 9 mg/kg, Iodine 4.5 mg/kg, Iron 105 mg/kg, manganese 23.5 mg/kg, Selenium 0.103 mg/kg and Zinc 117.5 mg/kg

³Aureo SP-250 G: Chlortetracycline 44 g/kg, Sodium sulfadimethylpyrimidin 44 g/kg and Penicillin 22 g/kg

⁴Value analyzed and expressed on dry matter base.

⁵Estimated value.

At the end of the experimental period, they were homogenized and dried in a forced air stove at 60°C during 48 hours. Experimental diets, lyophilized ileal digesta and dry feces were ground in a laboratory mill,* using a 1 mm sieve. Dry matter and crude protein were then analyzed;¹⁶ gross energy determined by calorimetry¹⁷ and chromium by spectrometry.¹⁸ Ileal and total apparent digestibility coefficients were estimated (CAID and CATD, respectively).¹⁹

In order to analyze effects of treatments and sampling period in the digestibility test, a variance analysis was carried out for random blocks experimental design, in an arrangement of split plot,²⁰ where the main plot represented the piglet and the split plot the sample collection period. Student-Newman-Keuls test was used to compare means.²⁰ Statistical analyses were performed using the general linear models procedure (GLM) of SAS statistical software.²¹

Results

Diets with different types of whey (Table 2) had similar ($P > 0.05$) coefficients of apparent ileal digestibility for dry matter, crude protein and energy. No effect ($P > 0.05$) of period or interaction (period-treatment) on ileal digestibility was observed.

Animals fed with acid whey (ADW) had greater total digestibility of dry matter ($P < 0.05$) (Table 3). No effect on diet was observed for crude protein and energy ($P > 0.05$). There was a tendency to increase total crude protein digestibility ($P < 0.10$) between periods one (Pe1) and two (Pe2), while between Pe2 and Pe3 it remained constant (77.1% vs 79.4% vs 79.3% for Pe1, Pe2 and Pe3, respectively). In relation to energy, a similar trend was observed ($P < 0.10$), (80.55% vs 81.8% vs 82.1%, for Pe1, Pe2 and Pe3, respectively). The interaction between treatment and period was not significant for any of the studied variables.

Discussion

Weaning is a very stressful moment in the life of a piglet, since piglets have to quickly adapt to the large feed changes that are being presented to them on their way to become adults and consume adult pig feed.^{22,23} In this adaptation process, observed stomach pH values²⁴ were 3.6 in piglets on the first day of weaning, on the second day after weaning, pH fell to 3.1 in piglets fed with diets complemented with acid dried whey or crystalline lactose, and at 28 days after weaning it was 2.5, that corresponds to values obtained in growing pigs (2.0 a 3.5) as reported previously.²⁵ Furthermore, in relation to intestinal content, observed pH values²⁴ on the third (6.1) and fourth (5.7) weeks

enzimática. El contenido ileal recolectado por animal en cada periodo se congeló a -20°C y se liofilizó. Las muestras de heces de cada lechón se recolectaron una vez al día a las 12 h y se congelaron después de cada recolección.

Al término del periodo experimental se homogeneizaron y se secaron en una estufa de aire forzado a 60°C durante 48 horas. Las dietas experimentales, la digesta ileal liofilizada y las heces secas se molieron en un molino de laboratorio,* utilizando una criba de 1 mm. Luego se analizó el contenido de materia seca y proteína cruda;¹⁶ la energía bruta se determinó mediante calorimetría¹⁷ y el cromo por espectrometría.¹⁸ Se calcularon¹⁹ los coeficientes de digestibilidad ileal y total aparente (CDIa y CDTa, respectivamente).

Con el fin de analizar los efectos de los tratamientos y del periodo de muestreo en la prueba de digestibilidad, se realizó un análisis de varianza para un diseño experimental de bloques al azar, en un arreglo de parcelas divididas,²⁰ en el que la parcela grande representó al lechón, y la chica el periodo de recolección de muestras. Se empleó la prueba de Student-Newman-Keuls para la comparación de promedios.²⁰ Los análisis estadísticos se realizaron con la ayuda del paquete estadístico SAS,²¹ por medio del procedimiento de modelos lineales generales (GLM).

Resultados

Las dietas con los diferentes tipos de suero (Cuadro 2) tuvieron coeficientes de digestibilidad ileal aparente de la materia seca, proteína cruda y energía similares ($P > 0.05$). No se observó ($P > 0.05$) efecto alguno del periodo de recolección o de la interacción entre el periodo y el tratamiento en las determinaciones de digestibilidad ileal.

Los animales alimentados con suero ácido (SLDA) tuvieron mayor ($P < 0.05$) digestibilidad total de la materia seca (Cuadro 3). Para la proteína cruda y energía no se observó ($P > 0.05$) efecto en la dieta. Hubo tendencia ($P < 0.10$) a aumentar la digestibilidad total de la proteína cruda entre los periodos uno (Pe1) y dos (Pe2), mientras que entre P2 y P3 permaneció constante (77.1% vs 79.4% vs 79.3% para Pe1, Pe2 y Pe3, respectivamente). Respecto de la energía, se observó una tendencia ($P < 0.10$) similar (80.55 vs 81.8% vs 82.1%, para Pe1, Pe2 y Pe3, respectivamente). La interacción entre tratamiento y periodo no fue significativa para ninguna de las variables estudiadas.

Discusión

El destete es un momento estresante en la vida del cerdo, por lo cual los lechones deben adaptarse rápi-

Cuadro 2

EFFECTO DEL TIPO DE SUERO DE LECHE DESHIDRATADO NEUTRALIZADO (SLDN), ÁCIDO (SLDA) O DULCE (SLDD), SOBRE EL COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDAD ILEAL APARENTE (CDIa) DE LOS NUTRIMENTOS

EFFECT OF THE TYPE OF DRIED WHEY: NEUTRALIZED (NDW), ACID (ADW) OR SWEET (SDW), ON NUTRIENT APPARENT ILEAL DIGESTIBILITY COEFFICIENT (CaID)

<i>CaIDC (%)</i>	<i>Treatments</i>			<i>Period¹</i>	<i>SEM²</i>
	<i>NDW</i>	<i>ADW</i>	<i>SDW</i>		
Dry matter					0.8
Pe1	68.6	70.2	67.5	68.8	
Pe2	69.4	70.8	68.5	69.6	
Pe3	71.8	71.9	70.5	71.4	
Treatment ³	69.9	71.0	68.8		
Crude protein					1.2
Pe1	68.8	71.9	65.2	68.6	
Pe2	69.4	68.2	67.0	68.2	
Pe3	75.5	72.9	72.7	73.7	
Treatment ³	71.2	71.0	68.3		
Energy					0.8
Pe1	66.7	69.6	66.7	67.7	
Pe2	67.3	69.2	66.7	67.7	
Pe3	69.7	68.8	68.4	69.0	
Treatment ³	67.9	69.2	67.3		

¹ Period mean.

² Standard Error of the Mean.

³ Treatment mean.

Pe = period. Pe1 = days 28 and 29. Pe2 = days 35 and 36. Pe3 = days 42 and 43.

after weaning, are propitious to pancreatic enzymes activity. These observations could indicate that by the end of this experiment, piglets had reached a stomach and intestinal pH that is appropriate for the digestion of dietary nutrients. Perhaps, this would be the reason why chemical differences between the different whey and diet pH (Table 1) were not enough to cause variation in nutrient digestion and absorption in the beginning of the digestive tract (stomach and small intestine) of animals assigned to the different experimental treatments during the study period.

Also, the type of ingredients present in the rations is an important factor that must be taken into account when comparing nutrient digestibility of different diets, since its composition may affect crude protein quality due to differences in amino acids profile and the content of anti-nutritional factors that the raw materials may have,²⁶ as well as the fiber amount and

damente a los grandes cambios alimentarios que se les presentan, con el fin de llegar a la alimentación del cerdo maduro.^{22,23} En este proceso de adaptación se observan²⁴ valores de pH estomacal iguales a 3.6 en lechones el día del destete; al segundo día posdestete, el pH decreció a 3.1 en lechones alimentados con dietas complementadas con suero de leche deshidratado ácido o lactosa cristalina, y a los 28 días posdestete llegó a 2.5, que corresponde a los valores para cerdos en crecimiento (2.0 a 3.5) mencionados en la literatura;²⁵ también en cuanto al contenido intestinal, los valores de pH observados²⁴ a la tercera (6.1) y cuarta (5.7) semanas posdestete, son propicios a la acción de las enzimas pancreáticas. Estas observaciones podrían indicar que al final del presente experimento, los lechones ya habían alcanzado un pH estomacal e intestinal adecuado a la digestión de los nutrientes dietéticos. Quizá por eso las diferencias

Cuadro 3

EFFECTO DEL TIPO DE SUERO DE LECHE DESHIDRATADO NEUTRALIZADO (SLDN), ÁCIDO (SLDA) O DULCE (SLDD), SOBRE EL COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDAD TOTAL APARENTE (CDTa) DE LOS NUTRIMENTOS

EFFECT OF TYPE OF DRIED WHEY NEUTRALIZED (NDW), ACID (ADW) OR SWEET (SDW), ON NUTRIENT APPARENT TOTAL DIGESTIBILITY COEFFICIENT (CaTD)

<i>CaTDC (%)</i>	<i>Treatments</i>			<i>Period¹</i>	<i>SEM²</i>
	<i>NDW</i>	<i>ADW</i>	<i>SDW</i>		
Dry matter					0.21
Pe1	80.7	83.0	80.6	81.4	
Pe2	81.5	83.6	81.2	82.1	
Pe3	82.1	82.9	81.2	82.1	
Treatment ³	81.4 ^b	83.2 ^a	81.0 ^b		
Crude protein					0.42
Pe1	76.7	78.5	76.2	77.1 ^c	
Pe2	79.3	80.4	78.4	79.4 ^d	
Pe3	80.0	79.6	78.3	79.3 ^d	
Treatment ³	78.7	79.5	77.6		
Energy					0.29
Pe1	79.9	82.2	79.4	80.5 ^e	
Pe2	81.5	83.2	80.7	81.8 ^f	
Pe3	82.7	82.3	81.3	82.1 ^f	
Treatment ³	81.4	82.6	80.5		

¹ Period mean.

² Standard Error of the Mean.

³ Treatment mean. Pe = period. Pe1 = days 27 and 28. Pe2 = days 34 and 35. Pe3 = days 41 and 42.

^{a, b} Means with different literals differ statistically $P < 0.05$.

^{c, d} Means with different literals tended to be different $P < 0.10$.

^{e, f} Means with different literals tended to be different $P < 0.10$.

quality.^{27,28} In this study, the similar ileal digestibility of the three treatments perhaps was due to the fact that the amount as well as the quality of protein and energy sources were constant; therefore, it did not cause significant variation in the three diets' composition.

Absence of a significant effect at period on ileal digestibility does not coincide with other literature results,^{19,29} but it suggests that the adaptation process to the diets occurred at an early stage during post-weaning period, which agrees with what was reported by Caine *et al.*,³⁰ giving an appropriate digestive function beginning from the first experimental period. Values that were observed indicate good digestive capacity of the animals, since the CAID means of nutrients in Pe1 and Pe2 (68.4% and 68.5%, respectively) are higher than what was recorded by Reis de Souza *et al.*,¹⁹ who studied piglets fed diets with 19% sweet whey

químicas entre los sueros y el pH de las dietas (Cuadro 1) no fueron suficientes para variar la capacidad de digerir y absorber los nutrientes en la parte anterior del aparato digestivo (estómago e intestino delgado) de los animales asignados a los diferentes tratamientos experimentales durante el periodo en estudio.

Asimismo, el tipo de ingrediente presente en las raciones es un factor importante que debe considerarse cuando se compara la digestibilidad de los nutrientes de diferentes dietas, pues su composición puede afectar la calidad de la proteína cruda, debido a las diferencias en el perfil de aminoácidos y en el contenido de factores antinutrientales que presentan las materias primas,²⁶ además de la cantidad y calidad de la fibra.^{27,28} En este trabajo, la similitud de la digestibilidad ileal de los tres tratamientos quizá se debió a que tanto la cantidad como la calidad de las fuentes de proteínas, así como de las fuentes de ener-

and found apparent ileal digestibility mean values of 62.3% and 66.7%, for Pe1 and Pe2, respectively. Perhaps the higher level of whey used in this study (25%) favored better use of nutrients in the anterior portion of the digestive tract, mainly in Pe1, where the difference between the current results and those of Reis de Souza *et al.*,¹⁹ was greater (6.1 and 1.8 points for Pe1 and Pe2, respectively).

Apparent total digestibility expression allows the detection of total use of nutrients that are contained in dry matter of feed and absorbed energy, derived from the digestion process.³¹ In this experiment values found at the ileal level were lower than those measured in feces, which corroborates observations made by other authors^{28,32} and indicate the importance that microbial flora has in the use of organic matter that resists enzymatic activity or that cannot be absorbed at the small intestinal level, and this reduces the amount of nutrient excretion in feces. High lactose diets increase digestive capacity of the large intestine;³³ in finishing pigs, it was observed³⁴ that with a 40% whey diet, between 30% and 32% of lactose was found in the large intestine, multiplying bacterial activity and increasing volatile fatty acid production by 1.5 to 2 times.³⁵ Here, the best use of dry matter by animals fed with acid whey, perhaps was due to a slight superiority of total digestibility values of crude protein and energy in this treatment, when compared to the other two. Total digestibility of nutrients values of the three treatments were very high, and this confirms certain previous observations,³⁶ that reported higher values for total digestibility of dry matter (87%) and nitrogen (83%) in diets supplemented with dried whey.

Total and ileal digestibility of nutrients results in this study were lower than what Aguilera reported,³⁷ who used a higher proportion of dried whey in the diet (42.85%), also isolated soy protein (13.22%) as the only sources of protein, with very digestible corn starch,³⁸ making this diet more digestible. In feces determinations, crude protein and energy digestibility coefficients tended to be higher as observed during the second and third periods, perhaps as a reflex to the fermentation capacity of large intestinal microbial flora in the following weeks after weaning.³⁹ These observations coincide with results of different studies that report increase in total digestibility of dry matter,^{37,40,41} crude protein^{37,42} and energy,³⁷ during the first four weeks after weaning. Probably these considerations reflect an increase in the piglet's capacity to digest and absorb nutrients in all the digestive tract,⁴⁰⁻⁴² with a tendency to reach a maximum level between the third and fourth weeks after weaning.

Observations made during this study indicate that the three type of dried whey contribute to an intestinal microenvironment that is adequate for nutrient

gía fueron constantes, ello no ocasionó variación significativa en la composición de las tres dietas.

La ausencia de un efecto significativo del periodo de muestreo en la expresión de la digestibilidad ileal no coincide con los resultados de la literatura,^{19,29} pero sugiere que el proceso de adaptación a las dietas se dio en una etapa temprana en el periodo posdestete, lo cual concuerda con Caine *et al.*,³⁰ y conduce a una función digestiva adecuada desde el primer periodo experimental. Los valores observados indican buena capacidad digestiva de animales, pues los promedios de los CDIA de los nutrimentos en Pe1 y Pe2 (68.4% y 68.5%, respectivamente) son mayores a los registrados por Reis de Souza *et al.*,¹⁹ quienes estudiaron lechones alimentados con dietas con 19% de suero de leche dulce y encontraron valores promedio de digestibilidad ileal aparente de 62.3% y 66.7%, para Pe1 y Pe2, respectivamente. Quizá el mayor nivel de suero de leche utilizado en este estudio (25%) favoreció el aprovechamiento de los nutrimentos en la porción anterior del aparato digestivo, principalmente en el Pe1, en el cual la diferencia entre los actuales resultados y los de Reis de Souza *et al.*,¹⁹ fue mayor (6.1 y 1.8 puntos para Pe1 y Pe2, respectivamente).

La expresión de la digestibilidad total aparente permite percibir el aprovechamiento de la totalidad de los nutrimentos contenidos en la materia seca de un alimento y de la energía absorbida, derivada de su proceso de digestión.³¹ En este experimento se observa que los valores encontrados en el nivel ileal fueron inferiores a los determinados en heces, ello corrobora la observación de otros autores^{28,32} e indican la importancia de la flora microbiana en el aprovechamiento de la materia orgánica que resiste la acción enzimática, o que no puede ser absorbida a nivel de intestino delgado, lo cual disminuye la excreción de los nutrimentos en las heces. Dietas altas en lactosa aumentan la capacidad digestiva del intestino grueso;³³ en cerdos en finalización, se observó³⁴ que entre 30% y 32% de la lactosa proveniente de una dieta con 40% de suero de leche apareció en el intestino grueso, duplicando la actividad bacteriana y aumentando la producción de ácidos grasos volátiles de 1.5 a 2 veces.³⁵ Aquí el mejor aprovechamiento de la materia seca en los animales alimentados con suero de leche ácido, quizá se debió a la ligera superioridad de los valores de digestibilidad total de la proteína cruda y de la energía de este tratamiento, en relación con los otros dos. Los valores de digestibilidad total de los nutrimentos de los tres tratamientos se muestran muy elevados, ello confirma algunas observaciones anteriores,³⁶ en las que se informan valores superiores para la digestibilidad total de la materia seca (87%) y del nitrógeno (83%) en dietas complementadas con suero de leche deshidratado.

digestion processes, and this is in agreement with different authors that have studied the use of dairy by-products.^{6-8,32,43}

In view of these results, the conclusion is that dried whey, notwithstanding its type, is an ingredient that permits a good ileal digestibility. Type of dried whey did not affect nutrient digestibility in the first portion of the digestive tract; nevertheless, in the totality of the gastrointestinal tract, animals that consumed acid whey in their diet used dry matter better. This implies that the decision on the type of whey that should be added to the diets should be mainly based on their cost and availability in the market.

Acknowledgements

Thanks are given to National Science and Technology Counsel (Conacyt) and Regional System Miguel Hidalgo (SIHGO), for financing of this study, as well as the enterprise ALGOFE- Total Nutrition, for the supply of whey.

Referencias

1. Touchette KJ, Carroll JA, Allee GL, Matteri RL, Dyer CJ, Beausang LA, *et al.* Effect of spray-dried plasma and lipopolysaccharide exposure on weaned pigs: I. Effects on the immune axis of weaned pigs. *J Anim Sci* 2002; 80:494-501.
2. Cranwell PD. The development of acid and pepsin secretory capacity in the pig; the effects of age and weaning. 1. Studies in anaesthetized pigs. *Br J Nutr* 1985; 54: 305-320.
3. Cervantes LJ. Nutrición y Alimentación del lechón. Memorias del XXXII Congreso Nacional de Veterinarios Especialistas en Cerdos; 1997 agosto 10-13; Ixtapa Zihuatanejo (Guerrero) México. México (DF): UNAM, 1997: 27-28.
4. Nessmith WB, Nelssen JL, Tokach MD, Goodband RD, Bergtrom JR, Dritz SS, *et al.* Evaluation of the interrelationships among lactose and protein sources in diets for segregated early-weaned pigs. *J Anim Sci* 1997; 75:3214-3221.
5. Reis de Souza TC, Muñoz EH, Mariscal GL. Fuente y nivel de lactosa en dietas posdestete y el desarrollo productivo de lechones. Memorias del IX Congreso Nacional AMENA; 1999 octubre 28-30; Ixtapa Zihuatanejo (Guerrero) México. México (DF): AMENA, 1999: 1.
6. Giensting DW, Easter RA, Roe BA. A comparison of protein and carbohydrate source of milk and plant origin for starter pigs. *J Anim Sci* 1985; 61 (Suppl 1): 299.
7. 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.
8. Reis de Souza TC, Mariscal-Landín G, Aguilera BA. Empleo de dos fuentes de lactosa en la dieta de lechones

Los presentes resultados de digestibilidad ileal y total de los nutrimentos son inferiores a los que registra Aguilera,³⁷ quien utilizó mayor proporción de suero de leche deshidratado en la dieta (42.85%), además de aislado de proteína de soya (13.22%) como fuentes únicas de proteína, con almidón de maíz muy digestible,³⁸ todo ello confirió a su dieta una mayor digestibilidad. En la determinación en heces, se observó tendencia a elevar el coeficiente de digestibilidad de la proteína cruda y de la energía en el segundo y tercer periodos, en relación con el primero, quizá como reflejo del aumento de la capacidad fermentativa de la flora microbiana del intestino grueso en las semanas consecutivas al destete.³⁹ Estas observaciones coinciden con los resultados de diferentes estudios que muestran un aumento en la digestibilidad total de la materia seca,^{37,40,41} proteína cruda^{37,42} y energía,³⁷ durante las primeras cuatro semanas que siguen al destete. Probablemente estas consideraciones reflejan el incremento de la capacidad del lechón para digerir y absorber los nutrimentos en la totalidad del tracto digestivo,⁴⁰⁻⁴² y con tendencia a alcanzar un nivel máximo entre la tercera y la cuarta semanas post-destete.

Los hechos observados en este estudio indican que los tres tipos de suero de leche contribuyen a un microambiente intestinal adecuado para que se realice el proceso de digestión de los nutrimentos, lo que concuerda con diferentes autores que estudiaron los subproductos lácteos.^{6-8,32,43}

Según los resultados, se concluye que el suero de leche deshidratado, independientemente de su tipo, es un ingrediente que permite una buena digestibilidad ileal. El tipo de suero de leche no afectó la digestibilidad de los nutrimentos en la parte anterior del aparato digestivo; sin embargo, en la totalidad del tracto gastrointestinal, los animales que consumieron el suero de leche ácido en su dieta tuvieron mejor aprovechamiento de la materia seca. Esto último implica que la decisión sobre el tipo de suero de leche que debe adicionarse en las dietas para lechones debe basarse principalmente en su costo y disponibilidad en el mercado.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (Conacyt) y al Sistema Regional Miguel Hidalgo (SIHGO), el financiamiento otorgado para la realización del presente trabajo, así como a la empresa ALGOFE-Nutrición Total, el suministro de los sueros de leche.

y sus efectos en el aparato digestivo. *Téc Pecu Méx* 2002; 40:299-308.

9. Cole M, Sprent M. Protein and amino acid requirements of weaner pigs. In: Varley MA, Wiseman J, editors. *The Weaner: Pig Nutrition and Management*. New York: CABI Publishing, 2001: 45-63.
10. Bylund G. *Dairy Processing Handbook*. Lund: Tetra Pak Systems AB, 1995.
11. Reis de Souza TC, Mariscal LG. Preferencia alimenticia y comportamiento zootécnico en lechones alimentados con dietas formuladas con diferentes tipos de suero de leche deshidratado. *Téc Pecu Méx* 2004; 42:193-206.
12. Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana-NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. Diario Oficial de la Federación. México (DF) 2001.
13. National Research Council. *Nutrient Requirements of Swine*. 10th ed. Washington (DC): National Academy Press, 1998.
14. Baker DH. Ideal amino acid profiles for swine and poultry and their applications in feed formulation. *Fermex Technical Rev* 1997; 2:1-24.
15. Reis de Souza TC, Mar BB, Mariscal LG. Digestibilidad ileal en cerdos canulados: desarrollo de una metodología. *Téc Pecu Méx* 2000; 32:143-150.
16. Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis*. 15th ed. Washington (DC): Association of Official Analytical Chemists, 1990.
17. Bateman JV. *Nutrición Animal. Manual de métodos analíticos*. México (DF): Herrera, Hermanos Sucesores SA, 1970.
18. 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.
19. Reis de Souza TC, Mariscal LG, 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.
20. Steel RGD, Torrie JH. *Principles and procedures of statistics: A biometrical approach*. 2nd ed. New York, US: McGraw-Hill Book Co, 1980.
21. SAS Institute Inc. *SAS/STAT User's Guide*. Cary, North Caroline: SAS Institute Inc, 1988.
22. Kelly D, King TP. Digestive physiology and development in pigs. In: Varley MA, Wiseman J, editors. *The Weaner Pig: Nutrition and Management*. New York: CABI Publishing, 2001:179-206.
23. Maxwell CV Jr, Carter SD. Feeding the Weaned Pig. In: Lewis AJ, Southern LL, editors. *Swine Nutrition*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2000:691-715.
24. Aguilera BA, Souza RTC, Mariscal LG, Juárez GY. Desarrollo de los órganos digestivos hasta la cuarta semana posdestete en lechones alimentados con subproductos lácteos. *Memorias del XI Congreso de la AMENA y I del CLANA*; 2003 agosto 18-23; Cancún (Quintana Roo) México. México (DF): AMENA, 2003: 335-336.
25. Kidder DE, Manners MJ. *Digestion in the Pig*. Bristol: Scientechnica, 1978.
26. Mariscal-Landín G, Avellaneda JH, Reis de Souza TC, Aguilera A, Borbolla GA, Mar B. Effect of tannins in sorghum on amino acid ileal digestibility and trypsin (E.C.2.4.21.4) and chymotrypsin (E.C.2.4.21.1) activity of growing pigs. *Anim Feed Sci and Technol* 2004; 117:245-264.
27. 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.
28. 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'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes; 1997.
29. 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.
30. Caine WR, Sauer WC, Tamminga S, Verstegen MWA, Schultze H. Apparent ileal digestibilities of amino acids in newly weaned pigs fed diets with protease-treated soybean meal. *J Anim Sci* 1997; 75: 2962-2969.
31. 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.
32. 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. *Asian-Australas J Anim Sci* 1997; 10:63-651.
33. Leibbrandt VD, Benevenga NJ. Utilization of liquid whey in feeding swine. In: Miller ER, Ullrey DE, Lewis AJ, editors. *Swine Nutrition*. Boston: Butterworth-Heinemann, 1991:559-571.
34. Kim KI, Jewell DE, Benevenga NJ, Grummer RH. The fraction of dietary lactose available for fermentation in the cecum and colon of pigs. *J Anim Sci* 1978; 46:1658-1665.
35. Kim KI, Benevenga NJ, Grummer RH. Lactase activity and VFA production in the cecum and colon of pigs fed a corn-soy or 40% whey diet. *J Anim Sci* 1978; 46:1648-1657.
36. 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.
37. Aguilera MAB. Utilización de diferentes fuentes de proteína en la alimentación de lechones al destete. (Tesis de maestría.) México (DF): Universidad Nacional Autónoma de México, 2001.
38. Reis STC, Mariscal LG, Aguilera BA. Efecto de diferentes cereales en dietas de iniciación para lechones sobre la digestibilidad de los nutrimentos y la preferencia alimenticia. *Vet Méx* 2005; 36:11-24.
39. Caine WR, Tamminga S, Sauer WC, Verstegen MWA, Schulze H. Bacterial contributions to total and endogenous recoveries of nitrogen and amino acids in ileal digesta of newly weaned piglets fed protease-treated soybean meal. *Livest Prod Sci* 1999; 57:147-157.
40. Cera KR, Mahan DC, Reinhart A. Effects of dietary

- dried whey and corn oil on weanling pig performance, fat digestibility and nitrogen utilization. *J Anim Sci* 1988; 66:1438-1445.
41. Cera KR, Mahan DC, Reinhart A. Weekly digestibilities of diets supplemented with corn oil, lard or tallow by weanling swine. *J Anim Sci* 1988; 66:1430-1437.
 42. Cera K R, Mahan D C, Reinhart A. Apparent fat digestibilities and performance responses of postweaning swine fed diets supplemented with coconut oil, corn oil or tallow. *J Anim Sci* 1989; 67: 2040-2047.
 43. Tokach MD, Nelssen JL, Allee GL. Effect of protein and (or) carbohydrate fractions of dried whey on performance and nutrients digestibility of early weaned pigs. *J Anim Sci* 1989; 67:1307-1312.