

Efecto del nivel de taninos del sorgo y del día posdestete sobre algunas características morfofisiológicas del aparato digestivo de lechones

J. G. Gómez-Soto, A. B. Aguilera, K. Escobar García, G. Mariscal-Landín¹, T. C. Reis de Souza²

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro,
Av. de las Ciencias s/n. Juriquilla. CP 76230. Querétaro, Qro., México.
Recibido Enero 02, 2014. Aceptado Agosto 09, 2015.

Effect of sorghum tannin levels and postweaning day on some morphophysiological characteristics of the digestive tract of piglets

Abstract. An experiment was conducted with piglets to evaluate the effect of dietary sorghum tannin level on trypsin activity, digesta pH, weight of digestive organs, and intestinal morphology. Sixteen weaned (at 28 days of age) Duroc x Landrace piglets (eight per treatment) were fed, from postweaning until slaughter, either a diet with low-tannins sorghum (SBT) or one with high-tannins sorghum (SAT). Four animals per treatment were slaughtered on each of days 3 and 16 postweaning. Also, four piglets were slaughtered at weaning (day 0) as a control group. There were not effects ($P>0.05$) of dietary tannin level on pancreatic trypsin activity; development of pancreas, stomach, liver, and small intestine; pH of digesta in stomach, duodenum, jejunum, and ileum; and morphology of intestinal villi and crypts. The variables weight at sacrifice and relative weight of digestive organs, excepting liver, were affected ($P<0.05$) by days after weaning (0, 3 or 16), being highest at d 16. Ingesta pH in all four parts of the digestive tract was also affected ($P<0.05$) by days postweaning, with significant differences as follows: stomach, max. at d 0 and min. at d 3; duodenum, max. at d 16 and min at d 3; jejunum, max. at d 3 and min at d 0 and 16; ileum, max at d 3 and min at d 16. Crypt depth in jejunum and ileum was greater ($P<0.05$) at d 16 than at d 3 postweaning. In conclusion, dietary tannins did not impact negatively the morphological and physiological characteristics studied. The changes observed suggest a digestive adaptation to starter feed.

Key words: Digestive pH, Intestinal morphology, Piglets, Sorghum, Tannins, Trypsin

Resumen. Se realizó un experimento con lechones para evaluar el efecto del nivel dietético de los taninos de sorgos sobre la actividad de tripsina, el pH de los contenidos digestivos, peso de varios los órganos digestivos y morfología intestinal. Diez y seis lechones (ocho por tratamiento experimental), de raza Duroc x Landrace, destetados a los 28 días de edad, se alimentaron luego del destete y hasta el sacrificio, con una dieta formulada con sorgo bajo en taninos (SBT) u otra a base de sorgo alto en taninos (SAT). Se sacrificaron cuatro animales por tratamiento a los 3 días y otra vez a los 16 días posdestete. Adicionalmente, se sacrificaron cuatro lechones al destete (día 0) como grupo testigo. El nivel dietético de taninos no afectó ($P<0.05$) la actividad de tripsina a nivel pancreático, el desarrollo posdestete del páncreas, estómago, hígado e intestino delgado; el pH del contenido del estómago, duodeno, yeyuno e íleon; ni la morfología de las vellosidades y criptas intestinales. Las variables peso al sacrificio y peso relativo de los órganos digestivos, excepto el hígado, acusaron efecto ($P<0.05$) de los días posdestete (0, 3 ó 16), sobresaliendo los valores a los 16 d. El pH de los contenidos de los cuatro segmentos del tubo digestivo también se afectaron ($P<0.05$) por los días posdestete, habiendo las siguientes diferencias significativas: el estómago, mayor al día 0 y menor al día 3; duodeno, mayor al día 16 y menor al día 3; yeyuno, mayor al día 3 y menor a los días 0 y 16; íleon mayor al día 3 y menor al día 16. La profundidad de las criptas en el

¹Autor para la correspondencia, e-mail: tercia@uaq.mx

¹CENID Fisiología, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. km 1 Carretera a Ajuchitlán. CP 76280. Colón, Qro., México.

²Autor para la correspondencia: Tércia Cesária Reis de Souza

yeyuno e íleon fue mayor ($P < 0.05$) al día 16 que al día 3 posdestete. Se concluye que los taninos de sorgo no afectaron negativamente las características morfológicas y fisiológicas estudiadas. Los cambios observados hacen suponer una adaptación digestiva al consumo de la dieta iniciadora.

Palabras clave: Lechones, Morfología intestinal, pH de contenidos digestivos, Sorgo, Taninos, Tripsina

Introducción

En la alimentación del lechón, la principal fuente de energía de las dietas iniciadoras son los carbohidratos de los granos de cereales, tales como maíz, sorgo, trigo, avena y sus subproductos (Reis de Souza *et al.*, 2012). El sorgo ocupa el quinto lugar mundial entre los granos de mayor importancia económica y se considera un cultivo alimenticio primario en los trópicos semiáridos de Asia, África y Sudamérica, ya que se cultiva en áreas secas con poca humedad en el suelo (Rodrigues *et al.*, 2002; Etuk *et al.*, 2012). En México el sorgo es el cereal más utilizado en la alimentación animal. Según Fialho *et al.* (2002) el sorgo bajo en taninos puede ser utilizado para reemplazar al maíz en dietas para cerdos en crecimiento, sin afectar los parámetros productivos.

Sin embargo, existen reportes de que los taninos presentes en algunos híbridos de sorgo afectan negativamente la digestibilidad de la proteína y aminoácidos (Mariscal-Landín *et al.*, 2010), al inhibir la digestión de la dieta (Mehansho *et al.*, 1987); lo que limita la inclusión del sorgo en raciones iniciadoras para lechones (Reis de Souza *et al.*, 2005). Sin embargo, poco se conoce sobre el efecto del uso de sorgo rico en taninos sobre la fisiología digestiva del lechón; por lo que el presente estudio tuvo como finalidad evaluar el efecto del nivel de taninos del sorgo incluido en dietas para lechones y también el efecto de los días posdestete sobre la actividad de la enzima tripsina pancreática, el pH de los contenidos del intestino delgado, el peso de los órganos digestivos y la morfología intestinal.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó en la unidad metabólica de la granja experimental del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología (CENID-Fisiología) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Los análisis químicos y bromatológicos se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Autónoma de Querétaro. El manejo empleado en los animales durante la experimentación respetó en todo momento los lineamientos de la *International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals* (CIOMS, 1985), así como los de la Norma Oficial Mexicana para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio (Diario Oficial, 2001).

Animales

Se utilizaron 20 lechones híbridos Duroc x Landrace destetados a los 28 ± 1 días de edad, con un peso vivo (PV) promedio de 9.3 ± 1.0 kg. El PV al destete se analizó mediante un ANOVA y no varió entre los cerdos asignados a los dos diferentes tratamientos experimentales ($P > 0.05$). Los lechones no consumieron dieta sólida previo al destete. Dieciséis lechones se distribuyeron al azar entre los dos tratamientos experimentales (dietas); se alojaron (cuatro lechones por jaula) en una sala de ambiente controlado por un calentador de gas y ventilación natural, en jaulas elevadas con piso de rejilla de plástico, con una

superficie total de 1.6 m², cada jaula contaba con un comedero tipo tolva con seis bocas y un bebedero de chupón. Los lechones se recibieron al destete a una temperatura ambiental de 30°C y en la segunda semana experimental se mantuvieron a 26°C.

Dietas y Manejo Experimental

Se formularon dos dietas (tratamientos experimentales) utilizando dos híbridos de sorgo (Cuadro 1). La dieta baja en taninos (SBT) se formuló con el sorgo Dekalb D-69, el cual contenía menos de 0.02% de taninos condensados; y la alta en taninos (SAT), se formuló con el sorgo Pioneer 8172, el cual contenía 4.72% de taninos condensados. Dicho contenido se obtuvo mediante extracción con metanol (Price *et al.*, 1978).

Las dietas se formularon para proporcionar los requerimientos de energía metabolizable, proteína y aminoácidos digestibles recomendados por el NRC (1998).

Los lechones tuvieron libre acceso al agua y al alimento; se pesaron al destete y en cada día de sacrificio.

Obtención de muestras

El sacrificio se realizó al destete (día cero, cuatro lechones como grupo control) y en los días 3 y 16 posdestete (cuatro lechones de cada tratamiento en cada día). Los lechones se insensibilizaron por

Cuadro 1. Formulación de las dietas experimentales

Ingrediente (%)	Dieta ¹	
	SBT	SAT
Sorgo	52.336	52.336
Lactosa	20.619	20.619
Caseína	19.242	19.242
Aceite de maíz	3.000	3.000
Sal común	0.500	0.500
Carbonato de calcio	0.634	0.634
Ortofosfato	2.289	2.289
Óxido de zinc	0.400	0.400
Tilosina	0.500	0.500
Vitaminas ²	0.360	0.360
Minerales ³	0.120	0.120
Composición química		
MS ⁴	91.5	91.3
PC ⁴	22.7	21.4
EM ⁵	3.4	3.4

¹SAT: dieta con sorgo alto en taninos. SBT: dieta con sorgo bajo en taninos.

²Cada kg de producto contiene: Vitamina A 10.20 UI, Vitamina D 1.98 UI, Vitamina E 0.06 UI, Vitamina K 1.20 mg, Riboflavina (B2) 7.20 mg, Vitamina B (cianocobalamina) 0.04 mg, Colina 968.58 mg, Niacina 36 mg, Ácido Pantoténico 16.55mg, Tiamina (B1) 0.30 mg, Piridoxina (B6) 0.31 mg, Biotina 0.08 mg, Ácido Fólico 0.75 mg.

³Cada kg de producto contiene: azufre 0.02 %, Cobalto 0.72 mg, Cobre 14.4 mg, Hierro 120 mg, Manganeso 36 mg, Selenio 0.30 mg, Iodo 0.96 mg, Zinc 144 mg, Cloro 0.03%.

⁴Valor analizado (expresado en %).

⁵Valor calculado (expresado en Mcal/kg de ración).

inhalación de bióxido de carbono, y posteriormente se sacrificaron seccionándoles la vena Yugular (Reis de Souza *et al.*, 2005).

Los lechones sacrificados se colocaron en posición de decúbito dorsal y se procedió a incidir la región abdominal para colectar el páncreas, hígado; estómago e intestino delgado, los cuales se diseccionaron, vaciaron y pesaron. El peso de los órganos se reportó en relación al peso vivo (g/kg de PV). El páncreas se congeló en nitrógeno líquido y posteriormente se conservó a -80°C hasta la determinación de la actividad total y específica de la tripsina (Reboud *et al.*, 1962). En los contenidos del estómago, duodeno, yeyuno e íleon se determinó el pH. En los lechones sacrificados los días 3 y 16 posdestete, el intestino delgado se dividió en tres secciones (duodeno, yeyuno e íleon) como lo recomienda Makkink *et al.* (1994) y se obtuvo una muestra de 10 cm de largo de cada sección. Las porciones se lavaron con solución salina, se anudaron los extremos con hilo cáñamo y se perfundieron en formalina neutralizada al 10%

(Nabuurs *et al.*, 1993). Después de 48 h de la colecta, se procesaron los intestinos, los cuales se cortaron a cinco micrómetros de espesor, utilizando la técnica de inclusión en parafina. Los cortes se tiñeron con hematoxilina-eosina y se observaron en un microscopio óptico con un aumento de 10X, efectuándose 10 mediciones por laminilla (Nabuurs *et al.*, 1993), para determinar el promedio de la altura (del ápice hasta la base) de las vellosidades y la profundidad de las criptas (de la base de la vellosidad hasta el fondo de la cripta) (Reis de Souza *et al.*, 2005).

Análisis estadístico

Los datos se analizaron según un modelo de bloques completos al azar, siendo el criterio de bloqueo el peso al destete, con un arreglo factorial 2 x 3 (dos tratamientos experimentales y tres días posdestete) utilizando el procedimiento de Modelos Lineales Generales (GLM) del paquete estadístico SAS (SAS, 2008). La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1980) con un nivel de significancia (P) de 0.05.

Resultados

El peso de los lechones al momento del sacrificio, así como el peso relativo de los órganos digestivos, la actividad de la tripsina y el pH de los contenidos de

estómago, duodeno, yeyuno e íleon no fueron afectados por los tratamientos o dietas experimentales (Cuadro 2).

Cuadro 2. Peso de los lechones y de los órganos digestivos, actividad de la tripsina pancreática y el pH de los contenidos digestivos según la dieta y día posdestete.

Variables	Día Posdestete			Dieta ¹		Probabilidad			EEM ²
	0	3	16	SBT	SAT	Día	Dieta	Día* Dieta	
PS ³ (kg)	9.16ab	8.73b	11.44a	9.69	9.87	P<0.01	NS	NS	0.26
Peso Relativo (g/kg)									
Páncreas	1.3b	1.2b	1.79a	1.4	1.4	P<0.001	NS	NS	0.04
Estómago	4.6b	5.4b	9.4a	5.9	6.9	P<0.001	NS	NS	0.25
Hígado	25	22	24	24	24	NS	NS	NS	0.47
Intestino Delgado	35a	24b	41a	34	32	P<0.001	NS	NS	1.3
Actividad de Tripsina									
Total ⁴	3582	3368	3477	3472	3478	NS	NS	NS	34
Específica ⁵	286b	469a	372ab	374	378	P<0.01	NS	NS	21
pH									
Estómago	3.6a	2.2b	2.8b	2.8	2.9	P<0.05	NS	NS	0.28
Duodeno	6.3ab	5.0b	6.5a	5.9	6.0	P<0.05	NS	NS	0.04
Yeyuno	6.5b	6.8a	6.5b	6.6	6.6	P<0.05	NS	NS	0.19
Íleon	6.9ab	7.4a	6.4b	6.8	7.1	P<0.05	NS	NS	0.04

¹SBT: sorgo bajo en taninos; SAT: dieta con sorgo alto en taninos.

²Error Estándar de la Media.

³Peso al Sacrificio. ⁴UI/g de páncreas. ⁵UI/g de proteína pancreática.

Se observó un efecto del día posdestete sobre el PV (P<0.01) y el peso relativo de los órganos digestivos (P<0.001), exceptuando al hígado. El PV de los lechones en el tercer día posdestete tuvo una reducción no significativa en relación al peso al destete, con un posterior incremento significativo hasta el día 16 (P<0.01). Los pesos relativos del páncreas y del estómago fueron similares entre el día del destete y el día 3 posdestete, incrementándose (P<0.001) hasta el día 16. En el caso del intestino delgado, su peso relativo tuvo una importante variación (P<0.001), observándose una reducción al día 3 posdestete y un incremento en el peso al día 16 posdestete. La actividad específica de la tripsina se incrementó (P<0.01) en los primeros tres días posdestete y después, al día 16, se redujo a un nivel intermedio entre el valor observado al día del destete y al día 3 posdestete; la actividad total de la

tripsina no varió con la edad de los animales. El pH del contenido del estómago fue el menor de los compartimentos intestinales. El pH de los contenidos del estómago y yeyuno se modificó en el día 3 posdestete, acidificándose más en el estómago y siendo más cercana al pH neutro en el yeyuno (P<0.05). El día 16 posdestete el pH en los contenidos de duodeno e íleon fue similar al del destete. Respecto al día 3 posdestete, al día 16 el contenido del estómago y duodeno se tornó menos ácido, mientras que el contenido del yeyuno e íleon cambió a más ácido.

La dieta y el día posdestete no afectaron la morfología de las vellosidades y criptas intestinales (Cuadro 3), excepto en el caso de las criptas de yeyuno e íleon que, independientemente de la dieta consumida, fueron más profundas (P<0.01) en el día 16 que el día 3 después del destete.

Discusión

El sorgo tiene un contenido de proteína cruda similar al del maíz (Reed, 1995), sin embargo su proteína es menos digestible y esto varía en función de la cantidad de taninos presentes (Fialho *et al.*, 2002; Mariscal-Landín *et al.*, 2010). A pesar de que el sorgo es el principal cereal utilizado en la alimentación de cerdos en crecimiento-finalización y reproductores en México, su uso está limitado en la alimentación de

lechones, principalmente porque los taninos afectan la digestibilidad de la proteína cruda y aminoácidos (Mariscal-Landín *et al.*, 2010). Por lo anterior, se encontraron pocas publicaciones que abordan el uso de sorgo en la alimentación de lechones recién destetados que puedan sustentar los resultados obtenidos en el presente trabajo. Los taninos son compuestos polifenólicos encontrados en varios alimentos, entre

Cuadro 3. Morfología de la mucosa intestinal según la dieta y día postdestete.

Variables ¹	Día Postdestete		Dieta ²		Probabilidad			EEM ³
	3	16	SBT	SAT	Día	Dieta	Día* Dieta	
Duodeno								
ALV	334	400	365	369	NS	NS	NS	25
PC	132	164	130	166	NS	NS	NS	12
Yeyuno								
ALV	278	312	312	278	NS	NS	NS	11
PC	116b	188a	150	154	P<0.01	NS	NS	10
Íleon								
ALV	307	312	286	333	NS	NS	NS	18
PC	122b	188a	147	164	P<0.01	NS	NS	8

¹ALV: altura de las vellosidades, PC: profundidad de criptas. Valores en mm.

²SBT: sorgo bajo en taninos, SAT: dieta con sorgo alto en taninos.

³Error Estándar de la Media.

ellos los cereales (Serrano *et al.*, 2009). Por su estructura y reactividad hacia los agentes hidrolíticos se clasifican en dos grupos: los taninos hidrolizables y los taninos condensados (Reed, 1995; Mariscal-Landín *et al.*, 2004; Serrano *et al.*, 2009). Los taninos hidrolizables son fácilmente digeridos por ácidos o por enzimas, además de que son más solubles en agua que los taninos condensados. Biagi *et al.* (2010) no hallaron un efecto en el PV de los cerdos por el consumo de dietas con diferentes niveles de taninos, igual que en el presente experimento. En pruebas *in vitro* los taninos inhiben fuertemente las enzimas digestivas y su efecto antinutricional se relaciona siempre con la inhibición de la digestión (Mehansho *et al.*, 1987). Sin embargo, en el presente trabajo la actividad específica de la tripsina en el tejido pancreático de los animales destetados fue mayor que en los lechones control (día cero), y no fue afectada por el nivel dietético de taninos de sorgo. Esto corrobora las aseveraciones de que en pruebas *in vivo* las enzimas digestivas no son inhibidas por los taninos dietéticos (Mitjavila *et al.*, 1977; Mole y Waterman, 1985; Mariscal-Landín *et al.*, 2004). La inhibición de la tripsina pancreática pudiera darse a nivel de la digestión intestinal, debido a la formación de un complejo enzima-tanino (Jansman *et al.*, 1994). Se ha observado *in vitro*, que en el punto isoelectrico de las proteínas, como la seroalbúmina bovina, ocurre la mayor precipitación del complejo tanino-proteína (Hagerman y Butler, 1978). Debido a que el punto isoelectrico de los tripsinógenos porcinos es de 7.5, y el pH de la digesta del duodeno de los animales del presente trabajo varió entre 5.0 y 6.5, se podría suponer que tampoco en la digesta duodenal la actividad de la tripsina fue afectada por los taninos de los sorgos incorporados, ya que a este pH no se favorece la interacción enzima-tanino. Cuando se

disminuyen los niveles de tripsina y quimotripsina intestinales, como consecuencia de la presencia de inhibidores enzimáticos, tales como los taninos, se libera un exceso de la hormona colecistoquinina, con una consecuente estimulación de la función pancreática, causando la hipertrofia del páncreas (Ahmed *et al.*, 1991). En aves se observó que debido a la reducción en la actividad enzimática, el consumo de dietas con alto contenido de taninos provocó hipertrofia pancreática, probablemente como una respuesta para compensar la inhibición en la producción de enzimas como la tripsina y la α -amilasa, que son inhibidas por los taninos (Ahmed *et al.*, 1991). En las presentes condiciones experimentales el peso del páncreas no varió entre los animales alimentados con ambas dietas, lo que podría corroborar la hipótesis de que a nivel intestinal, la actividad de la tripsina no fue alterada por el consumo de las dietas con alto o bajo contenido de taninos. Mariscal-Landín *et al.* (2004), tampoco observaron un incremento del peso del páncreas en cerdos en crecimiento alimentados con niveles crecientes de taninos.

Jansman *et al.* (1994) reportaron que el uso de dietas en las que se incluyen niveles altos de taninos (provenientes de habas o su cascarilla) reduce la ganancia de peso en cerdos, pues los taninos condensados interactúan con las proteínas dietéticas y endógenas, como las enzimas digestivas; sin embargo, en el presente trabajo no se confirmó tal observación. De la misma manera se observa que el nivel de taninos de los sorgos empleados en las dos dietas experimentales no afectó el peso de los órganos digestivos. En otros trabajos, el peso del páncreas (Jansman *et al.*, 1993) o del intestino delgado (Reis de Souza *et al.*, 2005) no varió entre los lechones que consumieron dietas SBT o SAT. Tampoco en cerdos en crecimiento alimentados con dietas a base de

sorgos con alto y bajo contenido de taninos se encontraron diferencias en el peso del páncreas (Mariscal-Landín *et al.*, 2004).

El pH de los contenidos gastrointestinales en el presente trabajo no se afectó por el nivel de taninos, coincidiendo con lo publicado por Biagi *et al.* (2010), a pesar de que hay indicios de que el consumo de sorgo alto en taninos podría alterar el balance ecológico de la flora microbiana gastrointestinal (Samanta *et al.*, 2004) y los productos de su fermentación que contribuyen al pH. Se ha observado que los taninos tienen un efecto en la selección de las enterobacterias y bacteroides (Smith y Mackie, 2004) que producen ácidos grasos volátiles (acético, propiónico y butírico) en sus procesos fermentativos en lugar de ácido láctico (producido en mayor proporción por los lactobacilos y bifidobacterias) (Blank *et al.*, 2001), el cual disminuye el pH de la digesta (Pieper *et al.*, 2009). Biagi *et al.* (2010) observaron un fuerte efecto del nivel de taninos sobre la microbiota a nivel cecal.

Los cambios de los valores de pH de los contenidos gastrointestinales observados durante el periodo experimental se relacionan con el cambio de alimento entre la lactancia y la fase posdestete. El elevado pH del estómago en los animales al día del destete, probablemente fue causado por la baja capacidad de secreción de ácido clorhídrico presente en los animales jóvenes y por la elevada capacidad amortiguadora de la leche (Yen, 2001). Es probable que el bajo consumo de alimento, que normalmente se presenta en los tres primeros días posdestete, hiciera que el pH del estómago tuviera una importante reducción (Makkink *et al.*, 1994) al día 3 posdestete. El incremento del consumo de alimento sólido que ocurrió en los días posteriores pudo ser un factor que promovió el desarrollo de la mucosa gástrica (Cramwell, 1995; Reis de Souza *et al.*, 2012), repercutiendo en una mayor capacidad de secreción ácida por unidad de PV del estómago (Cramwell, 1995), reduciendo el valor del pH de la digesta respecto al destete. Sin embargo, la capacidad amortiguadora de la dieta (Levic *et al.*, 2005) es un factor que impide que el valor de pH en el estómago de los lechones sea tan bajo como el observado en los primeros días posdestete. El pH más ácido (pH = 5) observado en el contenido del duodeno en el día 3 posdestete, probablemente sea una consecuencia de la llegada del quimo ácido proveniente del estómago. Así, el pH más alcalino observado en el contenido de yeyuno e íleon al día 3 posdestete, probablemente fue una reacción esperada, debido al efecto amortiguador inicial de las secreciones pancreática y biliar seguido de la intestinal (Yen, 2001). Al día 16 posdestete el pH de los contenidos de yeyuno e íleon fueron menos

alcalinos, y se sabe que pH alcalinos en el intestino delgado pueden contribuir a un ambiente propicio para que la *E. coli* enterotoxigénica pueda colonizar las vellosidades ocasionando cuadros diarreicos; mientras que pH ácidos pueden favorecer el crecimiento de bacterias benéficas e inhiben el desarrollo de las dañinas (Williams *et al.*, 2001). La producción de ácido láctico por parte de algunas bacterias (lactobacilos) puede contribuir a mantener este pH ácido (Pieper *et al.*, 2009).

Los taninos podrían dañar la mucosa intestinal causando efectos tóxicos a nivel sistémico (Reed, 1995; Mariscal-Landín *et al.*, 2004). Sin embargo, la altura de las vellosidades intestinales de los animales alimentados con las dos dietas experimentales en el presente trabajo, muestra un comportamiento esperado para la fase posdestete (Kelly *et al.*, 1991; Vente-Spreuwerberg *et al.*, 2004ab), es decir, un acortamiento de las mismas en los tres primeros días posdestete, seguido de una recuperación de su crecimiento hasta la segunda semana posdestete. Los valores observados indican que el daño en las vellosidades de los animales de ambos tratamientos no fue afectado por el nivel de taninos. En otros trabajos, Reis de Souza *et al.* (2005) y Biagi *et al.* (2010) tampoco observaron un efecto del nivel dietético de taninos para lechones, sobre la altura de vellosidades intestinales, aunque sí hubo un efecto en la profundidad de las criptas ileales (Biagi *et al.*, 2010).

El efecto significativo de la edad de los lechones sobre las características morfofisiológicas observado en el presente trabajo, probablemente se relaciona con el incremento de la capacidad digestiva de los animales posdestete. Reis de Souza *et al.* (2012) señalaron que el consumo de alimentos sólidos es importante desde el punto de vista de la fisiología y salud gastrointestinal, pues estimula el desarrollo de la mucosa gástrica, del páncreas y del intestino delgado. A mayor consumo se observa un mayor crecimiento de la mucosa gástrica e intestinal (Cramwell, 1995), y consecuentemente de estos órganos digestivos (Reis de Souza *et al.*, 2005; Souza *et al.*, 2007). Sin embargo, en los dos o tres primeros días posdestete es común observar una disminución del peso de los órganos digestivos, aunque en algunos casos permanece similar al que presentaban al destete (Makkink *et al.*, 1994; Aguilera *et al.*, 2003; Pluske *et al.*, 2003; Escobar *et al.*, 2008). Esto se debe al consumo reducido de alimento en estos primeros días posdestete, provocando la atrofia de las vellosidades intestinales (Pluske *et al.*, 1997; Spreuwerberg *et al.*, 2001), con una posterior recuperación de su crecimiento. En el presente trabajo no se pudo medir la morfología de las vellosidades al momento del destete; sin embargo,

los valores reportados por Nabuurs *et al.* (1993), Hedemann *et al.* (2003) y Vente-Spreeuwenberg *et al.* (2004ab) muestran que al destete las vellosidades miden entre 350 y 450 μm , similar a lo que se observó en duodeno de los animales al día 3 (334 μm) y 16 (400 μm) posdestete. Esto indica que el nivel de taninos no tuvo un efecto en la morfología de las vellosidades y criptas intestinales. En yeyuno e íleon las vellosidades no incrementaron su altura entre el día 3 y 16 posdestete en ambos grupos de lechones.

Se concluye que el nivel de taninos del sorgo incorporado en las dietas posdestete no tuvo un efecto determinante sobre el peso de los órganos digestivos de los lechones, ni la actividad de la tripsina a nivel pancreático, el pH, ni la morfología de las vellosidades y criptas intestinales. Las características morfofisiológicas estudiadas cambiaron en el periodo posdestete, indicando una adaptación digestiva al consumo de alimento iniciador.

Literatura Citada

- Aguilera, B. A., R. T. C. Souza, L. G. Mariscal y G. Y. Juárez. 2003. Desarrollo de los órganos digestivos hasta la cuarta semana posdestete en lechones alimentados con subproductos lácteos. XI Congreso de la AMENA y I del CLANA. Cancún, México. p. 335.
- Ahmed, A. E., R. Smtthard, and M. Ellis. 1991. Activities of enzymes of the pancreas, and the lumen and mucosa of the small intestine in growing broiler cockerels fed on tannin-containing diets. *Br. J. Nutr.* 65:189-197.
- Biagi, G., I. Cipollini, B. R. Paulicks, and F. X. Roth. 2010. Effect of tannins on growth performance and intestinal ecosystem in weaned piglets. *Arch. Anim Nutr.* 64:121-135.
- Blank, R., W. C. Sauer, R. Mosenthin, J. Zentek, S. Huang, and S. Roth. 2001. Effect of fumaric acid supplementation and dietary buffering capacity on the concentration of microbial metabolites in ileal digesta of young pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 81:345-353.
- Cramwell, P. D. 1995. Development of the neonatal gut and enzyme systems. In M. A. Varley, (Ed.). *The neonatal pig development and survival*. CAB International. Wallingford, UK. p. 99.
- Diario Oficial de la Federación: Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999; 1999. Diario Oficial de la Federación, Miércoles 02 de Agosto del 2001.
- Escobar, G. K., T. C. Reis de-Souza, M. J. C. Guerrero, L. G. Mariscal, B. A. Aguilera y M. G. S. Bernal. 2008. Morfología del intestino delgado de lechones destetados alimentados con diferentes fuentes de proteína. III Congreso CLANA. Cancún, México. p. 18.
- Etuk, E. B., A. V. Ifeduba, U. E. Okata, I. Chiaka, I. C. Okoli, N. J. Okeudo, B. O. Esonu, A. B. I. Udedibie, and J. C. Moreki. 2012. Nutrient composition and feeding value of sorghum for livestock and poultry: a review. *J. Anim. Sci. Adv.* 2:510-524.
- Fialho, E. T., J. A. F. Lima, W. Oliveira, e H. O. Silva. 2002. Substituição do milho pelo sorgo sem tanino em rações de leitões: digestibilidade dos nutrientes e desempenho animal. *R. B. M. S.* 1:105-111.
- Hagerman, A. E., and L. G. Butler. 1978. Protein precipitation method for the quantitative determination of tannins. *J. Sci. Food Agric.* 26:809-812.
- Hedemann, M. S., S. Hojsgaard, and B. B. Jensen. 2003. Small intestine morphology and activity of intestinal peptidases in piglets around weaning. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 87:32-41.
- International guiding principles for biomedical research involving animals. 1985. The development of science-based guidelines for laboratory animal care NCBI Bookshelf. [http://cioms.ch/publications/guidelines/1985_texts_of_guidelines.htm]
- Jansman, A. J. M., H. Enting, M. W. A. Verstegen, and J. Huisman. 1994. Effect of condensed tannins in hulls of faba beans (*Vicia faba* L.) on the activities of trypsin (EC 2.4.21.4) and chymotrypsin (EC 2.4.21.1) in digesta collected from the small intestine of pigs. *Brit. J. Nutr.* 71: 627-641.
- Jansman, A. J. M., M. W. A. Verstegen, and J. Huisman. 1993. Effects of dietary inclusion of hulls of faba beans (*Vicia faba* L.) with a low and high tannin content of condensed tannins on digestion and some physiological parameters in piglets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 43:239-257.
- Kelly, D., J. A. Smyth, and K. J. McCracken. 1991. 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. *Brit. J. Nutr.* 65:169-180.
- Levic, J., O. Prodanovic, and S. Sredanovic. 2005. Understanding the buffering capacity in feedstuffs. *Biotechnol. Anim. Husb.* 21:309-313.
- Makkink, C. A., P. J. M. Berntsen, B. M. L. Op-Denkamp, B. Kemp, and W. A. Verstegen. 1994. Gastric protein breakdown and pancreatic enzyme activities in response to two different dietary protein sources in newly weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 72:2843-2850.
- Mariscal-Landín, G., J. H. Avellaneda, S. T. C. Reis, B. A. Aguilera, G. A. Borbolla, and B. Mar. 2004. Effect of tannins in sorghum on amino acid ileal digestibility and on trypsin (E.C.2.4.21.4) and chymotrypsin (E.C.2.4.21.1) activity of growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 117:245-264.

- Mariscal-Landín, G., T. C. Reis de Souza, and M. A. Avalos. 2010. Ileal amino acids digestibility of sorghum in weaned piglets and growing pigs. *Anim.* 4:1341-1348.
- Mehansho, H., L. G. Butler, and D. M. Carlson. 1987. Dietary tannins and salivary proline-rich proteins: interactions, induction, and defense mechanisms. *Annu. Rev. Nutr.* 7:423-440.
- Mitjavila, S., C. Lacombe, G. Carrera, and R. Derache. 1977. Tannic acid and oxidized tannic acid on the functional state of rat intestinal epithelium. *J. Nutr.* 107:2113-2121.
- Mole, S., and P. G. Waterman. 1985. Stimulatory effects of tannins and cholic acid on tryptic hydrolysis of proteins: Ecological implications. *J. Chem. Ecol.* 11:1323-1332.
- Nabuurs, M. J. A., A. Hoogendoorn, E. J. Van-Der-Molen, and L. M. Van-Osta. 1993. Villus height and crypt depth in weaned and unweaned pigs, reared under various circumstances in the Netherlands. *Res. Vet. Sci.* 55:78-84.
- NRC. 1998 Nutrient requirements of swine. (10th Ed.) Washington, DC: The National Academy Press.
- Pieper, R., P. Janczyk, V. Urubschurov, U. Kornb, B. Pieper, and W. B. Souffrant. 2009. Effect of a single oral administration of *Lactobacillus plantarum* DSMZ 8862/8866 before and at the time point of weaning on intestinal microbial communities in piglets. *Int. J. Food Microbiol.* 130:227-232.
- Pluske, J. R., D. J. Hampson, and I. H. William. 1997. Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaning pig: a review. *Livest. Prod. Sci.* 51:215-236.
- Pluske, J. R., D. J. Kerton, P. D. Cranwell, R. G. Campbell, B. P. Mullan, R. H. King, G. N. Power, S. G. Pierzynowski, B. Westrom, C. Rippe, O. Peulen, and F. R. Dunshea. 2003. Age, sex, and weight at weaning influence organ weight and gastrointestinal development of weanling pigs. *Crop Pasture Sci.* 54:515-527.
- Price, M. L., S. Van Scoyoc, and L. G. Butler. 1978. A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *J. Agric. Food Chem.* 26:1214-1218.
- Reboud, J. P., A. A. Ben, et P. Desnuelle. 1962. Variations de la teneur en enzymes de pàncreas de rat en fonction de la composition des règimes. *Biochim. Biophys. Acta.* 58:326-327.
- Reed, D. J. 1995. Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. *J. Anim. Sci.* 73:1516-1528.
- Reis de Souza, T. C., L. G. Mariscal y B. A. Aguilera. 2005. Efecto de diferentes cereales en dietas de iniciación para lechones sobre la digestibilidad de los nutrientes y la preferencia alimentaria. *Vet. Méx.* 36:11-24.
- Reis de Souza, T. C., L. G. Mariscal, G. K. Escobar, B. A. Aguilera y B. A. Magné. 2012. Cambios nutrimentales en el lechón y desarrollo morfofisiológico de su aparato digestivo. *Vet. Méx.* 43:155-173.
- Rodrigues, P. B., R. T. F. Freitas, E. T. Fialho, H. O. Silva, e T. M. Gonçalves. 2002. Digestibilidade dos nutrientes e desempenho de suínos em crescimento e terminação alimentados com rações à base de milho e sorgo suplementadas com enzimas. *R. B. M. S.* 1:91-100.
- Samanta, S., S. Giri, S. Parua, D. K. Nandi, B. R. Pati, and K. C. Mondal. 2004. Impact of tannic acid on the gastrointestinal microflora. *Microb. Ecol. Health D.* 16:32-34.
- SAS Institute Inc. 2008. SAS/STAT® 9.2 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC.
- Serrano, J., R. Puupponen-Pimi, A. Dauer, A. M. Aura, and F. Saura-Calixto. 2009. Tannins: Current knowledge of food sources, intake, bioavailability and biological effects. *Mol. Nutr. Food Res.* 53:S310-S329.
- Smith, A. H. and R. I. Mackie. 2004. Effect of condensed tannins on bacterial diversity and metabolic activity in the rat gastrointestinal tract. *Appl. Environ. Microb.* 70:1104-1115.
- Souza, T. C. R, M. A. B. Aguilera, A. B. Aguilera, G. L. Mariscal y M. J. C. Guerrero. 2007. Morfología del tracto digestivo de lechones alimentados con dietas con aislado o concentrado de proteínas de soya. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 15:134-140.
- Spreeuwenberg, M. A. M., J. M. A. J. Verdonk, H. R. Gaskins, and M. W. A. Verstegen. 2001. Small intestine epithelial barrier function is compromised in pigs with low feed intake at weaning. *J. Nutr.* 131:1520-1527.
- Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1980. Principles and Procedures of Statistics: a Biometrical Approach. McGraw-Hill Book Co., New York.
- Vente-Spreeuwenberg, M. A. M., J. M. A. J. Verdonk, G. C. M. Bakker, A. C. Beynen, and M. W. A. Verstegen. 2004a. Effect of dietary protein source on feed intake and small intestine morphology in newly weaned piglets. *Livest. Prod. Sci.* 86:169-177.
- Vente-Spreeuwenberg, M. A. M., J. M. A. J. Verdonk, J. F. J. G. Koninkx, A. C. Beynen, and M. W. A. Verstegen. 2004b. Dietary protein hydrolysates vs the intact proteins do not enhance mucosal integrity and growth performance in weaned piglets. *Livest. Prod. Sci.* 85:151-164.
- Williams, B. A., M. W. A. Verstegen, and S. Tamminga. 2001. Fermentation in the large intestine of single-stomached animals and its relationship to animal health. *Nutr. Res. Rev.* 14:207-227.
- Yen, J. T. 2001. Anatomy of digestive system and nutritional physiology. In: A. J. Lewis, and L. L. Southern (Eds.). *Swine Nutrition* (2nd Ed.). CRC Press LLC. Florida, USA. p 31.