

Efecto de diferentes cereales sobre la morfología intestinal de lechones recién destetados

Effect of different cereals on intestinal villous morphology in weaned piglets

Tércia Cesária Reis de Souza^a, María de Jesús Guerrero Carrillo^a, Araceli Aguilera Barreyro^a, Gerardo Mariscal Landín^b

RESUMEN

Veinte lechones destetados (LD) a los 20.4 días, se sacrificaron a los 15 días postdestete para evaluar el efecto de diferentes cereales sobre la morfología intestinal. Los tratamientos fueron: dieta testigo (DT) con almidón de maíz, y cuatro dietas con cereales (avena, maíz y dos híbridos de sorgo) substituyendo el almidón. Al destete se sacrificaron cuatro lechones lactantes (LL) como control. El peso del intestino delgado (ID) en gramos o en g/kg de peso fue mayor ($P < 0.001$) en los LD (383 g y 47 g/kg) que en los LL (166 g y 33 g/kg); no hubo diferencias ($P > 0.05$) entre los LD que consumieron las dietas con cereales. En duodeno no varió la altura de las vellosidades de LL (352 μm) y LD (342 μm). En yeyuno hubo un acortamiento de las vellosidades ($P < 0.05$) en los LD (367 μm) con relación a LL (523 μm), excepto en los que consumieron DT (445 μm). En el íleon los LD de DT (331 μm), avena (354 μm), maíz (326 μm) y sorgo1 (300 μm) presentaron vellosidades más largas ($P < 0.05$) que los LL (162 μm). Las vellosidades del duodeno fueron más anchas ($P < 0.05$) en los animales de las dietas con cereales (154 μm) que en los LL (109 μm). En íleon los LL tuvieron vellosidades más delgadas (78 μm) ($P < 0.001$) que los LD (106 μm). En yeyuno no hubo diferencias ($P > 0.05$). La profundidad de las criptas aumentó en los LD en relación a los LL (duodeno 236 vs 143 μm ($P < 0.05$); yeyuno 180 vs 58 μm ($P < 0.01$) e íleon 167 vs 80 μm , ($P < 0.01$)), sin haber efecto del cereal. Las dietas con almidón de maíz o con los cereales estimularon el crecimiento del ID y no causaron efectos detrimentales en la morfología intestinal.

PALABRAS CLAVE: Avena, Maíz, Sorgo, Lechones, Vellosidades intestinales.

ABSTRACT

Twenty piglets weaned (WP) at 20.4 d were slaughtered 15 d post-weaning to evaluate the effect of four cereals on intestinal villous morphology. Treatments were a control diet (CD) containing corn starch, and four experimental diets with oats, corn or one of two sorghum hybrids used instead of corn starch. Four suckling piglets (SP) were slaughtered at weaning as a control group. Small intestine weight (absolute (g) or relative (g/kg)) was higher ($P < 0.001$) in WP (383 g and 47 g/kg) than SP (166 g and 33 g/kg), and similar ($P > 0.05$) between the WP fed the experimental diets. There were no significant differences ($P > 0.05$) in duodenal villus height between SP (352 μm) and WP (342 μm). Jejunal villi were shorter ($P < 0.05$) in WP (367 μm) than SP (523 μm), except in piglets fed the CD (445 μm). Ileac villi were higher ($P < 0.05$) in piglets fed the CD (331 μm), oats (354 μm), corn (326 μm) and sorghum1 (300 μm) diets than in the SP (162 μm). Duodenal villi were wider ($P < 0.05$) in the WP fed experimental diets (154 μm) than in the SP (109 μm). Ileac villi were thinner ($P < 0.001$) in the SP (78 μm) than in the WP (106 μm). No differences were observed in the jejunum. Crypt depth increased in all intestine sections in the WP versus the SP (duodenum: 236 μm vs 143 μm ($P < 0.05$); jejunum 180 μm vs. 58 μm ($P < 0.01$); ileum 167 μm vs 80 μm ($P < 0.01$)) with no observed effect from carbohydrate source. The diets containing corn starch or any of the four cereals stimulated small intestine growth and had no apparent detrimental effects on intestinal morphology.

KEY WORDS: Cereals, Villus, Weaned piglets, Small intestine.

INTRODUCCIÓN

El intestino delgado de los lechones recién nacidos pasa por un proceso de desarrollo acelerado durante

INTRODUCTION

The small intestine of newborn pigs experiences a rapid development process during the first 10 d of

Recibido el 24 de febrero de 2003 y aceptado para su publicación el 18 de abril de 2005.

^a Facultad de Ciencias Naturales - Universidad Autónoma de Querétaro. Av. 16 de Septiembre 63 Ote. Colonia Centro. 76000 Querétaro-Qro. México. terciaria@uaq.mx. Correspondencia al primer autor.

^b CENID Fisiología y Mejoramiento Animal - Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

los primeros 10 días de vida, ocurriendo incrementos significativos en su peso, longitud y diámetro, que están asociados al aumento del peso de la mucosa intestinal, de la altura y diámetro de sus vellosidades y de la población celular^(1,2,3). Para que los procesos de digestión y absorción de los nutrimentos se den de una manera satisfactoria, es necesario que se mantenga la integridad de la mucosa intestinal, la cual depende del recambio y de la renovación de sus células⁽⁴⁾. La función digestiva (secreción de carbohidrasas y peptidasas) de los enterocitos y sus microvellosidades comienza solamente cuando se completa la diferenciación estructural de la mucosa, que generalmente ocurre durante el periodo de migración de las células sobre el primer tercio de la vellosidad^(5,6). La absorción de azúcares y aminoácidos, empieza cuando el enterocito pasa la mitad de la vellosidad y continúa aumentando hasta que son descamados en la punta de ésta^(5,6).

Después del destete, los lechones manifiestan varios síntomas del estrés al que son sometidos en esta fase de su vida, que incluyen un periodo de subalimentación ocasionando atrofia de las vellosidades⁽⁷⁾, lo que resulta en una menor capacidad para digerir y absorber los nutrimentos y muchas veces en diarreas⁽⁸⁾. Los cambios morfológicos de la mucosa intestinal observados en la fase posdestete son resultantes de la baja capacidad del tracto intestinal de adaptarse al nuevo ambiente nutricional que se establece en su interior⁽⁹⁾. Estos cambios microscópicos se relacionan con la edad y peso del lechón⁽¹⁰⁾, el bajo consumo de alimento^(7,11) y con las materias primas que componen el alimento consumido por los animales⁽¹⁰⁾.

Los efectos dañinos de los factores antinutricionales de las leguminosas, principalmente de la soya, en los lechones recién destetados han sido ampliamente estudiados^(8,12,13,14). En relación a los cereales, que son los ingredientes presentes en mayor proporción en las dietas de iniciación (50 a 70 %), no están bien determinadas las consecuencias de su uso sobre la integridad intestinal⁽¹⁵⁾. Los taninos⁽¹⁴⁾ y los polisacáridos no amiláceos de los cereales^(15,16,17) podrían afectar negativamente la estructura de la mucosa del intestino delgado⁽¹⁶⁾ y consecuentemente la digestibilidad de la dieta^(16,17), lo que limitaría su inclusión en las raciones para lechones en las fases iniciales de alimentación. Es

life. Significant growth in intestinal weight, length and diameter are associated with a rise in intestinal mucosa weight, increases in villus height and diameter and cell population^(1,2,3). For nutrient digestion and absorption to occur properly intestinal mucosa membrane must be kept intact, which depends on replacement and renewal of its cells⁽⁴⁾. The digestive function (i.e. carbohydase and peptidase secretion) of enterocytes and their microvilli only begins after structural differentiation of the mucous membrane is complete, which usually occurs during cell migration over the first third of the villi^(5,6). Sugar and amino acids absorption starts when the enterocyte passes the half-way point of the villus and continues increasing until scaling off at its apex^(5,6).

After weaning, piglets exhibit a number of symptoms related to the stress they undergo at this life stage. This includes a period of underfeeding caused by villous atrophy⁽⁷⁾ that results in lower digestive and nutrient absorption capacity often accompanied by diarrhea⁽⁸⁾. Morphological changes at intestinal mucosa during weaning result from the intestinal tract's limited ability to adapt to the new nutritional environment being established within it⁽⁹⁾. These microscopic changes are related to piglet age and weight⁽¹⁰⁾, low feed intake^(7,11) and raw materials used in the feed⁽¹⁰⁾.

Many studies have been done on the damaging effects in recently weaned piglets of the antinutritional factors in legumes, mainly soybean^(8,12,13,14), but the effects of cereals, which can account for 50 to 70 % of the contents of starting diets, on intestinal health have not been widely researched⁽¹⁵⁾. Cereals' tannins and non-amylaceous polysaccharides^(15,16,17) may negatively affect the structure of small intestinal mucosa⁽¹⁶⁾, diminishing diet digestibility^(16,17) and limiting their inclusion levels in piglet starting diets. It is therefore quite important to understand the morphological changes in the small intestine and its mucosa in response to cereals used in swine feed to facilitate selection of the proper raw materials for formulating piglet feed. This study was aimed at understanding the effects of different cereals included in diets for recently weaned piglets on small intestine weight, intestinal villus height and width, and depth of adjacent crypts.

importante por lo tanto, conocer los cambios morfológicos que ocurren en el intestino delgado y su mucosa, en respuesta a los diferentes cereales disponibles para la alimentación porcina ayudando así a la selección de materias primas que componen las dietas para los cerdos jóvenes. Este trabajo tuvo como objetivo conocer el efecto de diferentes cereales (avena, maíz y dos híbridos de sorgo) incluidos en dietas para lechones recién destetados, sobre el peso del intestino delgado, la altura y

MATERIALS AND METHODS

Five experimental treatments (Table 1) were formulated using oats (O), corn (C) one of two sorghum hybrids (Sorghum 1 = Pioneer 8428 and Sorghum 2 = Dekalb D-69) or corn starch (control diet - CD). All diets contained one of the above ingredients mixed with skimmed milk (86 %) and casein (14 %) supplemented with vitamins and minerals (see Table 2 for chemical composition).

Cuadro 1. Composición centesimal y química de las dietas experimentales

Table 1. Centesimal and chemical composition of experimental diets

	Diets				
	Control	Oats	Corn	Sorghum 1	Sorghum 2
Corn starch	50.28	-	-	-	-
Oats	-	54.76	-	-	-
Corn	-	-	52.92	-	-
Sorghum 1 ^a	-	-	-	55.18	-
Sorghum 2 ^b	-	-	-	-	55.18
Skimmed milk	38.09	34.86	36.44	34.39	34.39
Casein	6.22	5.69	5.95	5.62	5.62
Corn oil	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Orthophosphate	1.21	0.47	0.49	0.56	0.56
Minerals ^b	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Vitamins ^c	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Zinc oxide	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Antibiotic ^d	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Chromium oxide	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Salt (NaCl)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Calcium carbonate	--	0.02	--	0.05	0.05
Chemical composition					
Dry matter, %	95.1	95.6	94.4	93.5	94.7
Crude protein. % ^e	19.7	24.9	23.3	21.5	22.5
Neutral detergent fiber, % ^e	--	15.9	5.1	7.1	6.5
Acid detergent fiber. % ^e	--	6.1	0.6	3.1	3.0
Metabolizable energy (Mcal/kg) ^f	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5

^a Sorghum 1 = Pioneer 8428; Sorghum 2 = Dekalb D-69.

^b Mineral premix given per kilogram of diet: copper 14.4 mg, iodine 1.0 mg, iron 120 mg, manganese 36.0 mg, selenium 0.3 mg, zinc 144.0 mg.

^c Vitamin premix given per kilogram of diet: vit A (10,200 UI), vit D (1980 UI), vit E (60 UI), vit K (1.20 mg), coline (967 mg), niacin (36 mg), pantothenic acid (16.6 mg), riboflavin (7.2 mg), thiamine (0.3 mg), pyridoxine (0.31 mg), biotin (0.08 mg), folic acid (0.75 mg) and vit B₁₂ (40 mđg).

^d Aureo SP-250 G: chlortetracycline 44 g/kg, sodium sulfadimethylpyrimidine 44 g/kg and penicillin 22 g/kg.

^e Values in dry base.

^f Calculated value.

anchura de las vellosidades intestinales y la profundidad de las criptas adyacentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se conformaron cinco tratamientos experimentales (Cuadro 1), los cuales consistieron de una dieta testigo (DT) compuesta por almidón de maíz y una mezcla de leche en polvo descremada (86 %) y caseína (14 %), suplementada con vitaminas y minerales, y cuatro dietas con los diferentes cereales, los cuales sustituyeron al almidón de maíz: avena (A), maíz (M) y dos híbridos de sorgo (Sorgo 1 = Pioneer 8428 y Sorgo 2 = Dekalb D-69). La composición química de los cereales se presenta en el Cuadro 2. Las dietas se balancearon para aportar o exceder los requerimientos propuestos por el NRC⁽¹⁸⁾. Una vez estimada la cantidad de energía aportada por el almidón de maíz en la dieta testigo, las dietas experimentales se formularon para que la energía proveniente del cereal fuera la misma. El experimento se condujo según la Norma Oficial Mexicana para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio⁽¹⁹⁾.

Se utilizaron 20 lechones machos castrados (cuatro lechones por tratamiento), destetados a los 20.4 ± 1.4 días de edad, con un peso promedio de 6.4 ± 0.9 kg, los cuales se instalaron en jaulas individuales, elevadas a 50 cm del piso, con una superficie de 0.68 m^2 , equipadas con un comedero individual, un bebedero de chupón y charolas recolectoras de heces y orina. Se constituyeron cuatro bloques de cinco animales cada uno, existiendo una observación (lechón) por tratamiento por bloque. Para la conformación de los bloques se tomó en consideración el peso inicial del animal y la camada de origen. Las dietas fueron proporcionadas a los animales desde el día del destete y hasta tres horas antes del sacrificio; con libre acceso a las dietas y agua. Los lechones permanecieron en las jaulas de digestibilidad durante las dos semanas posdestete, al final de la segunda semana se adormecieron por inhalación de bióxido de carbono durante 3 min, y se sacrificaron seccionándoles la yugular. El día del destete, del primer bloque se sacrificaron cuatro lechones con un peso promedio de 5.1 ± 0.2 kg empleando el

Cuadro 2. Composición química de los cereales

Table 2. Chemical composition of cereals

Component (%)	Oats	Corn	Sorghum 1	Sorghum 2
Dry matter	91.9	89.2	88.8	88.3
Crude protein	14.7	8.6	8.5	9.3
Tannins ^a	-	-	4.2	0.02
Neutral detergent fiber ^a	34.2	11.9	14.8	13.8
Acid detergent fiber ^a	16.2	3.9	6.5	6.5

^a Values in dry base.

Sorghum 1 = Pioneer 8428; Sorghum 2 = Dekalb D-69.

All diets were balanced to meet or exceed NRC requirements⁽¹⁸⁾. The experimental diets were formulated to ensure that the energy provided by each cereal was the same as that provided by the corn starch in the CD. Animal practices complied with Official Mexican Regulations (Norma Oficial Mexicana - NOM) for the production, care and use of laboratory animals⁽¹⁹⁾.

Twenty castrated male suckling piglets (i.e. four per treatment) weaned at 20.4 ± 1.4 d old and at 6.4 ± 0.9 kg average weight were used. They were placed in individual cages with 0.68 m^2 surface area, raised 50 cm above floor level and equipped with an individual feeder, a nipple water bottle and feces and urine collection pans. Piglets were divided into four blocks with one observation (piglet) per treatment per block. Blocks were arranged based on initial animal weight and litter of origin. Diets were fed from day of weaning to three hours before slaughter with free access to feed and water. The piglets were kept in the digestibility cages for two weeks post-weaning. At the end of the second week they were sedated by inhaling carbon dioxide for 3 min and then slaughtered by cutting the jugular vein. Four piglets with 5.1 ± 0.2 kg average weight, was slaughtered the day of weaning of the first block as a control group of animals without contact with solid feed (i.e. suckling piglets). After slaughtering, the animals were placed on their back, their abdomen cut open and the small intestine was dissected, emptied and weighed. Three sections corresponding to the duodenum, jejunum and ileum⁽²⁰⁾ were made and approximately 10 cm-long

mismo procedimiento; estos animales constituyeron el grupo control, sin contacto con alimento sólido (lechones lactantes).

Después del sacrificio, los lechones se colocaron en posición de decúbito dorsal incidiéndose la región abdominal; el intestino delgado se disecó, se vació y se pesó. Posteriormente se dividió en tres regiones (duodeno, yeyuno e íleon)⁽²⁰⁾ y se cortó una porción de cada región de aproximadamente 10 cm de largo. Una vez cortadas, las porciones se enjuagaron con solución salina, se anudaron los extremos con hilo cáñamo y se perfundieron con formalina neutralizada al 10 %⁽²¹⁾. Después de 48 h de la colecta, se procesaron los intestinos, los cuales se cortaron a 5 micras de espesor, utilizando la técnica de inclusión en parafina. Los cortes se tiñeron con hematoxilina-eosina⁽²¹⁾ y se observaron en un microscopio óptico Carl Zeiss (modelo K7) efectuándose diez mediciones por lámina⁽²¹⁾, para determinar el promedio de la altura (del ápice hasta la base) y la anchura (en la parte media) de las vellosidades, así como la profundidad de las criptas.

Los resultados se evaluaron por medio de un análisis de varianza según el modelo de bloques al azar, utilizando el procedimiento de Modelos Lineales Generales (GLM) del paquete estadístico SAS⁽²²⁾. La comparación de los promedios se realizó con la prueba de Duncan⁽²³⁾.

cuts taken from each. These cuts were soaked in saline solution, the ends tied off with hemp thread and then fixed in neutralized 10% formalin⁽²¹⁾. Intestine section were processed 48 h after collection by slicing into 5 micra-thick cuts using the paraffin inclusion technique. The cuts were dyed with hematoxyline-eosine⁽²¹⁾ and viewed with a microscope (Zeiss K7). Ten readings were taken per slide⁽²¹⁾ to determine average villus height (apex to base) and width (mid-section), as well as crypt depth.

Results were evaluated with an analysis of variance following the random block design with the General Linear Models (GLM) procedure of SAS⁽²²⁾. Means were compared with a Duncan test.

RESULTS

Daily feed intake

Daily feed intake did not differ (172 g/d) ($P > 0.05$) among animals consuming different experimental diets (Table 3). The suckling piglets (SP) slaughtered the day of weaning had not consumed solid feed.

Piglet and small intestine weight

At time of slaughter, weight for the piglets fed any of the four experimental diets was similar (8.2 kg) ($P > 0.05$) among treatments and higher ($P < 0.001$) than that of the SP slaughtered at

Cuadro 3. Consuno diario de alimento (CDA), peso de los lechones (PV) y peso del intestino delgado al momento del sacrificio

Table 3. Daily feed intake (DFI), piglet weight (PW) and intestine weight (IW) at slaughter time

	Suckling piglets ¹	Weaned piglets ²					Statistical analysis	
		Control	Oats	Corn	Sorghum 1	Sorghum 2	Diet	SEM ³
DFI (g/day) ⁴	0	168	179	167	173	174	NS	4.5
LW, kg	5.1 ^b	8.2 ^a	8.4 ^a	8.2 ^a	8.7 ^a	7.7 ^a	$P < 0.001$	0.2
IW, g	166 ^b	342 ^a	411 ^a	403 ^a	404 ^a	353 ^a	$P < 0.001$	0.1
Relative weight, g/kg LW	33 ^b	42 ^a	50 ^a	49 ^a	46 ^a	47 ^a	$P < 0.001$	1.0

¹ Slaughtered at weaning.

² Slaughtered 14 d post-weaning.

³ Standard error of mean.

⁴ Average feed intake during 14 d.

^{ab} Different letter superscripts in the same row indicate significant difference ($P < 0.05$).

Sorghum 1 = Pioneer 8428; Sorghum 2 = Dekalb D-69.

RESULTADOS

Consumo diario de alimento

El consumo diario de alimento no difirió (172 g/día) ($P > 0.05$) entre los animales que ingirieron las distintas dietas experimentales (Cuadro 3). Los lechones lactantes (LL) sacrificados al día del destete no consumieron alimento sólido.

Peso de los lechones y del intestino delgado

Al momento del sacrificio, el peso de los lechones que consumieron las dietas con los diferentes cereales fue semejante ($P > 0.05$) entre sí (8.2 kg), siendo superior ($P < 0.001$) al peso de los lechones lactantes sacrificados el día del destete. El intestino delgado fue más pesado ($P < 0.001$) en los lechones destetados con relación a los lactantes, cuando se expresó su peso en gramos (absoluto) (382 vs 166 g) o en relación al peso vivo (relativo) (47 vs 33 g/kg). No se encontraron diferencias en el peso

weaning. Small intestine weight was also higher ($P < 0.001$) in the weaned piglets (WP) than in the SP, both in absolute weight (382 vs 166 g) and relative live weight (47 vs 33 g/kg). No significant differences in absolute or relative small intestine weight existed among WP that had consumed different experimental diets.

Intestinal morphology

There were no significant differences in duodenal villus height between the SP and WP groups (Table 4). In contrast, jejunal villi were shortened ($P < 0.05$) in WP fed diets with oats, corn or either of the two sorghum hybrids versus the SP (29.9 % average). No difference was observed between control diet WP and the SP. Results for the ileum were the reverse, with the SP having shorter ($P < 0.05$) villi than the WP fed the control, oats, corn and sorghum 1 diets, with the most notable difference between the SP and the WP fed oats

Cuadro 4. Efecto de la dieta sobre la altura y anchura de las vellosidades y la profundidad de las criptas de la mucosa intestinal en los diferentes sitios del intestino delgado

Table 4. Effect of diet on intestinal mucosa villus height and width and crypt depth in different sections of the small intestine

	Suckling piglets ¹	Weaned piglets ²					Statistical analysis	
		Control	Oats	Corn	Sorghum 1	Sorghum 2	Diet	SEM ³
Villus height (mm)								
Duodenum	342	405	377	330	328	318	NS	12.6
Jejunum	523 ^a	445 ^{ab}	386 ^{bc}	345 ^c	360 ^{bc}	376 ^{bc}	$P < 0.05$	12.4
Ileum	162 ^c	331 ^{ab}	354 ^a	326 ^{ab}	300 ^{ab}	247 ^{bc}	$P < 0.05$	16.2
Villus width (mm)								
Duodenum	109 ^c	137 ^{bc}	146 ^{ab}	171 ^a	145 ^{ab}	155 ^{ab}	$P < 0.05$	4.28
Jejunum	93	137	123	121	124	124	$P = 0.08$	3.43
Ileum	78 ^c	116 ^b	144 ^a	130 ^{ab}	114 ^b	132 ^{ab}	$P < 0.001$	3.39
Crypt depth (mm)								
Duodenum	143 ^b	258 ^a	245 ^a	236 ^a	222 ^a	220 ^a	$P < 0.05$	8.86
Jejunum	58 ^b	171 ^a	205 ^a	202 ^a	162 ^a	161 ^a	$P < 0.01$	8.67
Ileum	80 ^b	183 ^a	177 ^a	171 ^a	135 ^a	170 ^a	$P < 0.01$	6.35

¹ Slaughtered at weaning.

² Slaughtered 14 d post-weaning.

³ Standard error of mean.

^{ab} Different letter superscripts in the same row indicate significant difference ($P < 0.05$).

Sorghum 1 = Pioneer 8428; Sorghum 2 = Dekalb D-69.

absoluto y relativo del intestino delgado entre los animales destetados que consumieron las distintas dietas experimentales.

Morfología Intestinal

En el duodeno, no se observaron diferencias significativas en la altura de las vellosidades entre los dos grupos de lechones (Cuadro 4). En el yeyuno se observó un acortamiento de las vellosidades ($P < 0.05$) en los LD alimentados con las dietas con avena, maíz y los dos híbridos de sorgo con relación a LL (29,9 % en promedio); entre los LL y los LD que consumieron almidón de maíz no hubo diferencia. En el íleon hubo una inversión de los resultados anteriores, pues el grupo de lechones lactantes presentó vellosidades más cortas ($P < 0.05$) que los lechones destetados alimentados con la dieta testigo (almidón), avena, maíz y sorgo 1; la diferencia más acentuada se observó al comparar a los lechones lactantes con los que consumieron avena (162 vs 354 μm , respectivamente). En lo que respecta a la anchura, las vellosidades del duodeno ($P < 0.05$) e íleon ($P < 0.001$) fueron más anchas en los LD que LL, mientras que en yeyuno no hubo diferencias entre los dos grupos ($P = 0.08$).

Los animales que consumieron alimento sólido (LD) tuvieron un aumento significativo de la profundidad de las criptas del duodeno ($P < 0.05$), yeyuno ($P < 0.01$) e íleon ($P < 0.01$) en comparación con los lechones lactantes, los cuales presentaron criptas poco profundas, sobre todo en el yeyuno. En duodeno el incremento en la profundidad de las criptas fue (en promedio) de 1.7; en yeyuno de 3.1 y en íleon de 2.1 veces, con relación a los lechones lactantes.

Lechones destetados

Entre los lechones que consumieron los alimentos sólidos, la fuente de carbohidratos de las dietas no afectó ($P > 0.05$) la altura de las vellosidades del duodeno, a pesar de las diferencias aritméticas que mostraron una discreta ventaja para los animales alimentados con las dietas con almidón de maíz (dieta testigo = DT) o avena. En yeyuno los lechones alimentados con maíz presentaron vellosidades más cortas ($P < 0.05$) que los de la DT; los demás animales tuvieron vellosidades

(162 vs 354 mm). Duodenal ($P < 0.05$) and ileal ($P < 0.001$) villi were wider in the WP than in the SP, and there were no differences ($P = 0.08$) between the two groups for jejunal villi width.

Crypt depth exhibited a significant increase in the WP in the duodenum ($P < 0.05$), jejunum ($P < 0.01$) and ileum ($P < 0.01$) compared to the SP, which had very shallow crypts, especially in the jejunum. Average crypt depth for the WP vs the SP increased 1.7 times in the duodenum, 3.2 times in the jejunum and 2.1 times in the ileum.

Weaned piglets

Carbohydrate source did not affect ($P > 0.05$) villus height in WP duodena, despite arithmetic differences showing a slight advantage in the animals fed the CD or oats diets. The WP fed the corn diet had shorter ($P < 0.05$) jejunal villi than those fed the CD, while the remaining diets were similar to the CD. Ileal villi were shorter ($P < 0.05$) in the WP fed the sorghum 2 diet than in those fed the oats diet.

Duodenal villi were wider in the WP fed the corn diet than in those fed the CD, while carbohydrate source had no effect on jejunal villus width. There was, however, a notable effect of carbohydrate source on ileal villus width, with the oats diet producing wider villi (144 μm) than the CD (116 μm) and sorghum 1 (114 μm) diets. No significant difference in ileal villus width was observed between the WP fed the corn (130 μm) or sorghum 2 (132 μm) diets and those fed the oats diet (144 μm). Carbohydrate source did not affect crypt depth in any of the intestine sections.

DISCUSSION

Post-weaning consumption of solid feed plays an important role in increasing animals' digestive capacity because it is closely linked to gastrointestinal tract development^(24,25). This may explain small intestine growth in the piglets that ate the experimental diets versus the suckling pigs (SP) slaughtered at weaning (1.4 increase in weight). Diet composition should also be considered because all five diets contained milk products, which stimulate small intestine growth through the presence

similares. En íleon las vellosidades fueron más cortas ($P < 0.05$) en los lechones que consumieron sorgo 2 con relación a la avena. Los lechones que consumieron maíz presentaron las vellosidades del duodeno más anchas ($P < 0.05$) que los de DT, mientras que en el yeyuno la fuente de carbohidratos no afectó la anchura de las vellosidades. En íleon se observó un efecto marcado del cereal de la dieta sobre el aumento de la anchura de las vellosidades cuando se compararon las dietas con almidón (DT) y sorgo 1 con la dieta con avena (116 y 114 vs 144 μ m, respectivamente). Para los lechones que consumieron las dietas con maíz o sorgo 2, no se encontraron diferencias significativas en la anchura de las vellosidades ileales, con relación al grupo alimentado con la dieta con avena (130 vs 132 vs 144 μ m, respectivamente). No se observó un efecto de la fuente de carbohidratos sobre la profundidad de las criptas en ninguna de las porciones del intestino.

DISCUSIÓN

La ingestión de alimento sólido después del destete juega un papel importante en el aumento de la capacidad digestiva de los animales, pues está intimamente relacionada con el desarrollo del tracto gastrointestinal^(24,25); lo que puede explicar el crecimiento del intestino delgado de los lechones que consumieron las dietas experimentales con relación a los lechones sacrificados al destete (LL) (aumento de 1.4 veces su peso). También se debe considerar la composición de las dietas, pues éstas contenían subproductos lácteos, los cuales estimulan el crecimiento del intestino delgado, debido a la presencia de compuestos bioactivos^(26,27,28). El crecimiento macroscópico del intestino delgado observado en la etapa posdestete^(8,25,29), probablemente está ligado a los cambios que se realizan en la mucosa intestinal^(1,2,3,30,31); los cuales indican una respuesta compensatoria a la reducción en la altura de las vellosidades (atrofia), que ocurre en los días que siguen el destete^(7,10,32,33,34), principalmente en las primeras 24 h⁽³⁵⁻³⁸⁾. La recuperación del crecimiento de las vellosidades ocurre entre los días cinco y ocho posdestete^(29,32,33,39) regresando a los valores observados al momento del destete entre los días 9 y 14 posdestete^(21,29,32) pudiendo durar un mayor tiempo este proceso^(10,34).

of bioactive compounds^(26,27,28). Observed macroscopic growth in the small intestine during the post-weaning stage^(8,25,29) is probably linked to changes in the intestinal mucous membrane^(1,2,3,30,31). These indicate a compensatory response to the decrease in villus height (atrophy) that occurs in the days immediately following weaning^(7,10,29,32-34); mainly in the first 24 h⁽³⁵⁻³⁸⁾. Villus growth recovers between five and eight days post-weaning^(29,32,33,39), and returns to values equal to those at weaning after 9 to 14 d^(21,29,32), though it can take longer^(10,34). During the present experiment the duodenal and ileal mucosa undergo similar changes to those reported in the literature. For example, no differences in villus height were noted between the WP and SP at 14 days post-weaning. Similar to other studies⁽³²⁾, villus height in the WP was higher than in the SP. However, the SP ileum had undeveloped villi in comparison to the other small intestine sections in the present study and to those reported in the literature^(21,29,32). Post-weaning ileal villus development observed in the present study does not coincide with the observations of Ríoperez *et al.*⁽¹⁵⁾ that the ileal mucosa is more susceptible to changes caused by cereal fibers. In contrast to the duodenum and ileum, at the end of the experimental period the jejunum of the WP fed the four cereal experimental diets had smaller villi than the SP (367 vs 523 μ m). This was probably because jejunal villus height in the SP was 1.53 times greater than in the duodenum and 3.23 times greater than in the ileum. Reported values^(21,29,32) indicate that at weaning jejunal villi are between 350 and 450 μ m high, shorten immediately post-weaning and then return to this height by 14 d post-weaning. This suggests that villous atrophy^(7,21,29,32), and probably the cell renewal that determines villus growth recovery^(11,31,32), varies by intestine section.

The observed villus shortening may result from an increase in villus cell loss due to the abrasive effect of solid feed^(15,39), which was less pronounced in the WP fed the control diet containing cornstarch (i.e. soluble carbohydrates). Some authors^(14,15) propose that insoluble fiber in feed is one reason for villus damage. However present data do not totally agree with this hypothesis because no

En el presente estudio hay evidencias de que durante el periodo experimental, la mucosa duodenal e ileal pasó por cambios similares a los reportados en la literatura, ya que a los 14 días posdestete en el duodeno no se observaron diferencias en la altura de las vellosidades entre los lechones lactantes (LL) y destetados (LD). En el íleon de los LD las vellosidades fueron más altas que en los LL, lo que concuerda con las observaciones de otros autores⁽³²⁾; sin embargo, es importante considerar que el íleon de los LL presentó vellosidades poco desarrolladas en relación a los demás segmentos del intestino delgado y a lo reportado en la literatura^(21,29,32). El desarrollo de las vellosidades del íleon en el etapa posdestete no corrobora las observaciones de Ríoperez *et al.*⁽¹⁵⁾, de que la mucosa ileal presenta una mayor susceptibilidad a las alteraciones provocadas por la fibra de los cereales.

Al contrario del duodeno e íleon, al final del periodo experimental, en el yeyuno, los animales que consumieron las dietas con cereales todavía presentaron vellosidades menores que los LL (367 vs 523 μm), probablemente porque estos tenían las vellosidades yeyunales mucho más desarrolladas que en el duodeno (1.53 veces) e íleon (3.23 veces). Los valores reportados en la literatura^(21,29,32) muestran que al destete las vellosidades del yeyuno miden entre 350 y 450 μm , regresando a éstas medidas a los 14 días posdestete. Estas observaciones sugieren que la atrofia de las vellosidades^(7,21,29,32) y presumiblemente, la renovación celular que determina el ritmo de recuperación del crecimiento de las mismas^(11,31,32), varía de acuerdo con la sección del intestino.

El acortamiento de las vellosidades observado en este estudio, posiblemente se deba a un aumento en la pérdida de células de las vellosidades, por un efecto escorriante del alimento sólido^(15,39), el cual fue menos acentuado en los animales que consumieron almidón (carbohidratos solubles) en su dieta. Algunos autores^(14,15) proponen que la fibra insoluble presente en los alimentos es uno de los factores responsable por los daños a las vellosidades. Sin embargo los presentes resultados no corroboran totalmente esta hipótesis, pues no existieron diferencias importantes en la morfología de las vellosidades en duodeno e íleon de los animales que consumieron dietas con cereales en

significant differences in duodenal and ileal villus morphology were seen between the WP fed the cereal diets and those fed the CD. This lack of difference is especially surprising when comparing the CD with the oats diet, which had the highest fiber content (34.2 % NDF; 16.2 % ADF). Jin *et al.*⁽⁴⁰⁾ also report that fiber had no effect on small intestine villus height in growing pigs.

Other observed changes, such as increased duodenal and ileal villus width or crypt depth in all three small intestine sections, were independent of dietary carbohydrate source. Crypt hypertrophy has been reported previously^(29,32,33) as a normal effect of post-weaning adaptation and a sign of accelerated mitotic activity. Increased crypt depth is also related to dietary fiber level⁽⁴⁰⁾. In other words, changes in villus^(39,41) and crypt^(11,31) morphology represent a balance between crypt cell production^(21,40) and villous cell loss. Therefore, the greater observed duodenal and ileal villus width in the WP versus the SP seems to be linked to these changes in shape⁽⁴²⁾.

Many weaning-associated factors (e.g. environmental, social and nutritional changes plus low feed intake^(7,8,25)) can lead to the changes observed in the intestinal mucosa. This means that the cereals added to the diets did not significantly contribute to these alterations.

The present results demonstrate that the used cereals have the main characteristics needed for ingredients to be used in starting diets, particularly preservation of intestinal structure to guarantee good digestive capacity and development. Because of their antinutritional factor content, inclusion of cereals such as sorghum and oats in piglet feed is generally not recommended. However, pigs find oats very appetizing⁽⁴³⁾ and feed intake of diets containing some improved sorghum hybrids provide production comparable to corn diets⁽⁴⁴⁾.

The milk byproducts in the starting diets probably mitigated the cereals' adverse effects, which likely explain the present results. Animals fed casein to had more developed intestinal villi than others fed soybean meal⁽³⁴⁾. Inclusion of powdered milk also has a positive effect on villus and crypt development in recently weaned piglets, probably because of its high

relación a los de la dieta testigo (DT). Sobretudo cuando se comparó la DT con la dieta con avena, que fue el cereal más rico en fibra (34.2 % de FDN y 16.2 % de FDA), o con las dietas con maíz y con los sorgos. Asimismo, Jin *et al.* (40) no observaron un efecto de la fibra sobre la altura de las vellosidades del intestino delgado de cerdos en crecimiento.

Los demás cambios observados en el presente trabajo, como el incremento de la anchura de las vellosidades de duodeno e íleon y de la profundidad de las criptas en las tres porciones del intestino delgado fueron independientes del tipo de carbohidrato presente en las dietas. La hipertrofia de las criptas ha sido reportada por algunos autores(10,21,29,32,33) como un hecho normal asociado al proceso de adaptación que se da en la fase posdestete, indicando que la actividad mitótica está acelerada. El aumento de la profundidad de las criptas también está relacionado con el nivel de fibra de la dieta(40). Los cambios en la morfología de las vellosidades(39,41) y criptas(11,31) representan un balance de la producción de células en las criptas(21,40) y la pérdida de células de la vellosidad. Así, el incremento en la anchura de las vellosidades del duodeno e íleon en comparación con los lechones lactantes, observado en el presente trabajo, parece ser un efecto relacionado con estos cambios de forma(42).

Muchos factores relacionados con el destete (cambios ambientales, sociales y nutricionales, acompañados de un bajo consumo de alimento(7,8,25) favorecen las modificaciones de la mucosa intestinal encontradas en este estudio; los resultados indican que los cereales adicionados a las dietas no contribuyeron de una manera substancial en las alteraciones observadas.

Los resultados observados en el presente trabajo muestran que los cereales estudiados aparentemente cumplen con una de las principales características que deben tener los ingredientes a ser seleccionados para las dietas de iniciación, que es la preservación de la estructura intestinal para garantizar una buena capacidad digestiva y el desarrollo de los lechones. En la práctica, generalmente no se recomienda la inclusión de cereales como el sorgo y la avena en las dietas para lechones, debido a la presencia de los factores antinutricionales que normalmente

protein ileal digestibility(32). However, other studies, have not produced the same results when comparing vegetable protein with casein(45) or powdered milk(46).

The lack of difference in villus and crypt measurements between the piglets fed the diets containing the two sorghum hybrids indicates that the sorghum tannin levels did not affect the studied variables. Nonetheless, ileal villi in the sorghum 2 treatment animals were shorter, similar in size to those in the SP, suggesting a slower growth recovery process. Recently, Mariscal *et al.*(47) reported low digestive use of sorghum 2 vs. sorghum 1, probably because of the former's high prolamins concentration. Studies in humans(48) and *in vitro* cell cultures(49) have shown that these proteins lead to deterioration in intestinal morphology and a decrease in small intestine development in rat fetuses.

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

Ingestion of solid feed, independent of carbohydrate source (i.e. starch or cereals) stimulates macroscopic growth in the small intestine during the first two weeks post-weaning. After 14 d of consuming diets with different carbohydrate sources, small intestine villi and crypts exhibited no significant damage that would lead to limitation in use of the studied cereals. The experimental animals apparently followed the normal recovery pattern from possible post-weaning morphological changes to the intestinal epithelium, as described in the literature. Based on the observed changes in the intestinal mucosa, the four cereals can be included in piglet diets because they do not lead to detrimental effects in intestinal villi or crypts. Use of sorghum in starting diets should only be done after considering its tannin content and protein profile. The use of milk byproducts in the diets could have positively contributed to villus morphology development.

ACKNOWLEDGEMENTS

This article is based on research grant by CONACYT-SAGARPA.

End of english version

poseen. Sin embargo, las dietas con avena son bien apreciadas por estos animales⁽⁴³⁾, y el consumo de dietas con algunos híbridos mejorados de sorgo promueven resultados productivos comparables a las dietas con maíz⁽⁴⁴⁾. La presencia de subproductos lácteos en las dietas de iniciación, probablemente atenúan los posibles efectos adversos de estos cereales, lo que también explicaría los resultados obtenidos en el presente trabajo. Animales alimentados con caseína mostraron vellosidades más desarrolladas que otros que consumieron pasta de soya en la dieta⁽³⁴⁾; igualmente, se observa un efecto positivo de la inclusión de leche en polvo sobre el desarrollo de las vellosidades y de las criptas de lechones recién destetados, probablemente por la alta digestibilidad ileal de sus proteínas⁽³²⁾. Sin embargo, otros autores no obtuvieron las mismas respuestas cuando compararon fuentes de proteína vegetal con la caseína⁽⁴⁵⁾ o con leche en polvo⁽⁴⁶⁾.

La ausencia de diferencias en las medidas de las vellosidades y criptas entre los animales que consumieron las dietas con los dos híbridos de sorgo indica que el nivel de taninos de los mismos no afectó las variables estudiadas. Por otro lado, se puede observar que a nivel del íleon las vellosidades de los animales del tratamiento con el sorgo 2 presentaron las vellosidades más reducidas, sugiriendo un proceso más lento de recuperación de su crecimiento, pues eran todavía similares a los lechones lactantes. En un estudio reciente Mariscal *et al.*⁽⁴⁷⁾ observaron un bajo aprovechamiento digestivo del sorgo 2 en relación al sorgo 1 probablemente debido a su alta concentración de prolaminas. Trabajos realizados con seres humanos⁽⁴⁸⁾ e *in vitro* con cultivos celulares⁽⁴⁹⁾ han demostrado que estas proteínas causan un deterioro de la morfología intestinal, y una disminución del desarrollo de intestino delgado de fetos de ratones.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Se concluye que durante las dos primeras semanas posdestete, la ingestión de alimento sólido, independientemente de su fuente de carbohidratos (almidón o cereales), estimuló el crecimiento macroscópico del intestino delgado. Después de 14 días de ingestión de las dietas con las diferentes fuentes de carbohidratos, las vellosidades y criptas

adyacentes no presentaron daños significativos que demostraran una limitación para el uso de los cereales estudiados. Aparentemente los animales siguieron el patrón de recuperación de las posibles alteraciones morfológicas del epitelio intestinal justo después del destete, conforme lo describe la literatura. De un modo general, desde el punto de vista de los cambios observados a nivel de la mucosa intestinal, los cuatro cereales estudiados pueden incluirse indistintamente en las dietas de lechones, ya que no promovieron efectos detrimentales a nivel de las vellosidades y criptas intestinales. La elección del sorgo como cereal para las dietas de iniciación debe ser acompañada del conocimiento no solamente de su contenido de taninos, sino también de su perfil de proteínas. Se debe considerar que el uso de subproductos lácteos en las dietas pudo haber sido un elemento que contribuyó positivamente a la morfología de las vellosidades.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al CONACYT-SAGARPA por el financiamiento del proyecto que dió origen a este artículo.

LITERATURA CITADA

1. Smith MW, Jarvis LG. Growth and cell replacement in the newborn pig intestine. *Proceedings of the Royal Society of London* 1978;203B:69-89.
2. Moughan PJ, Birtles MJ, Cranwell PD, Smith WC, Pedraza M. The piglet as a model animal for studying aspects of digestion and absorption in milk-fed human infants. *World Review of Nutrition and Dietetics* 1992;67:40-113.
3. Xu RJ, Mellor DJ, Tungthanathanich P, Birtles MJ, Reynolds GW, Simpson HV. Growth and morphological changes in the small and the large intestine in piglets during the first three days after birth. *J Devel Phys* 1992;18:161-172.
4. Fan MZ. Growth and ontogeny of the gastrointestinal tract. In: Xu RJ, Cranwell P editors. *The neonatal pig. Gastrointestinal physiology and nutrition*. Nottingham University Press; 2002:31-60.
5. Smith MW. Effect of postnatal development and weaning upon the capacity of pig intestinal villi to transport alanine. *J Agric Sci Camb* 1984;102:625-633.
6. Smith MW, Meyer G, James PS, Cremaschi P. Cellular aspects of intestinal adaptation. In: Smith MW, Sepúlveda FV editors. *Adaptation and development of gastrointestinal function* 1989:64-75.

7. Vente-Spreeuwenberg MAM, Verdonk JMAJ, Gaskins HR, Verstegen MWA. Small intestine epithelial barrier function is compromised in pigs with low feed intake at weaning. *J Nutr* 2001;131:1520-1527.
8. 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.
9. Funderburke DW, Seerley RW. The effects of postweaning stressors on pig weight change, blood, liver and digestive tract characteristics. *J Anim Sci* 1990;68:155-162.
10. Pluske JR, Hampson DJ, Williams IH. Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: a review. *Livest Prod Sci* 1997;51:215-236.
11. McCracken AB, Spurlock ME, Roos MA, Zuckermann FA, Gaskins HR. Weaning anorexia may contribute to local inflammation in the piglet small intestine. *J Nutr* 1999;613-619.
12. Friesen KG, Goodband RD, Nelssen JL. 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.
13. Friesen KG, Nelssen JL, Goodband RD. 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.
14. 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.
15. Riopérez J, Sánchez CP, Castaño M. Estudio histopatológico del íleon de lechones precozmente destetados dependiente del cereal utilizado en su alimentación. *Arch Zootec* 1991;40:261-271.
16. Bedford MR, Campbell LD. Enzymes application for monogastric feeds a review. *Can J Anim Sci* 1992;72:449-466.
17. Cowan WD, Korsbak A, Hastrup T, Rasmussen PB. Influence of added microbial enzymes on energy and protein availability of selected feed ingredients. *Anim Feed Sci Technol* 1996;60:311-319.
18. National Research Council. Nutrient Requirement of Swine. 10th ed. Washington, DC: National Academy Press; 1998.
19. 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. 2001. Tomo CDLXXVII.
20. 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.
21. Nabuurs MJA, Hoogendoorn A, Van der Molen EJ, Van Osta LM. Villus height and crypt depth in weaned and unweaned pigs, reared under various circumstances in the Netherlands. *Res Vet Sci* 1993;55:78-84.
22. SAS Institute Inc. SAS/STA user's guide. 4th ed. Cary (NC): SAS. Institute Inc., 1990.
23. Steel RGD, Torrie JH. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. 2nd ed. New York, US: McGraw-Hill Book Co.; 1985.
24. Cranwell PD, Moughan PJ. Biological limitations imposed by the digestive system to the growth performance of weaned pigs. In: Barnett JL, Hennessy DP editors. *Manipulating pig production* 1989:140-159.
25. 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.
26. 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.
27. Zinn SA. Bioactive components in milk: introduction. *Livest Prod Sci* 1997;50:101-103.
28. van Dijik JE, Huisman J, Koninkx JFJG. Structural and functional aspects of a healthy gastrointestinal tract. In: Block MC, Vahl HA, de Lange L, van de Braak AE, Hemke G, Hensing M editors. *Nutrition and health of the gastrointestinal tract*. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Academic Publishers; 2002:71-96.
29. Hedemann MS, Hojsgaard S, Jensen BB. Small intestine morphology and activity of intestinal peptidases in piglets around weaning. *J Anim Physiol Anim Nutr* 2003;87:32-41.
30. Yen J-T. Anatomy of the digestive system and nutritional physiology. In: Lewis AJ, Southern LL editors. *Swine nutrition*. 2nd ed. Washington, DC, USA: CRC Press; 2002:31-63.
31. 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.
32. Vente-Spreeuwenberg MAM, Verdonk JMAJ, Bakker GCM, Beynen AC, Verstegen MWA. Effect of dietary protein source on feed intake and small intestine morphology in newly weaned piglets. *Livest Prod Sci* 2004;86:169-177.
33. Vente-Spreeuwenberg MAM, Verdonk JMAJ, JFJG Koninkx, Beynen AC, Verstegen MWA. Dietary protein hydrolysates vs the intact proteins do not enhance mucosal integrity and growth performance in weaned piglets. *Livest Prod Sci* 2004;85:151-164.
34. Dunsford BR, Knabe DA, Haensly WE. Effect of dietary soybean meal on the microscopic anatomy of the small intestine in the early-weaned pig. *J Anim Sci* 1989;67:1855-1863.
35. Gay CC, Barker IK, Moore P. Changes in piglet intestinal villous structure and intestinal enzyme activity associated with weaning. In: Brandt WE, Glock RD, Harris DL, Hutton NE, Lennon AD editors *Proceedings of the IVth IPVS Congress*. American Association of Swine Practitioners, College of Veterinary Medicine. Iowa State University. 1976;5:11.
36. Hampson DJ. Post-weaning changes in the piglet small intestine in relation to growth-checks and diarrhea [Ph.D. Thesis]. University of Bristol. 1983.
37. Miller BG, James PS, Smith MW, Bourne FJ. Effect of weaning on the capacity of pig intestinal villi to digest and absorb nutrients. *J Agric Sci Camb* 1986;107:579-589.
38. Kelly D, Smyth JA, McCracken KJ. Digestive development in the early-weaned pig. I. Effect of continuous nutrient supply on the development of the digestive tract and on changes in digestive enzyme activity during the first week post-weaning. *Br J Nutr* 1991;65:169-180.
39. Hampson DJ. Alterations in piglet small intestinal structure at weaning. *Res Vet Sci* 1986;40:32-40.
40. Jin L, Reynolds LP, Redmer DA, Caton JS, Crenshaw JD. Effects of dietary fiber on intestinal growth, cell proliferation,

EFFECTO DE DIFERENTES CEREALES SOBRE LA MORFOLOGÍA INTESTINAL DE LECHONES

- and morphology in growing pigs. *J Anim Sci* 1994;72:2270-2278.
41. Li BT, Van Kessel AG, Caine WR, Huang SX, Kirkwood RN. Small intestinal morphology and bacterial populations in ileal digesta and feces of newly weaned pigs receiving a high dietary level of zinc oxide. *Can J Anim Sci* 2001;81:511-516.
 42. Makkink CA, Negulescu GP, Guixin Q, Martin A, Verstegen WA. Effect of dietary protein source on feed intake, growth, pancreatic enzyme activities and yeyunal morphology in newly-weaned piglets. *Br J Nutr* 1994;72:353-368.
 43. 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.
 44. Lizardo R, Peiniau J, Aumaitre A. Effect of sorghum on performance, digestibility of dietary components and activities of pancreatic and intestinal enzymes in the weaned piglet. *Anim Feed Sci Technol* 1995;56:67-82.
 45. Salgado P, Martins JM, Carvalho F, Abreu M, Freire JPB, Toullec R, Lallès JP, Bento O. Component digestibility of lupin (*Lupinus angustifolius*) and peas (*Pisum sativum*) seeds and effects on the small intestine and body organs in anastomosed and intact growing pigs. *Anim Feed Sci Technol* 2002;98:187-201.
 46. Pieterse E, Gloy EL, Viljoen J. The effects of dietary soyabean oil-cake meal on performance and gut histology of piglets. *South African J Anim Sci* 2000;30:62-66.
 47. 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 Technol* 2004;117:245-264.
 48. Ellis HJ, Rosen-Bronson S, O'Reilly N, Ciclitira PJ. Measurement of gluten using a monoclonal antibody to a celiac toxic peptide of A gliadin. *Gut* 1998;43:190-195.
 49. Auricchio S, Cardelli M, De Ritis G, De Vicencenzi M, Latte F, Silano V. A in vitro animal model for the study of cereal components toxic in celiac disease. *Pediatr Res* 1984;18:1372-1378.

