

Empleo de dos fuentes de lactosa en la dieta de lechones y sus efectos en el aparato digestivo

The use of two sources of lactose in diets for piglets and their effect on the digestive tract

Tércia Cesária Reis de Souza^a, Gerardo Mariscal Landín^b, Araceli Aguilera Barreyro^a

RESUMEN

Se verificó si la lactosa (proveniente del suero seco de leche (LSSL) o la lactosa cristalina (LC)) adicionada a la dieta, afecta la digestibilidad de los nutrimentos, la actividad de las enzimas lactasa y amilasa y el peso del páncreas e intestino delgado a los 14 días postdestete. Se utilizaron 48 lechones en seis tratamientos: T1= testigo sin lactosa, T2= 6 % LSSL, T3= 12 % LSSL, T4= 6 % LC, T5= 12 % LC y T6= 6 % LSSL + 6 % LC. Los lechones se alojaron en jaulas individuales durante dos semanas para determinar el coeficiente de digestibilidad total aparente de la materia seca (MS), proteína (PC) y energía (En). Al final del experimento se sacrificaron los lechones para determinar la actividad enzimática de la amilasa y la lactasa. Los lechones alimentados con la dieta control tuvieron una mejor digestibilidad de los nutrimentos que los demás. Los que consumieron dietas complementadas con LSSL (T2 y T3) tuvieron mayores ($P<0.05$) coeficientes de digestibilidad comparados con los de los T4 y T5 con LC (78.1 vs 73.3; 70.1 vs 64.9; 77.3 vs 73.4 %, para la MS, PC y En, respectivamente). La presencia de lactosa en las dietas independientemente de la fuente, incrementó ($P<0.01$) la actividad de la lactasa (42 vs 25 UI/g de mucosa), el peso del páncreas (19.0 vs 13.8 g) y del intestino delgado (523 vs 359 g). La actividad de la amilasa no se alteró.

PALABRAS CLAVE: Lactosa, Suero seco de leche, Digestibilidad, Lactasa, Amilasa, Lechones, Páncreas, Intestino delgado.

ABSTRACT

Dried whey lactose (DWL) or crystalline lactose (CL) was added to diets for piglets to evaluate their effect on total digestibility (TD), lactase and amylase activities, and pancreas and small intestine weight. Forty-eight piglets weaned at 21 days were fed with six experimental diets: control without lactose, 6% DWL, 12% DWL, 6% CL, 12% CL and 6% DWL + 6% CL. The piglets were individually housed in digestibility cages for two weeks after weaning. Feces were collected from each pig every day of the second week to determine TD of dry matter (DM), crude protein (CP) and energy (En). At the end of the second week the piglets were slaughtered and the pancreas and small intestine were dissected and weighed. Samples of pancreas and intestinal mucosa were frozen at -70°C until determination of amylase and lactase activities. Control diet without lactose was more digestible than lactose's diets. Total digestibility was higher ($P<0.05$) in piglets fed with DWL than in those fed with CL (78.1 vs 73.3 %; 70.1 vs 65.0 %; 77.3 vs 73.4 % for DM, CP and En, respectively). Addition of lactose to diets increased lactase activity (42 vs 25 UI/g of mucosa, $P<0.01$), pancreas (19.0 vs 13.1 g, $P<0.01$) and small intestine absolute weight (523 vs 359 g, $P<0.001$). Amylase activity was not affected by supplemental lactose.

KEY WORDS: Lactose, Dried whey, Digestibility, Lactase, Amylase, Piglets, Pancreas, Small intestine.

La primera semana postdestete constituye un periodo nutricionalmente difícil para el lechón, en el que las enzimas pancreáticas no responden a la fuente de proteína o al consumo de alimento⁽¹⁾. Así, la

The first week after weaning is nutritionally a difficult period for piglets, in which pancreatic enzymes don't show a response to protein source or feed intake⁽¹⁾. Therefore starter feed structure

Recibido el 7 de enero de 2002 y aceptado para publicación el 29 de abril de 2002.

^a Facultad de Ciencias Naturales, Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Querétaro. Av. 16 de Septiembre 63 Ote. Col. Centro, 76000 Querétaro, Qro, Mex. Tél-Fax: 01 (442) 224 19 71. Correspondencia y solicitud de separatas al primer autor.

^b Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal, INIFAP.

composición del alimento iniciador debe ser adaptada a la reducida capacidad digestiva de los animales y a su vez ser capaz de estimular el desarrollo del aparato digestivo. Por lo tanto, la inclusión en la dieta de productos de origen animal es altamente recomendada, principalmente los de origen lácteo, por los efectos benéficos de la presencia de lactosa y de proteínas lácteas sobre el desempeño zootécnico en las semanas posteriores al destete^(2,3). El componente de los subproductos lácteos que mejora los parámetros zootécnicos todavía no está muy claro; algunos estudios sugieren que la presencia de la lactosa estimula el consumo de alimento^(4,5,6) o la digestibilidad de los nutrimentos^(6,7). Otros atribuyen las mejorías zootécnicas a la acción conjunta de la lactosa y las lactoalbúminas del suero de leche^(6,8). También se observó⁽⁹⁾ que niveles crecientes de suero de leche o de lactosa cristalina⁽²⁾ en la ración producen una respuesta positiva en el desarrollo de los lechones destetados.

El presente estudio se realizó con el objetivo de verificar si dos fuentes de lactosa (suero seco de leche o lactosa cristalina), adicionadas solas a la dieta de iniciación para proporcionar dos niveles de lactosa (6 y 12 %) o combinadas (12 % de lactosa), afectan la digestibilidad total de los nutrimentos, la actividad de la lactasa en la mucosa intestinal, de la amilasa pancreática y el peso del páncreas e intestino delgado a los 14 días posdestete. Se evaluaron un total de seis dietas experimentales (tratamientos): T1= dieta testigo sin lactosa; T2= dieta con 6 % de lactosa de suero de leche; T3= dieta con 12 % de lactosa de suero seco de leche; T4= dieta con 6 % de lactosa cristalina; T5= dieta con 12 % de lactosa cristalina y T6= dieta con 12 % de lactosa (6 % lactosa de suero seco de leche y 6 % de lactosa cristalina) (Cuadro 1). Las dietas fueron isoprotéicas (18 % PC), isoenergéticas (3.3 Mcal/kg de dieta) con 1.3 % de lisina digestible y se formularon según los requerimientos nutricionales descritos en el NRC⁽¹⁰⁾, respetando el perfil de proteína ideal⁽¹¹⁾; a las dietas experimentales se les adicionó 0.2 % de óxido de cromo como marcador de digestibilidad.

Se utilizaron 48 lechones cruza Landrace x Duroc destetados a 21.6 ± 2.2 días de vida, con un peso

should be adapted to their reduced digestive capacity and be also capable of stimulating development of their digestive system. For that reason it should be highly recommended include animal byproducts in the diet, especially of dairy origin, owing to the beneficial effects of lactose and milk protein on animal performance in the first weeks after weaning^(2,3). Which component of dairy products improves zootechnic parameters is not clear, some studies suggest that lactose stimulates feed intake^(4,5,6) or nutrient digestibility^(6,7). Other authors ascribe zootechnic improvements to the combined action of lactose and lacto albumins found in whey^(6,8). Increasing amounts of whey⁽⁹⁾ or of crystalline lactose⁽²⁾ in diets induce a positive response in weaned piglet development.

The objective of this study was to verify how two sources of lactose (dry whey lactose and crystalline lactose) added to piglet starter diets to provide two concentrations of lactose (6 and 12 %) either alone or combined (12 %), affect nutrient total digestibility, lactase activity in intestinal mucosa, pancreatic amylase and pancreas and small intestine weight, 14 days after weaning. Six experimental diets (treatments) were assessed: T1= Control without lactose; T2= 6 % Dry Whey Lactose; T3= 12 % Dry Whey Lactose; T4= 6 % Crystalline Lactose; T5= 12 % Crystalline Lactose, and T6= 12 % Lactose (6 % DWL+6 % CL) (Table 1). All diets were isoproteic (18 % PC), isoenergetic (3.3 Mcal kg⁻¹), containing 1.3 % of digestible lysine and were formulated in accordance with nutritional requirements as stated by the NRC⁽¹⁰⁾, taking into account an ideal protein profile⁽¹¹⁾. As a digestibility marker, 0.2 % of chromium oxide was added to all diets.

A total of 48 piglets of a Landrace x Duroc cross weaned at 21.6 ± 2.2 days, weighing 6.6 ± 0.9 kg were used. Eight groups of six piglets each were distributed at random in six treatments in accordance with their initial weight in a randomized block design. Immediately after weaning piglets were placed individually in digestibility cages provided with a grided floor and having an 0.68 m² area, equipped with a sucking watering trough and trays which allow for collection of feces. Ventilation of

Cuadro 1. Composición porcentual de las dietas experimentales

Table 1. Percentage composition of experimental diets

Diets	Control	DWL		CL		DWL+CL
		6	12	6	12	
Lactose, %	0	6	12	6	12	12
Treatments:	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Sorghum	66.9	59.6	51.8	59.8	52.5	52.4
Soybean meal	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Dry whey	--	8.6	17.2	--	--	8.6
Lactose	--	--	--	6.3	12.6	6.3
Soy concentrate	5.0	5.0	5.0	5.0	4.8	4.8
Fishmeal	2.0	3.0	2.5	2.7	2.0	2.3
Swine plasma ^a	2.0	--	--	2.0	4.0	2.0
Tallow	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Ca carbonate	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0
Orthophosphate	2.2	1.9	1.7	2.3	2.4	2.0
Lysine HCl	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
Methionine	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3
Treonine	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
Minerals ^b	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Vitamins ^c	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Zinc oxide	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Chromium oxide	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Salt	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Triptosine	0.1	0.1	0.1	0.1	--	--
Antibiotic	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

DWL= Dry whey lactose, CL= Crystalline lactose.

a Dehydrated plasma (spray dry).

b Mineral supplement which provided per kg of feed: Cu 9mg, I 4.5mg, Fe 105mg, Mn 23.5mg, Se 0.103mg, Zn 117.5mg.

c Vitamin supplement which provided per kg of feed: Vitamin A 6.8 IU/g, Vitamin D 1.35 IU/g, Vitamin E 0.10 IU/g, Choline 361mg/kg, Niacin 55.7mg/kg, Pantotenic Acid 13.6mg, Riboflavin 2.27mg/kg, Vitamin B₁₂ 37 µg/kg.

promedio de 6.6 ± 0.9 kg; conformando ocho grupos con seis animales cada uno; distribuyéndolos al azar entre los seis tratamientos de acuerdo a su peso inicial, bajo un diseño de bloques completos al azar. Inmediatamente después del destete los lechones se alojaron en jaulas de digestibilidad individuales con piso de rejilla y una superficie de 0.68 m², equipadas con bebedero de chupón y charolas que permiten la colecta de heces. La ventilación de la sala de destete estuvo controlada en forma alterna, por medio de ventilación natural (ventanas) y extractor. La temperatura se reguló con el manejo de la ventilación y la ayuda de calefactores eléctricos, para mantenerla lo más estable posible dentro del rango de 27 a 33 °C en

the weaning room was controlled alternatively by windows and air extractors, temperature was controlled by ventilation and with electric heaters and kept within a range of 27 to 33 °C in the first week and decreasing the low temperature by 3 °C in the second week. After a week of adaptation of piglets to their cages and to the experimental diets, a proportional daily collection of feces (10 %) was performed for seven consecutive days, which were immediately frozen. At the end of this period, feces of each piglet were homogenized, dried in a forced air stove at 60 °C for 48 h and ground in a Roestch model ZM100 grinder provided with a 1 mm crib. In feces and experimental diets contents of dry matter, crude protein⁽¹²⁾, energy⁽¹³⁾ and chromium⁽¹⁴⁾ were

la primera semana, con reducción de la temperatura mínima equivalente a 3 °C en la segunda semana. Después de una semana de adaptación de los lechones a las jaulas y a las dietas experimentales, se realizó la recolección diaria de alícuotas de heces (10 % del total) durante un periodo de siete días consecutivos, las cuales se congelaron inmediatamente. Al término del periodo, las heces de cada lechón se homogeneizaron, se secaron en una estufa de aire forzado a 60 °C durante 48 h y se molieron utilizando una criba de 1 mm en un molino Roestch modelo ZM100. En las heces y en las dietas experimentales se determinó el contenido de materia seca, proteína cruda⁽¹²⁾, energía⁽¹³⁾ y cromo⁽¹⁴⁾; para el cálculo de digestibilidad aparente se utilizó la ecuación descrita por Reis de Souza *et al.*⁽¹⁵⁾.

Los lechones se pesaron al inicio y al final del experimento y tuvieron libre acceso al agua; el consumo de alimento se monitoreó diariamente. Al final del periodo experimental (14 días postdestete) los animales se adormecieron con CO₂ y posteriormente se sacrificaron seccionándoles la yugular. La cavidad abdominal fue abierta, se separaron y pesaron los órganos digestivos; se obtuvieron muestras de páncreas y de mucosa intestinal a través de un raspado del intestino delgado, para la determinación de la actividad enzimática de la amilasa pancreática (E.C. 3.2.1.1) y de la lactasa intestinal (E.C. 3.2.1.23-62). Las muestras colectadas fueron inmediatamente congeladas en nitrógeno líquido y conservadas a -70 °C, hasta la determinación de la actividad de la amilasa⁽¹⁶⁾ y de la lactasa⁽¹⁷⁾.

Los datos se analizaron por medio de un análisis de varianza, utilizando el procedimiento de análisis lineales generales (GLM) del paquete estadístico SAS⁽¹⁸⁾, según un diseño en bloques al azar, utilizando contrastes⁽¹⁹⁾ para realizar las siguientes comparaciones entre los tratamientos experimentales: dieta control *vs* las demás dietas, fuente de lactosa (suero seco de leche *vs* lactosa cristalina), nivel de lactosa (6 *vs* 12 %), interacción fuente x nivel, y el contraste entre 12 % de lactosa de la mezcla de fuentes (T6) *vs* 12 % de lactosa proveniente del suero seco de leche (T3).

determined. To estimate apparent digestibility the formula described by Reis de Souza *et al.*⁽¹⁵⁾ was used.

Piglets were weighted at the beginning and at the end of the experiment and had free access to water and feed intake was checked daily. At the end of the experiment (14 days after weaning), the animals were put to sleep with CO₂ and slaughtered by cutting the jugular vein. The abdominal cavity was opened, and the digestive organs were separated and weighted, samples of pancreas and intestinal mucosa were taken, to determine enzymatic activity of pancreatic amylase (E.C. 3.2.1.1) and intestinal lactase (E.C. 3.2.1.23-62). These samples were frozen immediately in liquid nitrogen and kept at -70 °C, until of amylase⁽¹⁶⁾ and lactase⁽¹⁷⁾ activity was determined.

Data were analyzed by means of a variance analysis, using the GLM procedure of the SAS statistical software package⁽¹⁸⁾, in accordance with a randomized block design, using contrasts⁽¹⁹⁾ for comparisons between treatments: Control *vs* other diets, lactose source (DWL *vs* CL), lactose amount (6 *vs* 12 %), source x amount interaction and contrast between 12 % DWL+CL lactose (T6) *vs* 12 % DWL lactose (T3).

Enzymatic activity

Piglets fed with diets supplemented with lactose (T2, T3, T4 T5 and T6) showed more lactase activity ($P < 0.01$) in the intestinal mucosa than those of the control group (Table 2). Those fed with crystalline lactose (T4, T5) showed more lactase activity ($P < 0.001$) than those fed with dry whey lactose (T2, T3). The combination of both lactose sources (T6) stimulated lactase activity ($P < 0.05$) when compared to 12 % DWL lactose (T3). Weaning depresses lactase activity, as piglets still on milk of the same age show higher lactase activity^(20,21). In this study, lactose in diets, whatever its source, stimulated lactase activity, as those fed with lactose showed 68 % more activity than those in the control group. Crystalline lactose showed higher capacity to stimulate lactase activity than dry whey lactose relative to the control group (104 *vs* 32 %). Lactose amount had an important

Cuadro 2. Actividad total de la lactasa en la mucosa intestinal y de la amilasa pancreática

Table 2. Total activity of pancreatic amylase and of lactase in intestinal mucosa

Diets	Control	DWL		CL		DWL+CL		Contrasts					
		0	6	12	6	12	12	SE	CxO ^a	S ^b	R ^c	SxR ^d	T3xT6
Treatments:	T1	T2	T3	T4	T5	T6	SE						
Lactase ^e													
UI/g of mucosa	25	36	30	58	44	44	1.8	**	***	*	NS	*	
Amylase ^f													
UI/g of pancreas (x 10 ³)	281	278	274	278	265	257	4.2	NS	NS	NS	NS	NS	NS

DWL= Dry whey lactose; CL = Crystalline lactose; SE= Standard error.

a Control vs other treatments; b lactose source; c Lactose rate; d Source x rate interaction.

e UI= μmol of hydrolyzed substrate per minute; f UI= μmol of liberated glucose in 30 min.

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$; NS= Non significant.

Actividad enzimática

Los animales alimentados con las dietas complementadas con lactosa tuvieron una mayor ($P < 0.01$) actividad de la lactasa a nivel de la mucosa intestinal en relación a los lechones del grupo testigo (Cuadro 2). También se observó que la actividad de la lactasa en los animales que consumieron lactosa cristalina (T4 y T5) fue mayor ($P < 0.001$) que en aquéllos que consumieron lactosa proveniente del suero seco de leche (T2 y T3). La mezcla de las dos fuentes de lactosa (T6) estimuló ($P < 0.05$) la actividad de la lactasa en comparación con la dieta T3 (12 % de lactosa de suero seco de leche). Se ha mencionado un efecto negativo del destete, sobre la actividad de la lactasa, ya que lechones destetados muestran una menor actividad lactásica que lechones lactantes de la misma edad^(20,21). En el presente trabajo, la presencia de lactosa en la dieta, independientemente de la fuente, estimuló la actividad de la lactasa, observándose un 68 % más de actividad en el grupo de lechones complementados que en el grupo control. La lactosa cristalina tuvo mayor capacidad de estimulación que la lactosa proveniente del suero seco de leche con respecto al grupo control (104 vs 32 %). El nivel de inclusión de lactosa también tuvo un papel importante, puesto que el incremento de 6 a 12 % de lactosa en la dieta no ocasionó un aumento en su actividad, sino por el contrario, provocó una

effect, because an increase from 6 to 12 % didn't increase lactase activity, but a 21 % decrease ($P < 0.05$). This could be owing to the fact that in those individuals whose lactose intake coming from diets was higher, an important fraction was used by microbes in the intestine lumen⁽²²⁾, thus decreasing substrate in the mucosa and therefore generating a lower enzyme stimulus.

With reference to pancreatic amylase, no differences between treatments could be seen ($P > 0.05$), and no data was found in bibliography to corroborate this. However, Lindemann *et al.*⁽²³⁾ report an increase in amylase activity when DWL was added to starter diets. Lactose's source seems to influence amylase activity, because higher activity of this enzyme has been found in individuals fed with whey in their diets compared to those fed with skim milk⁽²⁴⁾.

Digestive organs' weight

Pancreas and small intestine weight in grams is shown in Table 3 as well as relative to live weight (g kgLW^{-1}) and metabolic weight ($\text{g kgLW}^{0.75}$). Pancreas weight showed differences ($P < 0.01$) between the control and the other treatments, being higher and more developed in those individuals fed with lactose, however, when related to live and metabolic weight, no differences ($P > 0.05$) were

disminución ($P < 0.05$) de la actividad del 21 %. Esto pudo ser debido a que en los animales que consumieron el nivel más alto de lactosa, una mayor proporción de la lactosa dietética fue utilizada por los microorganismos a nivel del lumen intestinal⁽²²⁾, lo que provocó una menor cantidad de sustrato a nivel de mucosa y consecuentemente una menor estimulación de la enzima.

Con relación a la actividad de la amilasa pancreática, no se observaron diferencias entre los tratamientos ($P > 0.05$); no se encontraron en la literatura datos que corroboren estos resultados, sin embargo, Lindemann *et al.*⁽²³⁾ observaron un incremento de la actividad de la amilasa al incluir lactosa (proveniente de suero seco de leche) en la dieta de iniciación. El tipo de subproducto lácteo parece influenciar la actividad de la amilasa, ya que se ha encontrado una mayor actividad de esta enzima en animales alimentados con suero de leche en sus alimentos en comparación a otros que consumieron dietas con leche descremada⁽²⁴⁾.

Pesos de los órganos digestivos

Los pesos del páncreas y del intestino delgado de los lechones (Cuadro 3) se indican en gramos (g),

seen. Source, lactose rate, as well as interaction rate x source were non significant. Small intestine weight ($P < 0.001$) or relative to live weight ($P < 0.05$) or metabolic weight ($P < 0.01$) was higher in individuals fed with lactose in the 14 days after weaning, when compared to those in the control group. Lactose stimulus on pancreas and small intestine development is in accordance with what has been observed by other authors⁽²⁴⁾, in this study increases of 37 and 46 % were observed. This could be because in individuals fed with dry whey, protein quality contributed by whey and other bioactive milk components, could be involved in health and development processes⁽²⁵⁾ of weaned piglets. In the case of individuals fed with crystalline lactose, especially those in the higher rate, this effect could be owing to the presence of volatile fatty acids (VFAs)⁽²⁶⁾, because of microbial fermentation, which apparently is increased in these animals.

Nutrient digestibility

Relative to dry matter (DMTDC), the control diet was more digestible ($P < 0.05$), as can be seen in Table 4. When lactose sources were compared, diets containing DWL (T2, T3) showed higher

Cuadro 3. Peso del páncreas y del intestino delgado en lechones a los 14 días postdestete

Table 3. Pancreas and small intestine weight in piglets at 14 days after weaning

Diets	Control	DWL		CL		DWL+CL		Contrasts					
		0	6	12	6	12	12		CxO ^a	S ^b	R ^c	SxR ^d	T3xT6
Treatments:	T1	T2	T3	T4	T5	T6	SE						
Pancreas:													
grams	13.8	19.3	18.9	16.4	22.1	18.1	0.7	**	NS	NS	NS	NS	NS
g/kg LW	2.1	2.5	2.4	2.1	2.4	2.2	0.1	NS	NS	NS	NS	NS	NS
g/kg LW ^{0.75}	3.3	4.2	4.0	3.4	4.1	3.8	0.1	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Small Intestine:													
grams	359	527	502	498	604	485	13.4	**	NS	NS	NS	NS	NS
g/kg LW	55	70	64	63	65	61	1.5	*	NS	NS	NS	NS	NS
g/kg LW ^{0.75}	88	115	106	104	113	102	2.5	**	NS	NS	NS	NS	NS

DWL= Dry whey lactose; LC = Crystalline lactose; SE= Standard error.

LW= Live weight; LW^{0.75}= Metabolic weight

a Control vs other treatments; b Lactose source; c Lactose rate; d Source x rate interaction.

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; NS= Non significant

en relación al peso vivo (g/kg PV) y al peso metabólico (g/kg PV^{0.75}). El peso del páncreas difirió ($P < 0.01$) entre el testigo y los demás tratamientos, observándose que los animales que consumieron lactosa en la dieta tuvieron un páncreas más desarrollado, sin embargo, cuando éste fue relacionado al peso vivo, o al peso metabólico, la diferencia entre tratamientos no fue significativa ($P > 0.05$). Los efectos de la fuente, del nivel de lactosa, así como de la interacción fuente x nivel no fueron significativas. El peso del intestino delgado ($P < 0.001$), o con relación al peso vivo ($P < 0.05$), o metabólico ($P < 0.01$) fue mayor en los lechones que ingirieron las fuentes de lactosa en los primeros 14 días posdestete, en comparación con el grupo testigo. El efecto estimulante de la lactosa sobre el crecimiento del páncreas y del intestino delgado en relación a los animales que consumieron la dieta testigo (37 y 46 % superiores), concuerda con resultados presentados en la literatura⁽²⁴⁾. Esto pudo deberse en el caso de los lechones complementados con suero seco de leche, a la calidad de la proteína aportada por el suero y a los factores conocidos como componentes bioactivos de la leche, los cuales pueden estar involucrados en los procesos de desarrollo y salud de los neonatos⁽²⁵⁾. En el caso de los lechones que consumieron lactosa cristalina, sobre todo en el nivel más alto, el efecto podría ser el resultado de la presencia de los ácidos grasos volátiles (AGV's)⁽²⁶⁾ producidos por el proceso de fermentación microbiana, que aparentemente está incrementado en estos animales.

digestibility (DMTDC), 78.2 % on average, than those with CL (T4; T5), 73.3 % on average. In the T6 treatment, in which both lactose sources were meted out, similar digestibility values to that of the 12 % DWL diet were observed ($P > 0.05$). Effects due to lactose and interaction source x rate were non significant ($P > 0.05$). Protein digestibility in the control diet (75.5 %) was higher ($P < 0.01$) than in all the other treatments (67.8 %). A depressor effect on CPTDC owing to CL was seen in T4 and T5 (65 %). In consequence, the source effect was significant ($P < 0.01$), as protein digestibility in those diets with DWL was higher. Rate and interaction rate x source were non significant ($P > 0.05$). Individuals fed control diet (T1= 81.8 %) showed a higher ($P < 0.01$) energy digestibility coefficient (EnTDC) relative to those fed with the lactose diets (75.7 %). DWL (77.4 %) showed higher EnTDC than CL (73.4 %) ($P < 0.05$). When both lactose sources were administered, a positive influence on EnTDC was observed (T6= 77.2 %), as the coefficient was similar to that obtained for 12 % DWL (T3= 77.9 %). Interaction source x rate was non significant for EnTDC. As a consequence of higher enzymatic activity and of digestive organs seen in those individuals fed with lactose, a higher nutrient digestibility was to be expected, especially in those fed with crystalline lactose, however, DMTDC in those diets (T4, T5) is similar to that mentioned in literature⁽²²⁾ (73.2 vs 72.0 %, respectively). The results obtained in this study differ from those observed by other authors^(27,28), who indicate that lactose addition in

Cuadro 4. Coeficientes de digestibilidad total aparente de los nutrientes

Table 4. Nutrient apparent total digestibility coefficients (%)

Diets	Control	DWL		CL		DWL+CL	SE	Contrasts				
		6	12	6	12			12	CxO ^a	S ^b	R ^c	SxR ^d
Treatments:	T1	T2	T3	T4	T5	T6						
Dry matter	81.0	77.3	79.0	74.9	71.7	77.2	0.2	*	**	NS	NS	NS
Protein	75.5	67.8	72.4	65.5	64.4	69.0	0.3	**	**	NS	NS	NS
Energy	81.8	76.8	77.9	74.4	72.4	77.2	0.7	**	*	NS	NS	NS

DWL= Dry whey lactose; LC = Crystalline lactose; SE= Standard error.

a Control vs other treatments; b Lactose source; c Lactose rate; d Source x rate interaction.

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; NS= Non significant.

Digestibilidad de los nutrimentos

Para la materia seca (CDTaMS), se observa en el Cuadro 4 que la dieta testigo fue más digestible ($P < 0.05$). Cuando se compararon las fuentes de lactosa, las dietas con suero seco de leche (T2 y T3) mostraron un mayor ($P < 0.01$) CDTaMS (78.2 % en promedio) en relación a las dietas T4 y T5 con lactosa cristalina (73.3 % en promedio). La mezcla de las dos fuentes de lactosa utilizadas (T6) disminuyó el efecto depresor de la lactosa cristalina sobre la digestibilidad de la materia seca, pues la elevó a valores similares ($P > 0.05$) a los de la dieta con 12 % de lactosa proveniente de suero seco de leche (T3). El efecto de nivel de inclusión de lactosa y la interacción fuente x nivel no fueron significativos ($P > 0.05$). La digestibilidad de la proteína de la dieta testigo (75.5 %) fue mayor ($P < 0.01$) en relación a las demás dietas (67.8 %). Se observó un efecto depresor de la lactosa cristalina en los CDTaPC de T4 y T5 (65.0 %). En consecuencia, el efecto fuente fue significativo ($P < 0.01$), siendo que la digestibilidad de las proteínas de las dietas con suero seco de leche fue mayor. El nivel y la interacción fuente x nivel no fueron significativos ($P > 0.05$). Los animales que consumieron la dieta testigo (T1 = 81.8 %), tuvieron un mejor ($P < 0.01$) coeficiente de digestibilidad total aparente de la energía (CDTaEn) en relación a los animales alimentados con dietas complementadas con lactosa (75.7 % en promedio). El efecto fuente también fue significativo ($P < 0.05$), revelando la superioridad del suero seco de leche (77.4 %) en relación a la lactosa cristalina (73.4 %). La combinación de las dos fuentes de lactosa tuvo un efecto positivo sobre el CDTaEn (T6 = 77.2 %), ya que se obtuvo una digestibilidad similar a la observada en la dieta con 12 % de lactosa proveniente de suero seco de leche (T3 = 77.9 %). Para el CDTaEn, la interacción fuente x nivel de lactosa tampoco fue significativa. Como consecuencia del mejoramiento de la actividad enzimática y el mayor desarrollo de los órganos digestivos observados en los animales que consumieron las dietas complementadas con lactosa, se esperaría una mejor expresión de la digestibilidad de los nutrimentos, sobre todo en el caso de las dietas con lactosa cristalina; sin embargo, el promedio de los CDTaMS en estas dietas (T4 y

the diet improve apparent total digestibility of nutrients. The DMTDC and EnTDC found in this experiment agree with other authors^(29,30), who observe that dairy byproducts are highly digestible. However, total digestibility didn't corroborate what was observed by Chae *et al.*⁽³¹⁾ at the ileal level, that powdered milk proteins were more digestible than those of swine plasma. Differences between these results could be related to the diverse types of protein present in whole milk and whey⁽²⁴⁾, or to where digestibility is determined, which could influence digestibility coefficient values, owing to microbial activity in the small and large intestines⁽³²⁾.

It can be concluded that lactose in newly weaned piglet diets, whatever be its source, promoted pancreas and small intestine development in the first 14 days after weaning, stimulated intestine lactase activity, being crystalline lactose more efficient in this respect, and didn't affect pancreatic amylase activity. Crystalline lactose diminished dry matter, crude protein and energy apparent total digestibility relative to dry whey lactose. When both sources of lactose were administered simultaneously morphophysiological development of the digestive system showed positive results.

ACKNOWLEDGEMENTS

To QFB Juan Guillermo Cervantes Huerta for laboratory analyses, to CONACYT - Sistema Regional Miguel Hidalgo (SIHGO) for the financial support which made this research project possible and to ALGOFE - Nutrición Total for the experimental feed.

End of english version

T5) no difiere de valores mencionados en la literatura⁽²²⁾ (73.2 vs 72 %, respectivamente). Los resultados del presente trabajo difieren de las afirmaciones de diferentes autores^(27,28), quienes sugieren que la adición de lactosa a la dieta mejora la digestibilidad total aparente de los nutrimentos. De un modo general, los coeficientes de digestibilidad

de la materia seca y de la energía corroboran las observaciones de diferentes autores^(29,30), los cuales indican que los subproductos lácteos son altamente digestibles. Sin embargo, la digestibilidad total no corroboró las observaciones de Chae *et al.*⁽³¹⁾ a nivel ileal, de que las proteínas de la leche en polvo fueron más digestibles que las del plasma porcino. Las diferencias entre estos resultados pueden estar relacionados con los distintos tipos de proteínas presentes en la leche entera y en el suero de leche⁽²⁴⁾; o por el lugar de determinación de la digestibilidad, el cual influye en los valores de los coeficientes de digestibilidad obtenidos, debido a la diferente actividad microbiana existente en los intestinos delgado y grueso⁽³²⁾.

Se concluye que la presencia de lactosa en la dieta para lechones recién destetados, independientemente de la fuente utilizada, promovió el desarrollo del páncreas y del intestino delgado en los primeros 14 días posdestete; estimuló la actividad de la lactasa intestinal, siendo la forma cristalina más eficiente en esta estimulación, y no afectó la actividad de la amilasa pancreática. La lactosa cristalina disminuyó la digestibilidad total aparente de la materia seca, proteína cruda y energía en relación a las dietas con suero seco de leche. La combinación de las dos fuentes de lactosa proporcionó resultados positivos en el desarrollo morfofisiológico del aparato digestivo de los lechones.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al QFB Juan Guillermo Cervantes Huerta por los análisis de laboratorio, así como al CONACYT - Sistema Regional Miguel Hidalgo (SIHGO) por el financiamiento otorgado para la realización del presente trabajo; y a la empresa ALGOFE - Nutrición Total por el suministro del alimento experimental.

LITERATURA CITADA

- 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.
- Owen KQ, Neelsen JL, Tokach MD, Goodband RD, Dritz SS, Kats LJ. The effect of increasing level of lactose in a porcine plasma-based diet for the early weaned pigs [resumen]. *J Anim Sci* 1993;(71, Suppl 1):175.
- Nessmith WB, Nelssen JL, Tokach MD, Goodband RD, Bergtröm JR, Dritz SS, Richert BT. Evaluation of the interrelationships among lactose and protein sources in diets for segregated early-weaned pigs. *J Anim Sci* 1997;75:3214-3221.
- Owsley WF, Orr DE Jr., Tribble LF. Effects of nitrogen and energy source on nutrient digestibility in the young pig. *J Anim Sci* 1986;63:492-504.
- Tokach MD, Pettigrew JE, Johnston LJ, Overland M, Rust JW, Cornelius SG. Effects of adding fat and (or) milk products to the weaning pig diet on performance in the nursery and subsequent grow-finish stages. *J Anim Sci* 1995;73:3358-3368.
- 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.
- Cera KR, Mahan DC, Reinhart GA. Effects of dietary whey and corn oil on weaning pig performance, fat digestibility and nitrogen utilization. *J Anim Sci* 1988;66:1438-1445.
- Clarkson JR, Allee GL. Effect of diet and method of feeding on performance of pigs weaned at three weeks [resumen]. *J Anim Sci* 1982;(55 Suppl 1):90.
- Crow SD, Touchette KJ, Allee GL, Newcomb MD. Late nursery pigs respond to lactose (day 7-21 post weaning) [resumen]. *J Anim Sci* 1995;(73 Suppl 1):71.
- NRC. National Research Council. The nutrient requirements of swine. 10th ed. Washington, DC: National Academy Press; 1988.
- Baker DH. Ideal amino acid profiles for swine and poultry and their applications in feed formulation. *Fermex Technical Review* 1997;2:1-24.
- AOAC. Official methods of analysis. 15th ed. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists; 1990.
- Bateman JV. Nutrición animal. Manual de métodos analíticos. México: Herrero Hnos. y Sucesores; 1970.
- 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.
- Reis de Souza TC, Mariscal GL, 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.
- Métais P, Bieth J. Determination de l'amylose par une micro technique. *Ann Biol Cli* 1968;26:133-142.
- Dahlquist A. Methods of assay of intestinal disaccharidases. *Anal Biochem* 1964;7:18-25.
- SAS. User's Guide: Statistics. SAS. Inst. Inc. Cary, NC; 1988.
- Steel RGD, Torrie JH. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. 2nd ed. New York, USA: McGraw-Hill Book Co.;1985.
- Miller BG, James PS, Bourne FJ. Effect of weaning on the capacity of pig intestinal villi to digest and absorb nutrients. *J Agric Sci* 1986;107:579-589.
- Hampson DJ, Kidder DE. Influence of creep feeding and weaning on brush border enzyme activities in the piglet small intestine. *Res Vet Sci* 1986;40:24-31.

22. Campabadal C, Navarro GH. Alimentación del lechón al destete. *Asociación Americana de Soya A.N.* 1996;146:26.
23. 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.
24. Graham PL, Mahan DC, Shields RG Jr. Effects of starter diet and length of feeding regimen on performance and digestive enzyme activity of 2-week old weaned pigs. *J Anim Sci* 1981;53:299-307.
25. Zinn SA. Bioactive components in milk: Introduction. *Livest Prod Sci* 1997;50:101-103.
26. Stephen A. Constipation. In: Trowell HC, Burkitt DP, Heaton K editors. *Dietary fibre, fibre-depleted foods and disease.* London: Academic Press; 1985.
27. Giensing DW, Easter RA, Roe BA. A comparison of protein and carbohydrate sources of milk and plant origin for starter pigs [resumen]. *J Anim Sci* 1985;(61, Suppl 1):299.
28. Aumaitre A. Effects of sources of carbohydrate (lactose or starch) on the enzymatic response of digestive tract of weaned piglet. *Proc. 47 Annual EAAP Meeting.* Lillerhammer, Noruega. 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. Viljoen J, Coetzee SE, Fick JC, Siebrits FK, Hayes JP. The ileal amino acid digestibility of different protein sources for early-weaned piglets. *Livest Prod Sci* 1998;54:45-53.
31. Chae BJ, Han IK, Kim JH, Yang CJ, Hamcock 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.
32. Reis de Souza TC, Mariscal GL. El destete, la función digestiva y la digestibilidad de los alimentos en cerdos jóvenes. *Téc Pecu Méx* 1997;35(2):145-150.