



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

---

**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA  
PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL**

**“PASTA DE AJONJOLÍ Y PASTA DE SOYA: FUENTES DE PROTEÍNAS  
DE CALIDAD PARA LA ALIMENTACIÓN DE LECHONES RECIEN  
DESTETADOS”**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS**

**P R E S E N T A**

**KONISGMAR ESCOBAR GARCÍA**

**TUTOR: TÉRCIA CESÁRIA REIS DE SOUZA**

**COMITÉ TUTORAL:**

**GERMÁN BORBOLLA SOSA**

**GERARDO MARISCAL LANDÍN**

**QUERÉTARO, QRO. 2008**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **DEDICATORIAS**

Este trabajo está dedicado a mi familia, especialmente a mi padre, por todo el sacrificio hecho durante toda su vida para cumplir correctamente con su labor; a mi madre por ser el pilar de la familia sobre el cual nos apoyamos; a Patricia por estar asumiendo papeles inimaginables; a Diana por estar con la disposición de ayudar apoyando causas imposibles; a Laura por ser un motor fundamental en mi vida y a mi tutora, sin la que hubiera sido imposible iniciar siquiera todo este proceso.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece a SAGARPA – CONACYT por el apoyo económico a esta investigación (tesis).

Se agradece a DIPASA por la proveer la pasta de ajonjolí para la realización del trabajo experimental.

De igual manera se agradece al MVZ Marco Quintana y a PAIEPEME por apoyar en cierta manera al desarrollo del presente trabajo, hago extensivo mi agradecimiento también al Dr. José Antonio Cuarón Ibarguengoitia, al Dr. José Antonio Rentería Flores, por el apoyo que me brindaron durante la realización del trabajo experimental.

En general agradezco a todo los maestros de los que recibí los conocimientos que me permitieron realizar el presente documento.

Le agradezco especialmente a mi compañero Alejandro Castellanos por las largas discusiones sobre diferentes temas que me ayudaron a comprender en parte la fisiología digestiva.

Agradezco infinitamente a mi esposa la paciencia, el apoyo y su capacidad trabajo que fue fundamental para hacer posible este proyecto.

Agradezco a la M. en C. Araceli Aguilera Barreyro su disponibilidad, su comprensión y su apoyo.

Finalmente no tengo palabras para agradecer a la Dra. Tércia Cesária Reis de Souza y al Dr. Gerardo Mariscal Landín todo el apoyo, la paciencia, el aprecio y la confianza que recibí de su parte.

## **INDICE GENERAL**

• Dedicatorias.	II.
• Agradecimientos.	III.
• Resumen.	IV.
• Abstract.	V.
• Índice general.	VI.
• Índice de cuadros.	IX.
• Índice de figuras.	XI.
I. Introducción.	13.
II. Revisión de Literatura.	14.
2.1 Desarrollo de los órganos digestivos.	14.
2.2 El destete.	16.
2.2.1 El destete y la morfología digestiva.	17.
2.3 Las secreciones digestivas y el aprovechamiento de los alimentos.	19.
2.3.1 Algunos factores que afectan las secreciones endógenas.	22.
2.4 Utilización digestiva de los nutrimentos.	23.
2.4.1 Digestibilidad.	23.
2.4.2 La digestibilidad y las pérdidas endógenas de los nutrimentos.	24.
2.4.3 Determinación de la digestibilidad de las materias primas.	26.
2.5 Materias primas estudiadas.	27.
2.5.1 Ajonjolí.	27.
2.5.2 Soya.	28.
III. Objetivos	29.
3.1 Objetivo general	29.
3.2 Objetivos específicos	29.
IV. Material y Métodos.	30.
4.1 Experimento uno (prueba de digestibilidad).	31.
4.1.1 Animales y esquema experimental.	31.
4.1.2 Dietas experimentales.	32.
4.1.3 Análisis químicos.	32.
4.1.4 Manejo general.	32.
4.1.5 Análisis estadístico.	33.
4.2 Experimento dos (prueba de comportamiento productivo).	34.

4.2.1	Animales, dietas y manejo general.	34.
4.2.2	Análisis estadístico.	36.
4.3	Experimento tres (estudio morfofisiológico).	38.
4.3.1	Animales, dietas y manejo general.	38.
4.3.2	Procedimiento de sacrificio y colecta de muestras.	38.
4.3.3	Análisis estadístico.	40.
V.	Resultados.	42.
5.1	Materias primas y dietas experimentales.	42.
5.2	Experimento uno (prueba de digestibilidad).	44.
5.2.1	Digestibilidad de la materia seca y de la proteína cruda.	44.
5.2.2	Digestibilidad de los aminoácidos en las materias primas.	45.
5.2.3	Digestibilidad de los aminoácidos en las dietas.	48.
5.3	Experimento dos (prueba de comportamiento productivo).	51.
5.4	Experimento tres (estudio morfofisiológico).	53.
5.4.1	Peso de órganos.	53.
5.4.2	Actividad enzimática.	54.
5.4.2.1	Pancreática.	54.
5.4.2.2	Intestinal.	61.
5.4.3	Morfología intestinal	66.
VI.	Discusión.	73.
6.1	Digestibilidad de materias primas y tratamientos (dietas)	73.
6.1.1	Tratamiento térmico y digestibilidad de dietas y materias primas.	73.
6.1.2	Contenido de fibra y digestibilidad.	74.
6.1.3	Digestibilidad de aminoácidos.	75.
6.2	Comportamiento productivo	76.
6.2.1	Ganancia diaria de peso.	76.
6.2.2	Consumo diario de alimento.	77.
6.2.3	Eficiencia alimenticia.	77.
6.3	Desarrollo morfofisiológico	79.
6.3.1	Peso de órganos digestivos.	79.
6.3.2	Actividad enzimática.	82.
6.3.2.1	Pancreática.	82.
6.3.2.2	Intestinal.	85.

<b>6.3.3</b> Morfología intestinal	86.
<b>VII.</b> Conclusiones.	91.
<b>VIII.</b> Referencias bibliográficas.	92.

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Contenido de nutrimentos en la semilla de ajonjolí.	28.
<b>Cuadro 2.</b> Composición de las dietas experimentales experimento 1.	33.
<b>Cuadro 3.</b> Composición de las dietas de los experimentos 2 y 3.	37.
<b>Cuadro 4.</b> Composición química y perfil de aminoácidos de las materias primas del experimento 1.	42.
<b>Cuadro 5.</b> Composición química y perfil de aminoácidos de la caseína utilizada en el experimento 1.	43.
<b>Cuadro 6.</b> Perfil de aminoácidos de las dietas del experimento 1.	43.
<b>Cuadro 7.</b> Coeficientes de digestibilidad ileal aparente (CDIa) y estandarizada (CDIe) de la materia seca (MS) y la proteína cruda (PC) de las dietas experimentales y de las materias primas utilizadas en el experimento 1.	44.
<b>Cuadro 8.</b> Coeficientes de digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos (AA) componentes de las materias primas utilizadas en el experimento 1.	45.
<b>Cuadro 9.</b> Coeficientes de digestibilidad ileal estandarizada de los aminoácidos (AA) componentes de las materias primas utilizadas en el experimento 1.	47.
<b>Cuadro 10.</b> Coeficientes de digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos (AA) de las dietas experimentales del experimento 1.	48.
<b>Cuadro 11.</b> Coeficientes de digestibilidad ileal estandarizada de los aminoácidos componentes de las dietas del experimento 1.	50.
<b>Cuadro 12.</b> Comportamiento productivo por fases y total (experimento 2).	51.
<b>Cuadro 13.</b> Comportamiento productivo en las semanas posdestete (experimento 2).	52.
<b>Cuadro 14.</b> Peso de órganos digestivos por dieta experimental	53.
<b>Cuadro 15.</b> Peso de los órganos digestivos según el día posdestete	54.
<b>Cuadro 16.</b> Actividad total y específica de las proteasas pancreáticas en función de los días posdestete.	57.
<b>Cuadro 17.</b> Actividad total de las enzimas intestinales durante los primeros 25 días posdestete.	62.
<b>Cuadro 18.</b> Actividad específica de las enzimas intestinales en función de los días posdestete y el tratamiento experimental.	64.



**Cuadro 19.** Altura, anchura y área de las vellosidades; profundidad de las criptas de Lieberkühn y relación vellosidad (altura)/ cripta (profundidad). 67.

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Comparación del desarrollo del TGI entre diferentes especies.	14.
<b>Figura 2.</b> Desarrollo de los órganos digestivos de acuerdo a la edad en cerdos.	15.
<b>Figura 3.</b> Flujo, secreción y absorción de nitrógeno (N) en g·d <sup>-1</sup> en diferentes secciones del tracto gastrointestinal.	21.
<b>Figura 4.</b> División de los aminoácidos presentes en la digesta ileal.	25.
<b>Figura 5.</b> Esquema experimental de la prueba de digestibilidad.	32.
<b>Figura 6.</b> Distribución de los lechones en las jaulas en cada bloque, en el experimento 1.	35.
<b>Figura 7.</b> Esquema experimental de la prueba de comportamiento.	36.
<b>Figura 8.</b> Esquema de la distribución de los lechones en las jaulas en cada tratamiento en el experimento 3.	41.
<b>Figura 9.</b> Regresión de la actividad enzimática de la tripsina en función del día posdestete.	56.
<b>Figura 10.</b> Regresión de la actividad enzimática de la quimotripsina en función del día posdestete.	59.
<b>Figura 11.</b> Regresión de la actividad de la carboxipeptidasa A en función del día posdestete.	60.
<b>Figura 12.</b> Regresión de la actividad de la aminopeptidasa N en función del día posdestete.	63.
<b>Figura 13.</b> Regresión de la actividad total de la aminopeptidasa A en función del día posdestete.	65.
<b>Figura 14.</b> Regresión de la actividad total de la dipeptidildipeptidasa en función del día posdestete.	66.
<b>Figura 15.</b> Regresión entre los días posdestete y la altura y anchura de las vellosidades de los animales de PA y la profundidad de las criptas de los animales de PS en el duodeno.	69.
<b>Figura 16.</b> Regresión entre los días posdestete y la anchura de las vellosidades y profundidad de las criptas de los animales de PA y la profundidad de las criptas de los animales de PS en el yeyuno.	70.
<b>Figura 17.</b> Regresión entre los días posdestete y la profundidad de las criptas de los animales de PA y la anchura de las vellosidades y la profundidad de las criptas de los animales de PS en el íleon.	71.

- Figura 18.** Regresión entre los días posdestete y el área de las vellosidades del duodeno de los animales de PA y área de las vellosidades del duodeno, yeyuno e íleon de los animales de PS. 72.
- Figura 19.** Peso absoluto (g) del intestino delgado, hígado, páncreas y estómago según el día posdestete. 80.
- Figura 20.** Peso relativo ( $\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$ ) del intestino delgado, hígado, páncreas y estómago según el día posdestete 81.
- Figura 21.** Comparación entre la actividad total de la tripsina determinada por Makkink et al. (1994) y la determinada en el presente trabajo el presente trabajo (promedio). 83.
- Figura 22.** Comparación entre la actividad total y específica de la quimotripsina. 84.
- Figura 23.** Comparación de la altura de las vellosidades entre el presente estudio y el publicado por Marion et al. (2002).

## **I. INTRODUCCIÓN**

El destete temprano es un momento importante en la vida del lechón, ya que los animales son sometidos a un cambio radical en su alimentación, la cual pasa de líquida a sólida incluyendo nutrimentos de origen vegetal que su tracto gastrointestinal no está preparado para digerir. Esta situación genera cambios morfológicos y funcionales del aparato digestivo, que pueden causar disminución del consumo voluntario de alimento y alteraciones en el proceso digestivo, impidiendo que el animal cubra sus requerimientos de energía y proteína. Como consecuencia, se observa un bajo crecimiento inicial, pérdida de peso y, en algunos casos, diarrea y muerte. En respuesta a esta problemática, en las últimas décadas la industria alimenticia ha desarrollado alimentos preiniciadores e iniciadores que asemejan la composición y digestibilidad de la leche materna, con el objetivo de minimizar las alteraciones causadas por el alimento al aparato digestivo poco desarrollado del lechón (van Heugten y Spears, 1997). Así, los alimentos iniciadores deben ser altamente digestibles, para que su utilización sea lo más eficiente posible por el animal joven (Partridge, 2001). En este sentido se hace necesario conocer los ingredientes que puedan incluirse en las dietas comerciales para lechones y compararlos con las materias primas que han sido usadas tradicionalmente.

Dentro de las materias primas usadas como fuentes proteicas para la fabricación de alimentos iniciadores está la pasta de soya. Se calcula que aproximadamente el 62% de la proteína ofrecida a los animales en el ámbito mundial proviene de esta materia prima (ASA, 2002). Sin embargo, la principal desventaja de dicha fuente proteica es la presencia de factores antinutricionales que limitan su inclusión en dietas para lechones recién destetados (Friesen et al., 1993). En la actualidad, la creciente demanda de ajonjolí para la nutrición humana, hace que sus subproductos como la pasta de ajonjolí sea una alternativa interesante en lo que alimentación porcina se refiere (Sato et al., 2004). En este producto el contenido de proteína y de grasa es alto y no se le conocen factores antinutricionales (Sato et al., 2004). Además, la perspectiva actual del uso de oleaginosas para la producción de combustibles ecológicos, junto con la explosión en la demanda para el consumo humano y el hecho de que México fue en el pasado el principal productor mundial de

ajonjolí, hacen de la pasta de ajonjolí un subproducto con mucho potencial para la alimentación de lechones recién destetados.

## RESUMEN

Para evaluar la incorporación del ajonjolí en dietas para lechones recién destetados, se realizaron tres experimentos. En el primero se estimaron los coeficientes de digestibilidad ileal aparente (CDIa) y estandarizada (CDIe) de la materia seca (MS), proteína cruda (PC) y aminoácidos en dietas con Pasta de Soya (PS), Frijol Soya Extruído (FSE), Pasta de Ajonjolí (PA) o Pasta de Ajonjolí Tostada (PAT). El segundo experimento evaluó la ganancia diaria de peso (GDP), el consumo diario de alimento (CDA) y la eficiencia alimenticia (EA) de lechones alimentados con PA o PS. El tercer experimento estudió el efecto de PA y PS durante los primeros 25 días posdestete, sobre el peso de los órganos digestivos, la actividad enzimática pancreática e intestinal y la morfología intestinal. Los resultados muestran que PAT tuvo un menor CDIaMS que FSE ( $P < 0.05$ ). PS y PA tuvieron una digestibilidad intermedia. El CDIaPC de PS y FSE superó al de PAT, y PA fue intermedio ( $P > 0.05$ ). El CDIePC de PS, PA y FSE fueron similares, mientras que el de PAT fue menor. La digestibilidad de la mayoría de los aminoácidos fue similar. El CDA fue similar ( $P > 0.05$ ) entre PS y PA, la GDP fue superior ( $P < 0.05$ ) para PS en la segunda semana posdestete. La GDP total y la EA total para ambas dietas fue similar ( $P > 0.05$ ). La fuente de proteína no afectó el peso de los órganos ( $P > 0.05$ ), las diferencias fueron debidas al día posdestete ( $P < 0.01$ ). El peso de los órganos disminuyó al tercer día posdestete e incrementó posteriormente, exceptuando el estómago. La actividad enzimática pancreática e intestinal decayó al tercer día posdestete, aumentando durante los días siguientes (6, 13 y 25). Las vellosidades intestinales disminuyeron su altura al tercer día posdestete y las criptas aumentaron su profundidad en los días 13 y 25 posdestete. Se concluye que la pasta de ajonjolí puede ser utilizada en las dietas iniciadoras.

**Palabras clave:** Lechón, Digestibilidad, Pasta de ajonjolí, Enzimas digestivas, Vellosidades intestinales.

## **ABSTRACT**

To assess the incorporation of sesame in weaned piglets diets three experiments were conducted. The first estimated the apparent (AID) and standardized (SID) ileal digestibility of dry matter (DM), crude protein (CP) and amino acids in diets with soybean meal (SBM), soybean whole seed extruded (SWSE), sesame meal (SM) or toasted sesame meal (TSM). The second experiment evaluated average daily gain (ADG), feed intake (FI) and feed efficiency (FE) of piglets fed diets based on SM or SBM. The third experiment studied the effect of SM and SBM during the first 25 post-weaning days on the digestive organs weight, pancreatic and intestinal enzyme activity and intestinal morphology. TSM had a lower DM-AID than SWSE ( $P < 0.05$ ). SBM and SM had an intermediate value. The CP-AID of SBM and SWSE was higher than that of TSM, and SM was similar ( $P > 0.05$ ). The CP-SID at SBM, SM and SWSE were similar, while that at TSM was lower. The majority of amino acids had a similar digestibility. The FI was similar ( $P > 0.05$ ) between SBM and SM. In the second post-weaning week the ADG was higher ( $P < 0.05$ ) for SBM in the second week post-weaning. Total ADG and total FE was similar ( $P > 0.05$ ) between diets. The protein source had no effect on the digestive organs weight ( $P > 0.05$ ), the differences observed were due to day post-weaning ( $P < 0.01$ ). Small intestine weight decreased on the third post-weaning day. The other digestive organs had the same behavior, excepting stomach. Pancreatic and intestinal enzyme activity decreased on the third post-weaning day, increasing during the following days (6, 13 and 25). Height intestinal villi decreased on the third post-weaning day and the depth of crypts increased on 13 and 25 post-weaning day. We conclude that the sesame meal can be used in starter diets.

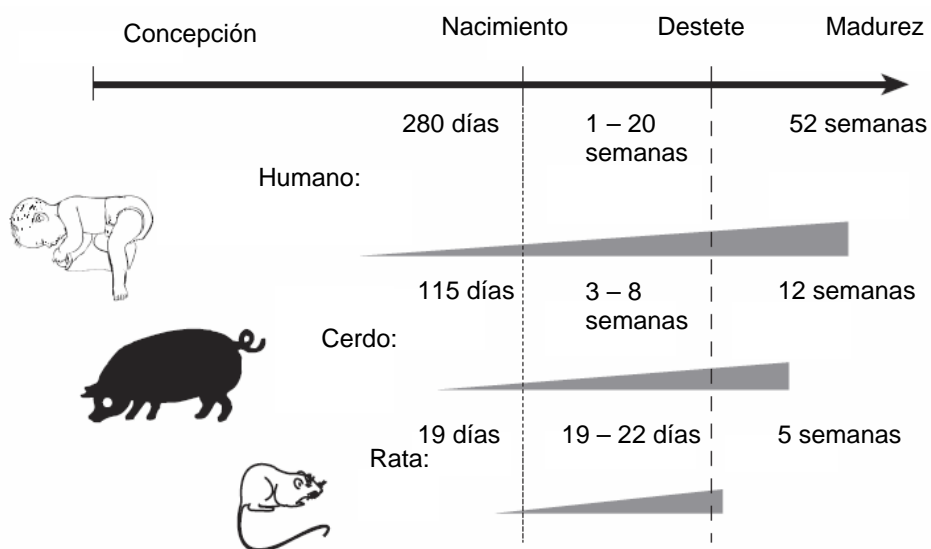
**Keywords:** Piglet, digestibility, sesame meal, digestive enzymes, Intestinal villi.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Desarrollo de los órganos digestivos

Generalmente ha sido reconocido por diferentes autores (Koong et al., 1983; Quiniou y Noblet, 1995; de Lange y Schereurs, 1995; de Lange y Coudenys 1996; Bikker et al., 1996; Nyachoti, 1998; Sanguild et al., 2002; Mariscal y Reis de Souza, 2007) que, a diferencia de otras especies, el desarrollo del tracto gastrointestinal (TGI) de los cerdos se da principalmente a partir del nacimiento (Figura 1), siendo muy poco en la vida fetal, acelerándose después del nacimiento y maximizándose una vez que han sido destetados los lechones, alcanzando su madurez alrededor de las 12 semanas de vida (Figuras 1 y 2). Así, el desarrollo del aparato digestivo está íntimamente ligado al consumo de alimento sólido en la fase posdestete (Reis de Souza et al., 2002 y 2005).

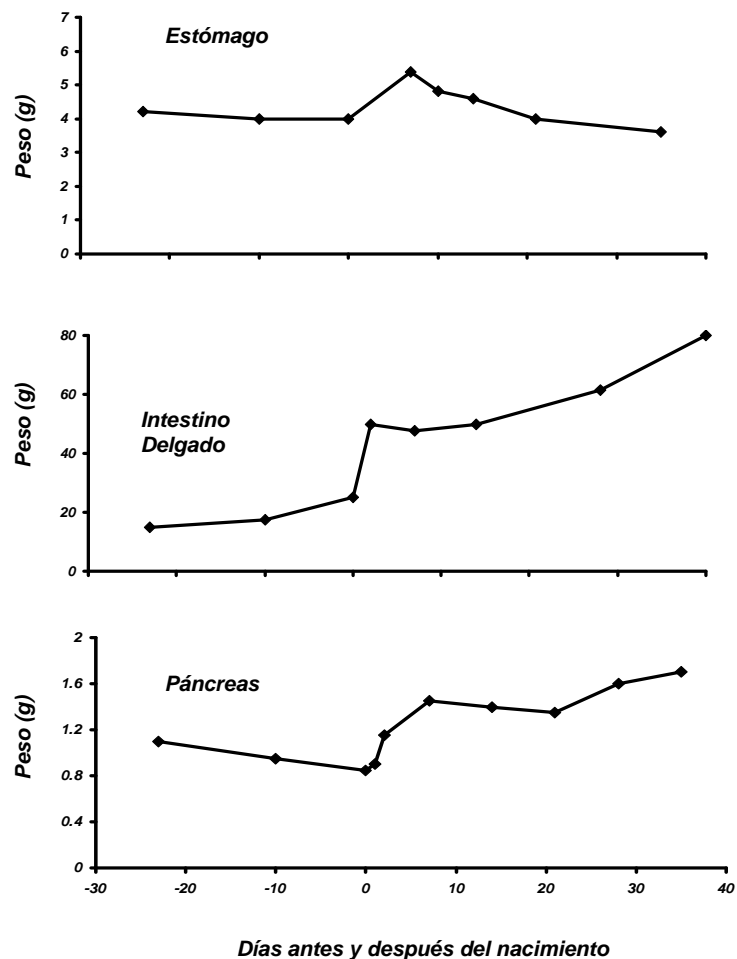
**Figura 1.** Comparación del desarrollo del TGI entre diferentes especies (Sanguild, 2001).





El desarrollo de TGI está determinado por factores como genotipo, peso corporal y consumo de alimento (Figura 2). Las razas magras desarrollan más TGI, mientras que las razas “obesas” (Meishan) poseen un TGI más pequeño (Koong et al., 1983). Animales que consumen una mayor cantidad de alimento pueden llegar a aumentar el tamaño del estómago, del páncreas, del intestino delgado y del hígado, ya que estos órganos requieren de aproximadamente el 50% de la energía total corporal, por lo que, al aumentar el consumo de energía estos crecerán más (Quiniou y Noblet, 1995; Nyachoti et al., 1997).

**Figura 2.** Desarrollo de los órganos digestivos de acuerdo a la edad en cerdos (Sanguild et al., 2000).



La composición de la dieta también es importante, ya que para el intestino delgado es determinante la influencia proveniente del exterior, sobre todo del consumo de alimento, para desarrollar su capacidad de digestión, absorción y defensa. La fibra es un elemento que influye bastante en las características funcionales y morfológicas del TGI, ya que dependiendo de su estructura, se genera una mayor o menor producción de moco o recambio celular, lo cual se puede ver reflejado en el peso de los órganos digestivos (Montagne et al. 2001). En cuanto al desarrollo del páncreas, este está directamente relacionado con el tipo de dieta que consume el animal, ya que si los animales tienen acceso a alimentos ricos en proteínas, grasas o carbohidratos este órgano tendrá que desarrollar sus funciones de acuerdo a dichos sustratos (Pluske et al., 1997).

## **2.2. El destete**

El destete es el período más crítico en la vida de un cerdo, ya que en esta etapa se presentan cambios fundamentales. A finales de la década de los 70 y a inicios de los 80 se empezó a practicar un “destete temprano” con el objetivo de que las cerdas reiniciaran su ciclo reproductivo de manera prematura. Eso significó que se pasara de un destete gradual, que lo realizaba la misma cerda entre las 15 – 22 semanas de edad de los lechones, a un destete brusco alrededor de los 7 días de edad (Jensen et al., 1997). En la actualidad el destete se realiza entre los 21 y 28 días de edad, tiempo en el cual el tracto gastrointestinal del lechón no alcanza a madurar. A esta edad, factores psicológicos, sociales y nutricionales interfieren con su desarrollo, particularmente con el del TGI (Lallès et al., 2004); lo que repercute en el consumo de alimento y en la capacidad digestiva del TGI (Gay et al., 1976; Hampson, 1986; Miller et al., 1986; Kelly et al., 1991; Nabuurs et al., 1993; Kelly y King, 2001).

Las alteraciones generadas por el destete no se presentan en ninguna otra etapa del crecimiento del cerdo y debido al cambio radical en la alimentación, los animales se someten a un severo estrés nutricional (Pluske et al., 1995).

La leche materna, líquida, altamente digestible y muy bien acoplada a las enzimas del tubo digestivo del lechón se reemplaza por una dieta sólida, elaborada a base de cereales, no siempre adecuada a las condiciones del aparato digestivo todavía inmaduro (Pluske et al., 1995). Como consecuencia en el lechón recién destetado se observa una capacidad limitada de digestión y de absorción de los alimentos, sobre todo en lo que respecta a las proteínas vegetales (Lallès y Toullec, 1996). Los nutrientes no digeridos y no absorbidos presentes en la luz intestinal sirven de sustrato para bacterias enteropatógenas (*E. Coli*), haciendo que estas proliferen, causando enfermedades diarreicas que pueden aumentar la mortalidad en el destete (McCracken y Kelly, 1993).

### **2.2.1. El destete y la morfofisiología digestiva.**

Durante las últimas décadas, con el fin de minimizar los efectos del destete sobre la morfología y la fisiología digestiva de los cerdos jóvenes, se ha intensificado la investigación sobre las características morfológicas y funcionales del intestino delgado. Diversos estudios se avocaron a determinar los efectos del destete sobre la morfología y la función del intestino delgado y caracterizar la magnitud de dichos cambios (Efird et al., 1982; Hampson, 1986; Pluske et al., 1995; Pluske et al., 1997; Xianhong et al., 2002). Como resultado, se observó que la disminución de la ganancia de peso, el bajo consumo, y las alteraciones intestinales capaces de producir enfermedades diarreicas en ese periodo, pueden relacionarse con una limitada capacidad del TGI para digerir y utilizar eficientemente las dietas iniciadoras (Xianhong et al., 2002). Varios factores han sido mencionados como los causantes de la menor capacidad de digerir y absorber nutrientes observada en los lechones recién destetados, entre estos se encuentran: la presencia de antígenos en la dieta que afectan la inmunidad local intestinal, la fibra dietaria y los factores antinutricionales presentes en las materias primas (Hampson, 1986; Lallès y Toullec, 1996; Pluske et al., 1997; Lallès et al., 2004). Como consecuencia se observan alteraciones en la integridad de la mucosa intestinal, las cuales van de la mano con la disminución de la actividad enzimática del borde en cepillo de los enterocitos (Hampson, 1986). Diversos autores coinciden en que se puede observar una disminución hasta de un 75% en el tamaño (altura) de las

vellosidades durante las primeras 24 horas posdestete (Efird et al., 1982; Hampson, 1986; Makkink et al., 1994; Jensen et al., 1997; Pluske et al., 1997; Hedemann et al., 2003). Las vellosidades se acortan por la pérdida de enterocitos maduros; simultáneamente disminuye la actividad de la lactasa (Miller et al., 1986) debido a un aumento de la tasa de renovación celular, llevando a la presencia de enterocitos inmaduros en las vellosidades acortadas, que no pueden expresar su máxima capacidad enzimática (Hampson y Kidder, 1986). Además, las peptidasas, enzimas presentes en membranas del borde en cepillo y en el citosol de los enterocitos, que se encargan de la hidrólisis de los péptidos, disminuyen también su actividad desde el nacimiento hasta las 5 semanas de edad (Sanguild, 1991). La recuperación del tamaño de las vellosidades se observa desde el día tres posdestete (Hampson, 1986; Pluske 1995 y 1997), lo cual se ha relacionado con la presencia de alimento en el tubo digestivo. Esto reafirma la teoría de Hynes (1992) y Hedemann et al. (2003) en la que se postula que la falta de nutrientes (energía y proteína) necesarios para la actividad de los enterocitos es la causa de la disminución del tamaño de las vellosidades. En cuanto a las enzimas, se puede concluir que la ausencia de alimentación durante los primeros días, provoca una disminución en su actividad, que está explicado por una merma de sustratos en la luz intestinal. La actividad de la lactasa se reduce como consecuencia de la disminución de la ingesta de lactosa (Reis de Souza et al., 2002).

A nivel funcional y estructural se observan cambios en el intestino delgado durante las primeras 24 a 36 horas posdestete. Los efectos son, principalmente, a nivel de la mucosa intestinal con la atrofia de las vellosidades, hipertrofia de las criptas intestinales, y disminución del peso relativo del intestino, el cual puede perder entre el 20 y el 30% de su peso (Lallès et al., 2004). La disminución en el nivel de consumo voluntario de alimento, impide que el animal alcance a satisfacer los requerimientos necesarios de energía y proteína, afecta la proliferación, diferenciación y la migración de las células del epitelio (Hynes, 1992).

En cuanto al páncreas, se reporta que el ayuno provoca un aumento en la concentración de enzimas en su tejido, esto refleja una baja secreción del jugo pancreático, debido al bajo consumo de alimento. Lallès et al. (2004) a través de estudios moleculares observaron que los niveles de RNA mensajero

(mRNA) en el páncreas son bajos inmediatamente después del destete; sugiriendo una disminución en la síntesis de las enzimas pancreáticas en este periodo. Sin embargo, pocos días después, los niveles pancreáticos de mRNA y la actividad enzimática fueron restaurados, con excepción de la actividad de la lipasa.

### ***2.3. Las secreciones digestivas y el aprovechamiento de los alimentos***

El proceso digestivo y por ende la utilización digestiva de los nutrimentos está íntimamente relacionado con la función secretora del tracto gastrointestinal. Las secreciones digestivas constituyen una fuente de nutrimentos de origen endógena, sobre todo de nitrógeno, que deben ser tomadas en cuenta en la determinación de la digestibilidad de los nutrimentos.

A lo largo de todo el tubo digestivo se encuentran una serie de glándulas que pueden desempeñar diversas funciones, principalmente la secreción de enzimas digestivas, desde la boca hasta el final del íleon y la secreción de moco (mucinas) que lubrica y protege todo el TGI. Una de las características más importantes de la función secretora es, que en ciertas porciones del TGI, algunas glándulas pueden modificar las características de su producción en función del tipo de sustrato presente (Guyton y Hall, 2003).

Según Guyton y Hall (2003) las principales secreciones que ocurren en el TGI son:

- Secreción salival (amilasa salival y moco).
- Secreción gástrica:
  - Pepsina.
  - Factor intrínseco.
- Secreción pancreática:
  - Tripsina.
  - Quimiotripsina.
  - Carboxipeptidasa.
  - Elastasas.
  - Nucleasas.
  - Amilasas.
  - Lipasas.
  - Estearasas.
- Secreción del intestino delgado:
  - Secreción mucosa por parte de células de Brunner y caliciformes (mucina (glucoproteínas ricas en treonina y serina)).
  - Enzimas de borde en cepillo (aminopeptidasas, dipeptidasas y fosfatasa alcalina principalmente)
- Secreción biliar:
  - Sales biliares.

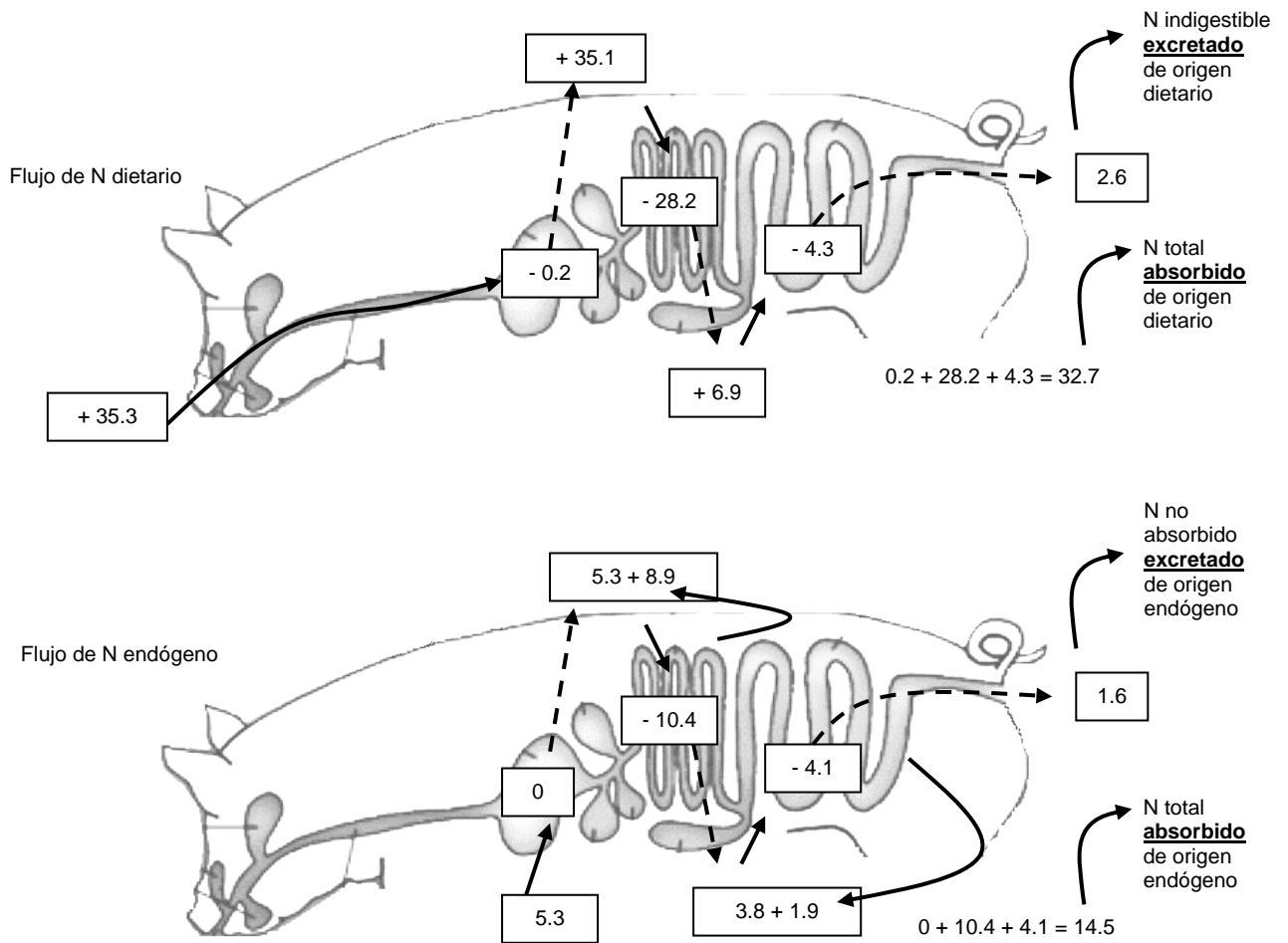
En todas estas secreciones están presentes iones bicarbonato, electrolitos y moco.

La cantidad de nitrógeno en las diferentes secreciones del TGI puede variar (Figura 3) y su reabsorción puede llegar hasta un 90% (70 – 90%) en el íleon terminal. En este sentido, Viljoen et al. (1998) utilizando una dieta con una fuente de proteína altamente digestible (gluten de maíz) determinaron que la reabsorción de nitrógeno endógeno fue del 89%. Varios autores han identificado que el aumento de nitrógeno a nivel del íleon distal tiene una relación directa con el aumento de las secreciones, así como, con el incremento del recambio celular, producido por una mayor tasa de

descamación celular (Grala et al., 1997; Nyachoti et al., 1997; Caine et al., 1998; Bayardo, 2000; Leterme, 2001).

Las cantidades de nitrógeno presentes en íleon distal están dadas por un balance entre la excreción y la absorción (reabsorción) y dicho balance puede verse afectado por diversos factores que alteran directamente los procesos de secreción, aumentándola; y los de reabsorción, disminuyéndola. Estos factores están presentes en las diferentes materias primas utilizadas para la producción de alimentos para cerdos, dentro de éstos se incluyen: taninos, kafirinas, lectinas, inhibidores de proteasas, proteínas hipersensibilizantes, fibra, consumo de alimento, entre otros.

**Figura 3.** Flujo, secreción y absorción de nitrógeno (N) en g·d<sup>-1</sup> en las diferentes secciones del tracto gastrointestinal (TGI) (adaptado de Fuller y Reeds, 1998)<sup>1</sup>.





### **2.3.1. Algunos factores que afectan las secreciones endógenas**

Son de especial interés los inhibidores proteolíticos y las proteínas hipersensibilizantes (glicinina y  $\beta$  - conglucina) debido a que estos se encuentran en la pasta de soya. Los inhibidores proteolíticos pertenecen a la familia del Bowman – Birk y Kunitz. Se unen a las enzimas proteolíticas (tripsina y quimiotripsina) más específicamente la quimiotripsina secretada por el páncreas inactivándola (Huisman y Jansman, 1991). Eso ocasiona un aumento en su secreción y por lo tanto mayores cantidades de nitrógeno endógeno (aminoácidos azufrados (Bruggink, 1993)). Caine et al. (1997a) observaron diferencias significativas en la recuperación de aminoácidos a nivel ileal entre dietas en las que se utilizaron pasta de soya cruda o tratada con proteasas. Los animales que se alimentaron con la primera secretaron una mayor cantidad de nitrógeno (aminoácidos) ( $28.8 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$  de materia seca ingerida), mientras que en los animales que se alimentaron con la segunda, se recuperó una menor cantidad de nitrógeno ( $4 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$  de materia seca ingerida). Eso sugiere que los inhibidores proteolíticos ejercieron su función sobre las enzimas, generando una mayor secreción de estas, aumentando la cantidad de nitrógeno a nivel ileal.

En cuanto a las proteínas hipersensibilizantes, se ha reportado la presencia de dos proteínas específicas, la glicinina y la  $\beta$ -conglucina, reconocidas por producir una serie de reacciones que estimulan un conjunto de respuestas inmunes localizadas, afectando el medio ambiente intestinal y pudiendo llegar a producir diarreas importantes. Eso genera una mayor descamación celular aumentando aún más la cantidad de nitrógeno presente en la luz intestinal a nivel ileal (Karr-Lilienthal et al., 2004).

## **2.4. Utilización digestiva de los nutrimentos**

### **2.4.1. Digestibilidad**

La digestibilidad es una estimación indirecta de la absorción de los nutrimentos, resultado de las funciones del proceso digestivo, y se define como la diferencia entre la cantidad ingerida y excretada de un nutrimento, en relación a la cantidad ingerida del nutrimento. La digestibilidad se expresa matemáticamente con la ecuación propuesta por Sauer (2000).

$$CDa = [(N_i - N_e) / N_i] * 100$$

Donde, CDa es el coeficiente de digestibilidad aparente,  $N_i$  es la cantidad de nutrimento ingerido,  $N_e$  es la cantidad de nutrimento excretado en el contenido ileal o fecal.

La digestibilidad puede medirse a nivel ileal o fecal, en el caso de hacer las mediciones a nivel ileal se determina el coeficiente de digestibilidad ileal aparente (CDIa) y si las mediciones se hacen en heces se estima el coeficiente de digestibilidad fecal aparente (CDFa). Varios autores coinciden en que los valores de digestibilidad ileal del nitrógeno (proteína cruda) y los ácidos grasos (grasas), son más exactos, ya que en la digestibilidad fecal se observan sobreestimaciones, debido a que los microorganismos del intestino grueso utilizan los nutrimentos no absorbidos hasta el íleon aumentando los valores de digestibilidad significativamente (Furuya y Kaji, 1989; Viljoen et al., 1998; Caine et al., 1997a; Darragh y Hodgkinson, 2000; Stein et al., 2001; Albin et al., 2001). Estos mismos autores son claros en afirmar que a pesar de que existe evidencia de una ligera actividad bacteriana en el intestino delgado, la cual puede afectar la exactitud de los valores de digestibilidad ileal, el efecto es mínimo comparado con el observado en el intestino grueso.

Para la determinación de los coeficientes de digestibilidad ileal se hace necesario la aplicación de técnicas especiales, todas ellas invasivas (quirúrgicas) para permitir la colecta de la digesta ileal. Entre estas técnicas se encuentran la fistulación e implantación de una cánula (simple en "T", reentrante, postvalvular íleo – cólica y en "T" postvalvular cecal (Nissen, 1992)) y las técnicas de anastomosis íleo – rectal (Bengala Freire et al., 1988). La más comúnmente usada es la fistulación e implantación de una cánula simple en "T", debido a que es la de aplicación más práctica, además de ser la que menos daño causa al tracto digestivo (Reis de Souza et al., 2000).

Para la determinación del coeficiente de digestibilidad se puede usar el método de colecta total de la digesta ileal o heces, para lo cual se tiene que cuantificar la cantidad total de nutrimento ingerido y excretado. Por otro lado, se puede usar un marcador indigestible como el Óxido de Cromo, que se adiciona en una concentración conocida en el alimento que será consumido por los animales en experimentación. Para el método del marcador se incluye en la formula original la concentración del marcador, tanto en la dieta como en la digesta (Sauer et al., 2000).

$$CDa = [1 - [(M_D * N_F) / (M_F * N_D)]] * 100$$

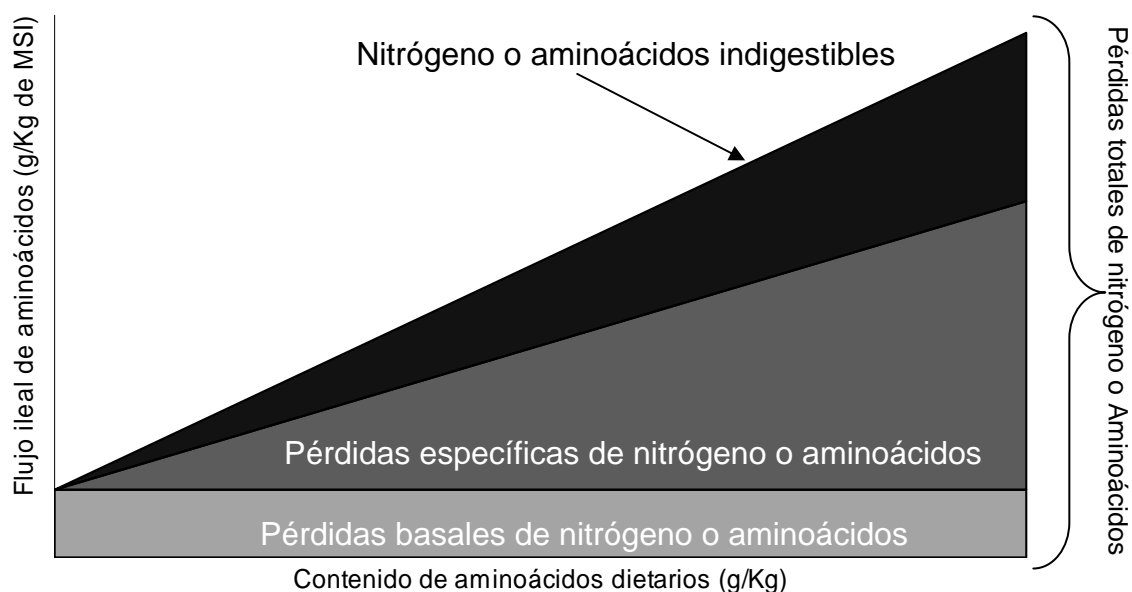
Donde, CDa es el coeficiente de digestibilidad aparente;  $M_D$  es la concentración del marcador en la dieta;  $N_F$  es la concentración del nutrimento en la digesta ileal o en las heces;  $M_F$  es la concentración del marcador en la digesta ileal o en las heces y  $N_D$  es la concentración del nutrimento en la dieta.

#### ***2.4.2. La digestibilidad y las pérdidas endógenas de los nutrimentos***

Para determinar de una forma más precisa los coeficientes de digestibilidad a nivel ileal de la proteína y de los aminoácidos (AA) se deben considerar las características funcionales del tracto digestivo, ya que es necesario tener en cuenta que la digesta ileal contiene una proporción significativa de aminoácidos no dietarios. Estos provienen de las secreciones digestivas: la mucina (moco), células descamadas, enzimas digestivas y bilis. A estos se les denomina aminoácidos endógenos (pérdidas endógenas) (Hess y Sève, 1999). Además, la digesta ileal contiene nutrimentos provenientes de la flora microbiana. Como fue mencionado anteriormente, es importante subrayar que las pérdidas endógenas no son uniformes para todos los tipos de dieta que consumen los animales, pero que dependen de la composición de la dieta, principalmente en relación al tipo de proteína, de la cantidad y tipo de fibra, y de factores antinutricionales de los ingredientes que componen la dieta. Estos pueden aumentar la excreción de nitrógeno endógeno en forma de enzimas digestivas o mucina (moco) (Darragh y Hodgkinson, 2000; Pedersen et al., 2002; Stein et al., 2006; Stein, 2007). Teniendo en cuenta lo anterior, las pérdidas endógenas pueden ser divididas en dos: pérdidas basales y pérdidas específicas (Figura 4).

Las pérdidas endógenas basales se definen como aquellas que ocurren independientemente de la composición de la dieta, esto es, las que se producen naturalmente y que se atribuyen al funcionamiento normal del tracto gastrointestinal. Las pérdidas basales se expresan en  $\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$  de materia seca ingerida (MSI) (Hess y Sève, 1999).

**Figura 4.** División de los aminoácidos presentes en la digesta ileal (Stein et al., 2006).



Las pérdidas endógenas basales se determinan con el empleo de diversas técnicas dentro de las que están: dieta libre de nitrógeno (proteína) (de Lange, 1989; Makkink et al., 1997; Wu et al., 1997; Hess y Sève, 1999; Leterme, 2001); dietas con proteínas altamente digestibles (Nyachoti et al., 1997; Salgado et al., 2002; Jansman et al., 2002); técnicas de dilución isotópica (de Lange et al., 1990; Li et al., 1991; Souffrant et al., 1993; Leterme, 2001; Hodgkinson et al., 2003); técnica de regresión (Fan et al., 1995; Leterme, 2001; Jansman et al., 2002; Mosenthin, 2002) y la técnica de la homoarginina (Nyachoti et al., 1997; Mosenthin, 2002). Las pérdidas endógenas específicas son las que ocurren en respuesta a factores específicos de la dieta (por ejemplo el nivel y tipo de fibra, factores antinutricionales, etc.), que pueden incrementar la descamación celular, la secreción de enzimas y de moco, así como también pueden impedir su reabsorción (Leterme, 2001). La diferencia

entre las pérdidas totales y las pérdidas basales da como resultado las pérdidas específicas (Montagne et al., 2001). En base a lo anterior, se puede considerar que para determinar de manera apropiada el coeficiente de digestibilidad ileal del nitrógeno se debe hacer una corrección de las pérdidas de aminoácidos endógenos. Cuando se utilizan los valores de nitrógeno endógeno determinado en el mismo experimento, se expresa como coeficiente de digestibilidad ileal verdadera (CDIv). Si se utilizan valores de pérdidas endógenas que se han determinado en otro experimento, se calcula el coeficiente de digestibilidad ileal estandarizada (CDIe).

$$CDIe = CDIa + (AA_{peb} / AA_{con})$$

Donde, CDIe es el coeficiente de digestibilidad estandarizada de un nutrimento, CDIa es el coeficiente de digestibilidad aparente de ese nutrimento,  $AA_{peb}$  es la cantidad de la pérdida endógena basal del aminoácido en  $mg \cdot Kg^{-1}$  de MSI,  $AA_{con}$  es la cantidad de aminoácido consumido en  $mg \cdot Kg^{-1}$  de MSI.

### **2.4.3. Determinación de la digestibilidad de las materias primas**

Para determinar los coeficientes de digestibilidad ileal de los AA de un ingrediente se pueden utilizar diversos métodos a saber: método directo, método de diferencia y método de regresión (Fan et al., 1995). El método directo usa la primera ecuación descrita por Sauer et al. (2000) mencionada anteriormente, para casos en los que la fuente de aminoácidos proviene de un solo ingrediente. Cuando los aminoácidos provienen de dos ingredientes se utiliza el método de diferencia, en el cual se emplean los valores de digestibilidad de la dieta experimental y las proporciones de inclusión de las diferentes materias primas usadas en la elaboración de una dieta. Aquí se tiene en cuenta que uno de los ingredientes y fuente de aminoácidos va a ser una proteína altamente digestible, la cual tenga una composición conocida y estable, a la que se le denomina ingrediente basal (Mariscal-Landín y Reis de Souza, 2006).

$$CDIa_{NA} = [CDIa_{DA} - (CDIa_B \times S_B)] / S_A \times 100$$

Donde,  $CDIa_{NA}$  es el coeficiente de digestibilidad ileal aparente de un nutrimento en un ingrediente de la dieta experimental (proteína cruda de la pasta de soya),  $CDIa_{DA}$  coeficiente de digestibilidad ileal aparente de un

nutrimento en la dieta experimental (proteína cruda de la dieta experimental);  $CDI_{AB}$  es el coeficiente de digestibilidad aparente de un nutrimento presente en el ingrediente basal dieta basal (proteína cruda de la caseína);  $S_B$  es el nivel de inclusión del ingrediente basal en la dieta experimental; y  $S_A$  es el nivel de inclusión del ingrediente (materia prima) en la dieta (Mariscal-Landín y Reis de Souza, 2006).

Teniendo los valores de digestibilidad ileal aparente de las materias primas se puede calcular la digestibilidad estandarizada, estimando el valor nutricional de una materia prima de manera más apropiada (Stein et al., 2001).

## **2.5. Materias primas estudiadas**

### **2.5.1. Ajonjolí**

En los últimos años el ajonjolí ha adquirido una importancia relevante para la alimentación animal, ya que la disponibilidad de sus subproductos (producidos durante la elaboración de productos alimenticios para la población humana) va en aumento por su creciente demanda como fuente de energía y proteína, además se ha observado un incremento en el consumo de sus aceites en reemplazo del aceite de oliva (Dashak y Fali, 1993; Sato et al., 2004). El ajonjolí es extensamente cultivado en varias regiones a nivel mundial que incluyen India, Indochina, Japón, África, la costa mediterránea y actualmente, Estados Unidos, México y varios países de América latina. Existen diferentes variedades de ajonjolí, pero las más cultivadas son *Sesamum indicum* y *Sesamum radiatum*; las cuales presentan diferencias en sus características químicas y físicas principalmente en el color de su semilla, que pueden ser blanco crema, rojo oscuro, café y amarillo (Sato et al., 2004). El ajonjolí es una semilla oleaginosa que contiene entre el 40 – 60 % de proteína cruda, una vez que el aceite ha sido extraído de ella, siendo su principal proteína, la sesamina, que se sabe que contiene entre un 3 – 4% de metionina (Cuadro 1) (Dashak y Fali, 1993; Sato et al., 2004). Esta semilla contiene el 47.5 – 48.5% de grasa y no ha sido reportada la presencia de factores antinutricionales dentro de sus componentes (Sato et al., 2004). El aceite de ajonjolí contiene fitosterol y tocoferol; además tiene un componente llamado sesamolina del cual se reconocen sus propiedades antioxidantes. Además se sabe que es rico en vitamina E y calcio.

**Cuadro 1.** Contenido de nutrimentos en la semilla de ajonjolí (ASA, 2002).

Nutrimento	Cantidad (%)
Lisina	2.4
Metionina	3.5
Treonina	1.9
Triptófano	0.8
Arginina	6.5
Valina	3.2
Prolina	8.2
Fenilalanina	2.3
Tirosina	1.1
Isoleucina	1.8
Calcio	2.5 – 4.0
Fósforo	0.4 – 0.5
Fibra detergente neutro	22.0
Fibra detergente ácido	32.0

### **2.5.2. Soya**

El valor nutricional de la soya está determinado primordialmente por la composición de los aminoácidos de su proteína. La pasta de soya es un subproducto que resulta del procesamiento de la semilla de soya para la extracción del aceite usado para consumo humano, que guarda una cantidad considerable de proteína (44 – 48% de PC). Los tratamientos térmicos que sufre la soya en su procesamiento disminuyen considerablemente la cantidad de los factores antinutricionales y mejoran su digestibilidad (Aguilera, 2001). Es importante mencionar que hay diversos trabajos que indican que el uso de la pasta de soya para la alimentación de lechones recién destetados no puede rebasar el 22.5%, ya que puede causar importantes problemas de hipersensibilidad, retrasando en gran medida el desarrollo de los lechones (Herkelman et al., 1992; Friesen et al., 1993; Caine et al., 1997b).

### **III. OBJETIVOS.**

#### **3.1 Objetivo general**

Evaluar la factibilidad del uso de la pasta de ajonjolí como fuente proteica alternativa a la pasta de soya para la alimentación de lechones recién destetados en función de su utilización digestiva, la respuesta productiva de los lechones y los cambios morfofisiológicos del aparato digestivo durante las primeras cuatro semanas posdestete.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Comparar la pasta de ajonjolí y la pasta de soya en términos de la digestibilidad ileal aparente y estandarizada de la proteína cruda.
- Comparar la digestibilidad ileal aparente de la materia seca, de la proteína cruda y de los aminoácidos, y la estandarizada de la proteína cruda y de los aminoácidos de dietas a base de ajonjolí (pasta de ajonjolí y pasta de ajonjolí tostado) y soya (pasta de soya y frijol soya extruído).
- Estudiar el efecto del consumo de dietas a base de pasta de ajonjolí o pasta de soya sobre:
  - El comportamiento productivo de lechones.
  - El peso de los órganos digestivos y la integridad de la mucosa intestinal.
  - La actividad de las enzimas proteolíticas del páncreas y de la mucosa intestinal (borde en cepillo).



#### **IV. MATERIAL Y MÉTODOS**

Para evaluar la viabilidad del uso de la pasta de ajonjolí en la alimentación de lechones, se diseñaron tres experimentos: el primero fue una prueba de digestibilidad; el segundo una prueba de comportamiento productivo y en el tercero se estudió el desarrollo morfofisiológico de los órganos digestivos, la altura de vellosidades y profundidad de las criptas de Lieberkühn, la actividad enzimática total y específica de las proteasas pancreáticas (tripsina, quimotripsina, carboxipeptidasa A y carboxipeptidasa B) y la actividad enzimática total y específica de las principales peptidasas de la mucosa intestinal (aminopeptidasa N, aminopeptidasa A y dipeptidildipeptidasa) durante los primeros 25 días posdestete.

Para conocer las materias primas (fríjol soya extruído, pasta de soya, pasta de ajonjolí y pasta de ajonjolí tostado) estudiadas, se analizó su composición química en términos del contenido de materia seca (AOAC, 2002), proteína cruda (AOAC, 2002), aminoácidos (Henderson et al., 2000), extracto etéreo (AOAC, 2002) y fibra detergente neutro (FDN) (AOAC, 2002; Van Soest et al., 1991).

Los experimentos se realizaron en la granja experimental del CENID-Fisiología, INIFAP, ubicado en Ajuchitlán, Colón, Querétaro. Los análisis químicos se efectuaron en el laboratorio de Nutrición Animal del INIFAP y en el laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Autónoma de Querétaro. En todo momento se respetaron los lineamientos de la Norma Oficial Mexicana para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio (Diario Oficial, 2001); así como los de la “Internacional Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals” (Mariscal y Reis de Souza, 2006).

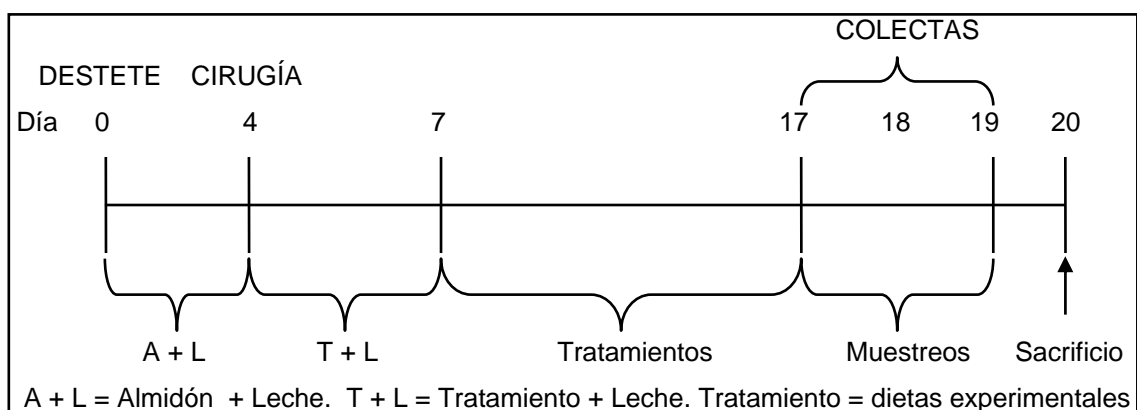
#### **4.1. Experimento uno (prueba de digestibilidad).**

En este experimento se determinó la digestibilidad ileal aparente y estandarizada de las dietas y las materias primas utilizando las ecuaciones reportadas por Mariscal – Landín y Reis de Souza (2006) (ver páginas 28 y 29).

*4.1.1. Animales y esquema experimental:* Se utilizaron veinte lechones híbridos (Landrace x Duroc), destetados a los  $20 \pm 1.5$  días de edad con un peso promedio de  $6.1 \pm 0.7$  Kg. El experimento se desarrolló en tres bloques (meses), en el bloque uno y dos se utilizaron dos animales por tratamiento (dieta) y en el bloque tres cada tratamiento tuvo un animal, haciendo un total de cinco animales por tratamiento.

En cada bloque los lechones se alojaron en jaulas individuales elevadas de 35 cm de ancho por 72 cm de largo, con piso de rejilla, comedero de tolva y bebedero de chupón. Los animales se adaptaron a las jaulas y a consumir alimento sólido empleando una mezcla de leche en polvo (80%) y almidón de maíz (20%) durante los primeros cuatro días posdestete (Figura 5). En el día 4 posdestete, los lechones fueron intervenidos quirúrgicamente para implantar una cánula simple en "T" a nivel del ileon distal (Reis et al., 2000). Después de la cirugía todos los animales se alimentaron con una mezcla de los tratamientos con leche en polvo en niveles crecientes de la dieta experimental (D) y decrecientes de leche (L), así: día 1, 75% L y 25% D; día 2, 50% L y 50% D; día 3, 25% L y 75% D. A partir del tercer día (posquirúrgico) los lechones consumieron las dietas experimentales en un 100% hasta el final de periodo experimental. La colecta de contenido ileal se realizó directamente de la cánula los días 17, 18 y 19 posdestete (de las 8:00 a 20:00 horas). Durante las dos primeras horas la cánula permaneció abierta y posteriormente se intercalaron períodos de una hora cerrada y una hora abierta. Las muestras se colectaron en bolsas de plástico con 2 ml de ácido clorhídrico 0.2 N para bloquear toda actividad bacteriana (Reis de Souza et al., 2000). El contenido ileal colectado de cada animal se colocó en un recipiente y se congeló a  $-20$  °C, hasta su liofilización.

**Figura 5.** Esquema experimental de la prueba de digestibilidad.



4.1.2. Dietas experimentales: Se formularon cuatro dietas (tratamientos) con diferentes tipos de materias primas como fuentes de proteína: Pasta de Soya (PS), Frijol Soya Extruído (FSE), Pasta de Ajonjolí (PA) y Pasta de Ajonjolí Tostada (PAT) (Cuadro 2). El óxido de cromo fue incorporado como marcador de la digestibilidad ( $3 \text{ g} \cdot \text{Kg}^{-1}$ ).

4.1.3. Análisis químicos: Después de la liofilización, las muestras de contenido ileal se molieron con una criba de 1 mm para posteriormente determinar materia seca (MS) y proteína cruda (PC) (AOAC, 2002), cromo (Fenton y Fenton, 1979) y aminoácidos. Los análisis de AA se realizaron por medio de cromatografía en fase reversa (Henderson et al., 2000). Los mismos análisis se realizaron en las dietas experimentales.

4.1.4. Manejo general: El consumo de alimento se registró diariamente y al igual que el agua, se proporcionó a saciedad. El alimento se suministró en tres horarios: 7:00, 12:00 y 18:00 hrs. Los lechones se sacrificaron el día 20 del experimento con el fin de corroborar la ausencia de fístulas intestinales que pudieran afectar la estimación de la digestibilidad (Figura 5).

**Cuadro 2.** Composición de las dietas del experimento 1.

Ingredientes, g·Kg <sup>-1</sup>	Dietas Experimentales <sup>1</sup>			
	FSE	PS	PAT	PA
Almidón de maíz	491.0	501.0	513.4	496.5
Fríjol soya extruído	150.0			
Pasta de soya		150.0		
Pasta de ajonjolí tostada			150.0	
Pasta de ajonjolí				150.0
Aceite de maíz	40.0	40.0	40.0	40.0
Lactosa	123.7	123.7	123.7	123.7
Caseína	149.6	137.7	127.1	145.5
L – Lisina HCl			3.4	2.4
L – Treonina	0.6	0.6	0.8	0.6
DL – Metionina	1.6	1.6	0.1	0.4
L - Triptófano	0.3	2.0		
Sal	5.1	5.3	5.4	5.4
Carbonato de calcio	1.4	1.5	3.6	3.8
Fosfato bicálcico	24.1	24.0	19.9	19.1
Óxido de zinc	4.0	4.0	4.0	4.0
Óxido de cromo	3.0	3.0	3.0	3.0
Antioxidante	0.5	0.5	0.5	0.5
Promotor (antibiótico) <sup>2</sup>	0.3	0.3	0.3	0.3
Premezcla de vitaminas <sup>3</sup>	3.6	3.6	3.6	3.6
Premezcla de minerales <sup>4</sup>	1.2	1.2	1.2	1.2
<b>Análisis Químico</b>				
PC (%) **	20.7	19.9	21.5	20.5
MS (%) **	94.7	95.2	94.4	95.5
FDN (%) **	2.2	1.9	3.8	2.6
ED Kcal·Kg <sup>-1</sup> ***	3905	3903	3925	3934

<sup>1</sup>FSE=Fríjol soya extruído, PS=Pasta de soya, PAT=Pasta de ajonjolí tostado, PA=Pasta de ajonjolí. <sup>2</sup>Tylan® (Elanco). Aporta 2.64 mg de fosfato de tilosina Kg<sup>-1</sup>. de alimento. <sup>3</sup>Premezcla de vitaminas que aporta por Kg. de dieta: Vitamina A 10,200 UI; D 1,980 UI; E 60 UI; K 1.20 mg; Colina 967 mg; Niacina 36 mg; Ácido Pantoténico 17 mg; Rivo flavina 7.2 mg; Vitamina B<sub>12</sub> 38 µg; Tiamina 0.30 mg; Piridoxina 0.31 mg; Biotina 0.08 mg; Ácido Fólico 0.75 mg. <sup>4</sup>Premezcla de minerales que aporta por Kg. de dieta: Cu 14.4 mg; I 800 mg; Fe 105 mg; Mn 36 mg; Se 0.3 mg; Zn 144 mg. \*\* Valores analizados. \*\*\* Valores calculados.

4.1.5. Análisis estadístico: Las variables de respuesta fueron los coeficientes de digestibilidad ileal aparente de la materia seca, la proteína cruda y los aminoácidos; además de los coeficientes de digestibilidad ileal estandarizada de la proteína cruda y los aminoácidos. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar empleando el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk}: \mu + \beta_i + \delta_{(i)} + \tau_j + \varepsilon_{(ij)k}$$

Donde:

$Y_{ijk}$ : Representa la variable de respuesta (el coeficiente de digestibilidad ileal) en el k – ésimo animal de la j – ésima dieta dentro del i – ésimo bloque.

$\mu$ : Media general.

$\beta_i$ : Efecto del i – ésimo bloque,  $i = 1 - 3$

$\delta$ : Error asociado con el i – ésimo bloque.

$\tau_j$ : Efecto del j – ésimo tratamiento,  $j = 1 - 4$

$\varepsilon_{(ij)k}$ : Error experimental.

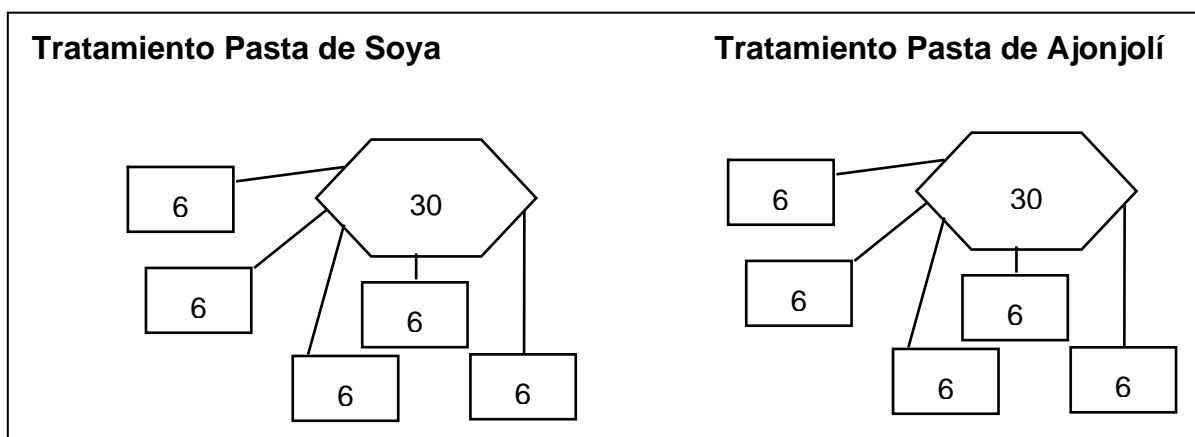
La comparación de medias se realizó por medio del procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (SAS, 1990), utilizando la prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1985).

## **4.2. Experimento dos (prueba de comportamiento productivo).**

4.2.1. Animales, dietas y manejo general: Se utilizaron 60 lechones destetados a los  $20 \pm 1.7$  días, con un peso de  $6.3 \pm 0.8$  Kg., alojándose en jaulas colectivas (N = cinco jaulas/tratamiento y seis lechones/jaula) (Figura 6). Los lechones se dividieron en dos grupos de 30 animales cada uno. En ambos grupos se utilizaron dos fases de alimentación: fase 1 (F1), del destete al día 14, y fase 2 (F2), de día 15 al día 28 (Figura 7). Un grupo consumió pasta de soya (PS) como fuente de proteína en la dieta, y el otro pasta de ajonjolí (PA) (Cuadro 3). Se debe aclarar que en este experimento solo se utilizaron las dietas con PA y con PS porque en primer lugar se quiso comparar a la pasta de ajonjolí con la materia prima más usada en la alimentación de lechones recién destetados, y en segundo lugar los coeficientes de digestibilidad de las dietas y las materias primas observados en el primer experimento ubicaron a las dietas

ya mencionadas en un lugar similar. Las dietas experimentales se formularon de acuerdo a los requerimientos establecidos por el NRC (1998).

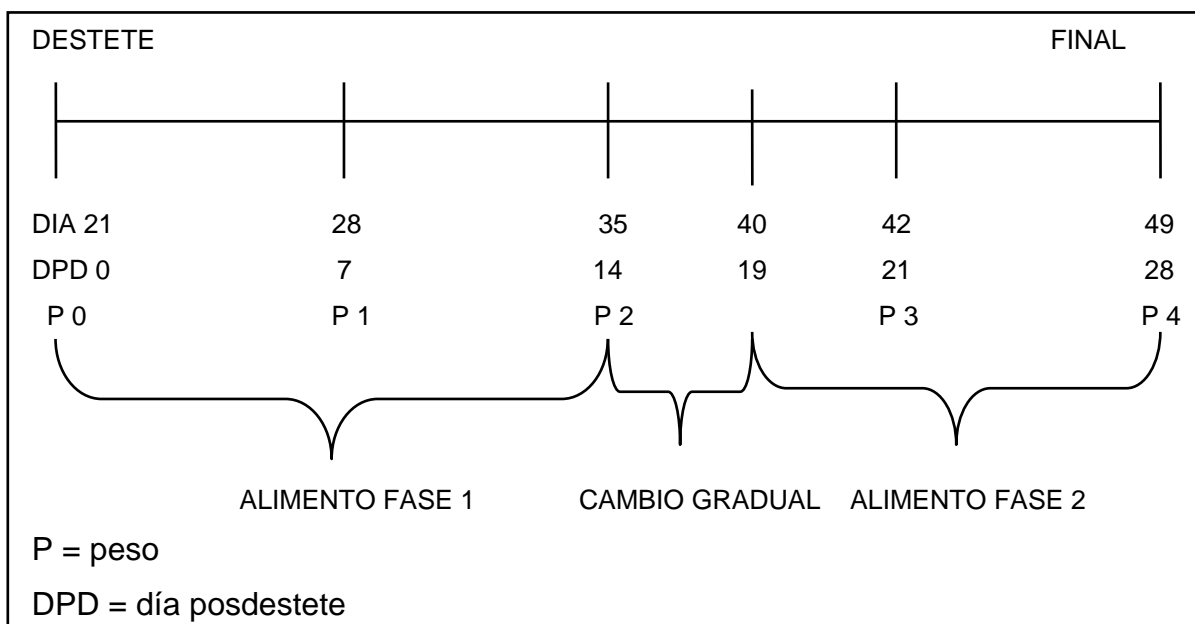
**Figura 6.** Distribución de los lechones en las jaulas en cada bloque, en el experimento dos.



Las jaulas de destete están elevadas a 38 cm de altura, cuentan con piso de rejilla, con 115 cm de ancho y 150 cm de largo, para una superficie efectiva de 1.7 m<sup>2</sup>. Están equipadas con un bebedero de chupón y un comedero tipo tolva (con 6 bocas).

Se registró diariamente el alimento ofrecido, al final de la semana se midió el rechazo y se calculó el consumo diario de alimento. Los animales se pesaron al final de cada semana. El programa de alimentación varió según la semana posdestete, ofreciéndose el alimento tres veces al día durante la fase 1 (8:00, 14:00 y 20:00) y dos veces al día en la fase 2 (8:00 y 18:00). Los animales permanecieron en las instalaciones hasta la cuarta semana posdestete (Figura 7). El cambio de alimento de F1 a F2 fue gradual: primer día 100% F1, segundo día 75% F1 y 25% F2, tercer día 50% F1 y 50% F2, cuarto día 25% F1 y 75% F2 y quinto día 100% F2.

**Figura 7.** Esquema experimental de la prueba de comportamiento.



**4.2.2. Análisis estadístico:** Las variables de respuesta evaluadas en este experimento fueron: la ganancia diaria de peso (GDP), el consumo diario de alimento (CDA) y la eficiencia alimenticia (EA). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, según el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$ : Representa la variable de respuesta (GDP, CDA o EA) del  $i$  – ésimo animal de la  $j$  – ésima dieta.

$\mu$ : Media general.

$\tau_j$ : Efecto del  $j$  – ésimo tratamiento,  $j = 1 - 2$

$\varepsilon_{ij}$ : Error experimental.

La comparación de medias se realizó por medio del procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (SAS, 1990), utilizando la prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1985).

**Cuadro 3.** Composición de las dietas de los experimentos dos y tres.

Ingredientes g·Kg <sup>-1</sup>	Fase 1		Fase 2	
	PS	PA	PS	PA
Maíz amarillo 9.5% PC	470.0	463.2	515.0	509.3
Pasta de soya	120.0		200.0	
Pasta de ajonjolí		120.0		200.0
Concentrado de soya	98.9	106.2	29.2	36.5
Suero de leche			178.3	178.3
Lactosa	185.6	185.6		
Harina de pescado	50.0	50.0	20.0	20.0
Aceite de maíz	30.0	30.0	20.0	20.0
Sal común	3.9	8.8	1.7	1.8
L – Lisina HCl 99	3.0	4.8	3.8	7.4
L – Treonina 98.5	0.8	0.9	0.9	1.2
DL – Metionina	1.0	0.2	1.2	
L – Triptófano 98.5	0.8		0.3	
Carbonato de calcio	12.6	10.7	13.6	15.8
Fosfato bicálcico	13.1	9.3	11.1	4.8
Óxido de zinc	4.0	4.0		
Saborizante	1.0	1.0	1.0	1.0
Antioxidante	0.1	0.1	0.1	0.1
Promotor (antibiótico) <sup>1</sup>	0.4	0.4	0.4	0.4
Premezcla de vitaminas <sup>2</sup>	3.6	3.6	2.4	2.4
Premezcla de minerales <sup>3</sup>	1.2	1.2	1.0	1.0
PC <sup>***</sup>	20.0	20.0	20.0	20.0
MS <sup>**</sup>	93.8	97.6	93.4	94.5
ED Kcal·Kg <sup>-1***</sup>	3619	3641	3459	3509

<sup>1</sup>Tylan® (Elanco), aporta 2.64 mg de Fosfato de tilosina Kg.<sup>-1</sup> de alimento; <sup>2</sup>Premezcla de vitaminas que aporta por Kg de dieta: Vitamina A 10,200 UI; D 1.980 UI; E 60 UI; K 1.20 mg; Colina 967 mg; Niacina 36 mg; Ac. Pantoténico 17 mg; Riboflavina 7.2 mg; Vitamina B<sub>12</sub> 38 µg; Tiamina 0.30 mg Piridoxina 0.31 mg; Biotina 0.08 mg; Ac Fólico 0.75 mg. <sup>3</sup>Premezcla de minerales que aporta por Kg de dieta: Cu 14.4 mg; I 800 mg; Fe 105 mg; Mn 36 mg; Se 0.3 mg; Zn 144 mg. \*\* Valores analizados. \*\*\* Valores calculados.



### **4.3. Experimento tres (estudio morfofisiológico).**

4.3.1. Animales, dietas y manejo general: Cuarenta lechones (Landrace \* Duroc) destetados a los  $21.2 \pm 0.7$  días de edad y con un peso promedio de  $6.7 \pm 1.0$  Kg. fueron utilizados en este experimento. Los lechones fueron alimentados con las mismas dietas utilizadas en el experimento dos. Los animales fueron asignados a dos tratamientos experimentales (dieta con pasta de soya y dieta con pasta de ajonjolí (Cuadro 3)) y se alojaron en diez corraletas (N = 4 animales/corraleta y 5 corraletas/tratamiento) (Figura 8). Cada corraleta se eleva a 38 cm del suelo, cuenta con piso de rejilla y con una superficie efectiva de  $1.7 \text{ m}^2$ . Cada corraleta está equipada con un bebedero de chupón y un comedero tipo tolva (con 6 bocas). Al día del destete (día cero), se sacrificaron ocho lechones como grupo testigo (lactante) para evaluar el grado de los cambios morfofisiológicos posteriores al destete y al consumo de alimento sólido. Cuatro animales por tratamiento se sacrificaron por día (0, 3, 6, 13 y 25 días posdestete) para observar los cambios morfofisiológicos en el animal con el uso de las diferentes dietas.

El consumo de alimento se midió semanalmente y los lechones se pesaron antes de cada sacrificio. El alimento se ofreció a saciedad tres veces al día en la fase uno (8:00, 14:00 y 20:00 horas) y dos veces al día en la fase dos (8:00 y 16:00 horas).

4.3.2. Procedimiento de sacrificio y colecta de muestras: En los días de los sacrificios, los lechones se adormecieron por inhalación de  $\text{CO}_2$  durante 3 minutos y posteriormente se sacrificaron seccionándoles la vena yugular para su exsanguinación. Una vez sacrificados se procedió a la apertura de la cavidad abdominal para la colecta de los órganos digestivos (páncreas, hígado, estómago e intestino delgado), los cuales se disecaron y pesaron. El peso de los órganos se reportó en su valor absoluto (gramos) y relativo (con relación al peso vivo ( $\text{g} \cdot \text{Kg}^{-1}$  de peso vivo)). Inmediatamente después de la obtención del peso de los órganos, el páncreas se congeló en nitrógeno líquido y posteriormente se conservó a  $-70^\circ\text{C}$ , hasta que se realizaron los análisis mediante los cuales se determinó la actividad de tripsina usando como sustrato arginina (Reboud et al., 1962), quimotripsina usando como sustrato tirosina (Bergmeyer, 1974), carboxipeptidasa A usando como sustrato fenilalanina

(Bradshaw et al., 1969) y carboxipeptidasa B usando como sustrato arginina (Folk et al., 1960). Se determinó la cantidad de proteína en el páncreas (Lowry et al., 1951) para reportar la actividad específica de las enzimas.

Para verificar el efecto de las diferentes dietas experimentales y del día posdestete sobre la integridad intestinal se midió la altura y la anchura de las vellosidades, la profundidad de las criptas, la relación altura de la vellosidad/profundidad de cripta (V/C) y el área funcional de las vellosidades teniendo en cuenta el área de un triángulo (área del triángulo =  $(\text{Base} * \text{Altura})/2$ ). Para lo cual el intestino delgado se dividió en tres partes iguales (duodeno, yeyuno e íleon) (Makkink et al., 1994) y se cortó una porción de cada región de aproximadamente 10 cm. de largo, las cuales se enjuagaron con solución salina, se anudaron los extremos con hilo cáñamo y se perfundieron con formalina neutralizada al 10 % (Nabuurs et al., 1993). Después de 48 horas de la colecta se procesaron los intestinos, que se cortaron a 5 micras de espesor, utilizando la técnica de inclusión en parafina. Los cortes se tiñeron con hematoxilina-eosina y se observaron en un microscopio óptico Carl Zeiss (modelo K7) efectuándose diez mediciones por lámina, para determinar el promedio de la altura de las vellosidades (del ápice hasta la base) y la profundidad de las criptas (de la base de la vellosidad hasta el fondo de la cripta). A las partes restantes del intestino se les realizó un raspado, sobre una base refrigerada, para obtener la mucosa intestinal, posteriormente la mucosa intestinal se congeló a  $-70^{\circ}\text{C}$  hasta la determinación de la actividad enzimática de las exopeptidasas intestinales aminopeptidasa N, usando como sustrato leucina; aminopeptidasa A, usando como sustrato arginina y dipeptidildipeptidasa usando como sustrato lisina-prolina (Kim y Brophy, 1976; Gray y Santiago, 1977; Lapp y O'Conner, 1984; Upjeet et al., 2001; Fan et al., 2001; Jensen et al., 2001).

4.3.3. Análisis estadístico: Las variables de respuesta evaluadas en el experimento fueron: Peso absoluto (g) y relativo ( $\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$ ) de los órganos digestivos, actividad total ( $\text{UI}\cdot\text{g}^{-1}$  páncreas) y específica ( $\text{UI}\cdot\text{mg proteína}^{-1}$ ) de las enzimas pancreáticas y proteasas intestinales y altura y anchura de vellosidades y profundidad de criptas intestinales (observación microscópica). El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con un arreglo factorial  $2 \times 5$  (dos dietas (PA y PS) y cinco días de sacrificio (0, 3, 6, 13, 25)); con el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk}: \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$ : Representa la variable de respuesta (actividad enzimática pancreática e intestinal, peso del órgano y morfología intestinal (altura, anchura de vellosidades y profundidad de criptas))

$\mu$ : Media general.

$\alpha_i$ : Efecto del  $i$  – ésimo tratamiento,  $i = 1 - 2$ .

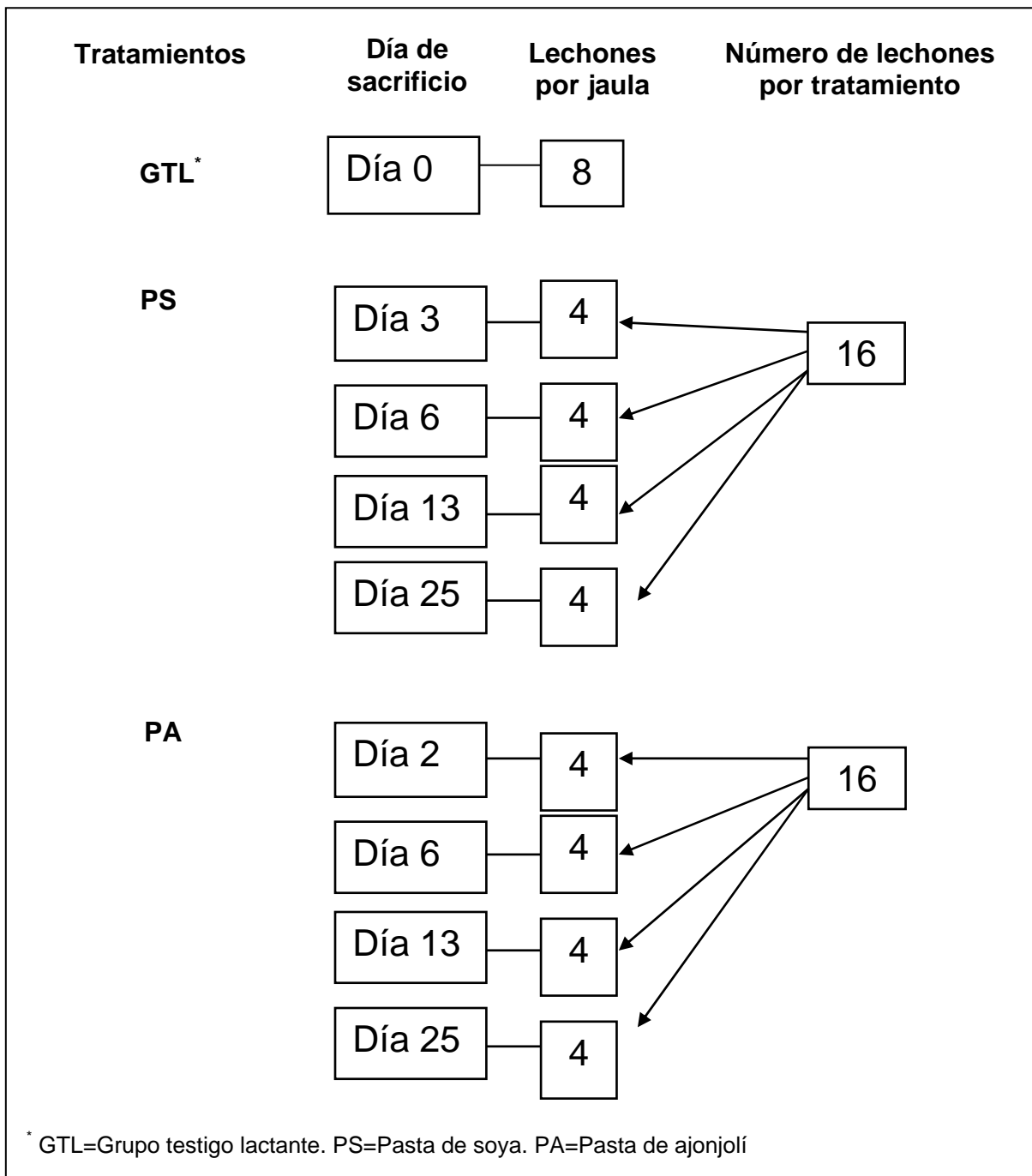
$\beta_j$ : Efecto del  $j$  – ésimo día de sacrificio,  $j = 1 - 5$ .

$(\alpha\beta)_{ij}$ : Efecto debido a la interacción de los factores.

$\varepsilon_{ijk}$ : Error experimental.

La comparación de medias se realizó por medio del procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (SAS, 1990), utilizando la prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1985).

**Figura 8.** Esquema de la distribución de los lechones en las jaulas en cada tratamiento en el experimento tres.



## V. RESULTADOS.

### 5.1. Materias primas y dietas experimentales.

El contenido de aminoácidos de las materias primas, la caseína y las dietas se muestran en los cuadros 4, 5 y 6, respectivamente.

**Cuadro 4.** Composición química y perfil de aminoácidos de las materias primas del experimento 1.

	Materias primas <sup>1</sup>			
	FSE	PS	PAT	PA
<b>Análisis químico</b>				
MS %	92.17	89.49	97.04	96.78
PC %	34.05	44.55	54.21	43.83
FDN %	14.29	13.14	22.19	17.97
EE %	19.80	1.05	11.08	1.18
<b>Aminoácidos esenciales<sup>2</sup></b>				
Arginina	2.97	3.79	6.21	6.25
Lisina	2.30	2.86	1.00	1.24
Histidina	0.97	1.29	1.41	1.14
Leucina	2.97	3.89	3.88	3.04
Isoleucina	1.92	2.59	2.75	1.96
Valina	1.93	2.43	2.77	2.17
Fenilalanina	1.85	2.52	1.81	1.76
Treonina	1.50	2.17	1.20	1.56
Cistina	0.62	0.72	0.27	0.84
Metionina	0.59	0.77	1.26	1.22
<b>Aminoácidos no esenciales<sup>2</sup></b>				
Ac. aspártico	4.34	5.78	3.95	3.63
Ac. glutámico	7.91	10.34	12.29	9.73
Serina	2.01	2.40	1.63	2.03
Glicina	1.61	2.20	2.50	2.11
Alanina	1.67	2.20	2.59	2.05
Tirosina	1.48	1.86	2.34	1.76
Prolina	2.16	3.79	1.79	1.53

<sup>1</sup>FSE=Fríjol soya extruído, PS=Pasta de soya, PAT=Pasta de ajonjolí tostado, PA=Pasta de ajonjolí. <sup>2</sup>Valores en g de aminoácido por 100 g de materia seca. Técnica Henderson et al., 2000.

**Cuadro 5.** Composición química y perfil de aminoácidos de la caseína utilizada en el experimento 1.

Análisis químico	
MS %	91.0
PC %	88.7
EE %	0.8
Perfil de aminoácidos <sup>1</sup>	
Arginina	3.26
Lisina	7.35
Histidina	2.82
Leucina	8.79
Isoleucina	4.66
Valina	6.10
Fenilalanina	4.79
Treonina	3.98
Cistina	0.41
Metionina	2.70

<sup>1</sup>Valores en g de aminoácido por 100 g de materia seca. Técnica Henderson et al., 2000.

**Cuadro 6.** Perfil de aminoácidos de las dietas del experimento 1.

	Dietas experimentales <sup>1</sup>			
	FSE	PS	PAT	PA
Aminoácidos esenciales <sup>2</sup>				
Arginina	1.282	1.106	1.338	1.393
Lisina	0.821	2.197	1.338	1.393
Histidina	0.195	0.472	0.203	0.324
Leucina	0.672	1.912	1.672	1.752
Isoleucina	1.555	1.086	0.895	0.942
Valina	0.978	0.590	1.618	1.760
Fenilalanina	1.602	1.194	1.021	1.081
Treonina	1.051	1.349	1.097	1.101
Cistina	1.550	0.756	0.864	0.901
Metionina	0.858	1.389	0.833	1.189
Aminoácidos no esenciales <sup>2</sup>				
Ac. aspártico	1.540	2.170	1.607	1.737
Ac. glutámico	5.582	5.038	5.826	4.951
Serina	0.956	1.218	0.998	1.090
Glicina	0.566	0.569	0.590	0.579
Alanina	0.724	0.758	0.756	0.747
Tirosina	0.917	1.011	0.957	1.000
Prolina	1.4991	1.087	0.701	0.931

<sup>1</sup>FSE= Fríjol soya extruído, PS=Pasta de soya, PAT=Pasta de ajonjolí tostado, PA=Pasta de ajonjolí. <sup>2</sup>Valores en g de aminoácido por 100 g de materia seca. Técnica Henderson et al., 2000.

## 5.2. Experimento uno (prueba de digestibilidad).

5.2.1. Digestibilidad de la materia seca y la proteína cruda: Los resultados de la digestibilidad ileal aparente y estandarizada de la materia seca y de la proteína cruda, tanto de dietas como de materias primas se presentan en el Cuadro 7.

**Cuadro 7.** Coeficientes de digestibilidad ileal aparente (CDIa) y estandarizada (CDIe) de la materia seca (MS) y la proteína cruda (PC) de las dietas y materias primas empleadas en el experimento 1.

Dietas <sup>2</sup>	FSE	PS	PAT	PA	EEM <sup>3</sup>
CDIaMS	79.9 <sup>a</sup>	77.4 <sup>ab</sup>	71.7 <sup>c</sup>	74.7 <sup>bc</sup>	0.01
CDIaPC	78.3 <sup>a</sup>	75.1 <sup>ab</sup>	64.1 <sup>c</sup>	72.3 <sup>b</sup>	0.01
CDIePC	86.5 <sup>a</sup>	85.1 <sup>a</sup>	72.0 <sup>c</sup>	80.1 <sup>b</sup>	0.01
Materia prima <sup>3</sup>	FSE	PS	PAT	PA	EEM <sup>3</sup>
CDIaPC	47.3 <sup>a</sup>	48.7 <sup>a</sup>	24.2 <sup>b</sup>	38.2 <sup>ab</sup>	0.03
CDIePC	52.3 <sup>a</sup>	52.5 <sup>a</sup>	27.3 <sup>b</sup>	42.1 <sup>ab</sup>	0.03

<sup>1</sup>FSE=Fríjol soya extruído, PS=Pasta de soya, PAT=Pasta de ajonjolí tostada, PA=Pasta de ajonjolí. <sup>2</sup>Promedios con letras diferentes en la misma línea difieren estadísticamente ( $P < 0.05$ ); CDIaMS= coeficiente de digestibilidad ileal aparente de la materia seca; CDIaPC= Coeficiente de digestibilidad ileal aparente de la proteína cruda; CDIePC= coeficiente de digestibilidad ileal estandarizado de proteína cruda. <sup>3</sup>Promedios con letras diferentes en la misma línea difieren estadísticamente ( $P < 0.01$ ). <sup>3</sup>EEM= error estándar de la media.

La mayor digestibilidad ileal aparente de la materia seca ( $P < 0.05$ ) se observó en las dietas FSE y PS. Esta última tuvo un coeficiente de digestibilidad ileal aparente similar a la dieta PA, la cual no difirió ( $P > 0.05$ ) de la dieta PAT.

En relación a la digestibilidad ileal aparente de la proteína cruda, las dietas FSE y PS fueron las más digestibles ( $P < 0.05$ ); la dieta PAT tuvo el menor CDIaPC. El CDIaPC de la dieta PA fue similar a la de la dieta PS. Cuando se corrigió la digestibilidad de la proteína cruda empleando la pérdida de la proteína endógena en el contenido ileal (digestibilidad ileal estandarizada), se observó que dicha corrección favoreció a la dieta PS, aumentando su digestibilidad (de 75.1 a 85.1%), mientras que la corrección en la digestibilidad de las otras dietas no fue suficiente para modificar la diferencia entre tratamientos.

La digestibilidad de la proteína cruda de las materias primas, tanto aparente como estandarizada, reflejó un comportamiento similar al de la digestibilidad de

la proteína cruda de las dietas, de manera que no se observaron diferencias significativas ( $P>0.05$ ) entre los valores de PS y FSE, mientras que PA presentó una digestibilidad intermedia y PAT fue la materia prima con la más baja digestibilidad.

*5.2.2. Digestibilidad de los aminoácidos en las materias primas:* La digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos de las materias primas se presenta en el Cuadro 8. La leucina, fenilalanina, lisina, ácido aspártico, serina, de las dietas PS y PA tuvieron coeficientes de digestibilidad ileal aparente (CDIa) similares entre sí y superiores a las dietas PAT y FSE.

**Cuadro 8.** Coeficientes de digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos (AA) componentes de las materias primas utilizadas en el experimento 1.

	Materias Primas <sup>1</sup>				Prob <sup>2</sup>	EEM <sup>3</sup>
	FSE	PS	PAT	PA		
<b>AA esenciales</b>						
Arg	58.3 <sup>b</sup>	63.4 <sup>b</sup>	39.3 <sup>c</sup>	82.9 <sup>a</sup>	P<0.01	1.66
Leu	48.2 <sup>b</sup>	70.0 <sup>a</sup>	52.7 <sup>b</sup>	77.5 <sup>a</sup>	P<0.01	0.93
Iso	48.1 <sup>a</sup>	45.2 <sup>ab</sup>	6.0 <sup>c</sup>	38.7 <sup>b</sup>	P<0.01	1.15
Fen	65.8 <sup>b</sup>	93.6 <sup>a</sup>	69.9 <sup>b</sup>	89.1 <sup>a</sup>	P<0.01	1.50
Tre	76.0 <sup>bc</sup>	83.9 <sup>a</sup>	74.7 <sup>c</sup>	82.5 <sup>ab</sup>	P<0.01	0.91
His	41.8 <sup>a</sup>	39.4 <sup>a</sup>	7.0 <sup>b</sup>	33.1 <sup>a</sup>	P<0.01	2.21
Lis	63.8 <sup>b</sup>	86.5 <sup>a</sup>	71.0 <sup>b</sup>	84.2 <sup>a</sup>	P<0.01	0.96
Val	66.2 <sup>b</sup>	61.5 <sup>b</sup>	74.4 <sup>a</sup>	78.4 <sup>a</sup>	P<0.01	0.96
<b>AA no esenciales</b>						
Asp	32.7 <sup>b</sup>	67.0 <sup>a</sup>	37.6 <sup>b</sup>	68.9 <sup>a</sup>	P<0.01	0.97
Ser	52.9 <sup>c</sup>	78.0 <sup>a</sup>	64.7 <sup>b</sup>	80.4 <sup>a</sup>	P<0.01	1.13
Gli	38.0 <sup>b</sup>	46.5 <sup>a</sup>	18.5 <sup>c</sup>	36.9 <sup>b</sup>	P<0.01	0.62
Ala	49.7 <sup>ab</sup>	52.4 <sup>ab</sup>	47.4 <sup>b</sup>	60.3 <sup>a</sup>	P<0.05	1.40
Pro	22.1 <sup>b</sup>	47.8 <sup>a</sup>	14.5 <sup>c</sup>	25.1 <sup>b</sup>	P<0.01	1.39
Glu	86.1	85.0	79.2	83.8	P>0.05	0.90
Tir	58.0 <sup>b</sup>	82.1 <sup>a</sup>	74.9 <sup>a</sup>	81.3 <sup>a</sup>	P<0.01	0.89

<sup>1</sup>FSE=Fríjol soya extruído, PS=Pasta de soya, PAT=Pasta de ajonjolí tostado, PA=Pasta de ajonjolí. <sup>2</sup>Prob=probabilidad. <sup>3</sup>EEM: error estándar de la media. <sup>abc</sup>Los coeficientes con diferente literal en la misma línea presentan diferencias estadísticas significativas.



La mayor digestibilidad ileal aparente ( $P < 0.01$ ) de arginina se observó en la dieta PA (82.9%); las dietas que contenían PS y FSE la arginina tuvo digestibilidades similares (63.4 y 58.3%, respectivamente), mientras que su digestibilidad en la dieta PAT fue la menor 39.3%. La valina tuvo mayor CD<sub>Ia</sub> en las dietas PA y PAT con un promedio de 76.4%, comparado con el 64% de los derivados de soya. La glicina tuvo uno de los menores CD<sub>Ia</sub> de todos los aminoácidos. Sin embargo, su digestibilidad fue mejor ( $P < 0.01$ ) en la dieta de PS (46.5%), en las dietas FSE y PA no se observaron diferencias significativas y tuvieron un CD<sub>Ia</sub> promedio de 37.4%; la dieta PAT tuvo el menor CD<sub>Ia</sub> 18.5%. La isoleucina tuvo digestibilidades superiores al 45% en las dietas con subproductos de soya (PS y FSE); sin embargo, su CD<sub>Ia</sub> en la dieta de PA (38.7%) fue similar ( $P > 0.05$ ) al de PS. El CD<sub>Ia</sub> de la isoleucina en la dieta compuesta por PAT fue el menor en todo el experimento con un 6%. La histidina y la prolina fueron los aminoácidos que tuvieron las más bajas digestibilidades (promedio), viéndose principalmente afectadas en las dietas que contenían PAT (7 y 14.5%, respectivamente). La lisina presentó un coeficiente de digestibilidad bajo en la dieta FSE (63.8%). La treonina mostró digestibilidades similares entre PA, PS y FSE (80% en promedio), mientras que en la dieta PAT tuvo el coeficiente más bajo con 76%. El ácido glutámico fue el único de los aminoácidos evaluados en el presente estudio que no presentó diferencias entre los tratamientos (dietas) ( $P > 0.05$ ) (Cuadro 8).

Los resultados de la digestibilidad ileal estandarizada de los aminoácidos de las materias primas se presentan en el Cuadro 9. Para la fenilalanina, treonina, lisina, ácido aspártico y serina, las dietas PA y PS tuvieron coeficientes de digestibilidad ileal estandarizada similares entre sí y superiores a los de las dietas PAT y FSE. La arginina y leucina presentaron los mayores CD<sub>Ie</sub> en la dieta PA (105 y 92.8%, respectivamente), la arginina presentó digestibilidades bajas en la dieta PAT (66.5%); mientras que la leucina tuvo las menores digestibilidades en las dietas PAT y FSE (66.6% en promedio). La isoleucina, histidina y glicina tuvieron coeficientes de digestibilidad ileal estandarizada similares, pues la dieta FSE tuvo un mayor CD<sub>Ie</sub> que las dietas PA y PAT (Cuadro 9). En el caso de ácido glutámico los CD<sub>Ie</sub> para las dietas PS, FSE y

PA fueron similares (88% en promedio) fueron similares entre si y difirieron de PAT que presentó el CDle más bajo (80.6%). La valina tuvo los mayores CDle en las dietas que incluían subproductos de ajonjolí (PAT y PA con 94.6 y 87.7%, respectivamente), las dietas que contenían subproductos de soya (PS y FSE) tuvieron digestibilidades inferiores al 80% (77% en promedio). La dieta PAT, contrario a lo que sucedió con la mayoría de los aminoácidos, presentó el mayor CDle de prolina con un 104.8%, mientras que en las dietas PA, FSE y PS su digestibilidad fue de 82.6, 78.8 y 74.3%, respectivamente.

**Cuadro 9.** Coeficientes de digestibilidad ileal estandarizada de los aminoácidos (AA) componentes de las materias primas utilizadas en el experimento 1.

	Materias primas <sup>1</sup>				Prob <sup>2</sup>	EEM <sup>3</sup>
	FSE	PS	PAT	PA		
<b>AA esenciales</b>						
Arg	87.0 <sup>b</sup>	89.7 <sup>b</sup>	66.5 <sup>c</sup>	105.0 <sup>a</sup>	P<0.01	1.66
Leu	67.7 <sup>c</sup>	81.8 <sup>b</sup>	65.6 <sup>c</sup>	92.8 <sup>a</sup>	P<0.01	0.93
Iso	69.1 <sup>a</sup>	57.0 <sup>b</sup>	23.2 <sup>c</sup>	55.3 <sup>b</sup>	P<0.01	1.15
Fen	100.7 <sup>b</sup>	113.7 <sup>a</sup>	86.2 <sup>c</sup>	105.1 <sup>ab</sup>	P<0.01	1.50
Tre	90.7 <sup>ab</sup>	93.1 <sup>ab</sup>	85.9 <sup>b</sup>	93.4 <sup>a</sup>	P<0.01	0.91
His	63.9 <sup>a</sup>	41.0 <sup>b</sup>	27.5 <sup>c</sup>	40.3 <sup>b</sup>	P<0.01	2.21
Lis	82.3 <sup>b</sup>	96.5 <sup>a</sup>	83.3 <sup>b</sup>	97.1 <sup>a</sup>	P<0.01	0.96
Val	79.8 <sup>bc</sup>	75.3 <sup>c</sup>	94.6 <sup>a</sup>	87.7 <sup>ab</sup>	P<0.01	0.96
<b>AA no esenciales</b>						
Asp	54.6 <sup>b</sup>	75.3 <sup>a</sup>	50.5 <sup>b</sup>	81.6 <sup>a</sup>	P<0.01	0.97
Ser	73.5 <sup>b</sup>	88.5 <sup>a</sup>	72.8 <sup>b</sup>	93.7 <sup>a</sup>	P<0.05	1.13
Gli	105.3 <sup>a</sup>	96.1 <sup>b</sup>	61.5 <sup>d</sup>	89.0 <sup>c</sup>	P<0.01	0.62
Ala	74.4 <sup>ab</sup>	72.3 <sup>ab</sup>	64.2 <sup>b</sup>	77.5 <sup>a</sup>	P<0.01	1.40
Pro	78.8 <sup>b</sup>	74.3 <sup>b</sup>	104.8 <sup>a</sup>	82.6 <sup>b</sup>	P<0.01	1.39
Glu	87.9 <sup>ab</sup>	88.3 <sup>a</sup>	80.6 <sup>b</sup>	86.9 <sup>ab</sup>	P>0.05	0.90
Tir	71.8 <sup>c</sup>	92.0 <sup>a</sup>	84.4 <sup>b</sup>	91.5 <sup>ab</sup>	P<0.01	0.89

<sup>1</sup>FSE=Fríjol soya extruído, PS=Pasta de soya, PAT=Pasta de ajonjolí tostado, PA=Pasta de ajonjolí. <sup>2</sup>Prob=probabilidad. <sup>3</sup>EEM: error estándar de la media. <sup>abc</sup>Los coeficientes con diferente literal en la misma línea presentan diferencias estadísticas.

5.2.3. Digestibilidad de los aminoácidos en las dietas: La digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos en las dietas se muestra en el Cuadro 10. Los aminoácidos fenilalanina, treonina, lisina, ácido aspártico, serina y tirosina en las dietas PA y PS tuvieron coeficientes de digestibilidad ileal aparente (CDIa) similares entre sí ( $P>0.05$ ) y superiores a los de la dieta de PAT y FSE. ( $P<0.01$ ).

**Cuadro 10.** Coeficientes de digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos (AA) de las dietas del experimento 1.

	Dietas Experimentales <sup>1</sup>				Prob <sup>2</sup>	EEM <sup>3</sup>
	FSE	PS	PAT	PA		
<b>AA esenciales</b>						
Arg	74.2 <sup>b</sup>	73.8 <sup>b</sup>	70.1 <sup>b</sup>	79.9 <sup>a</sup>	$P<0.01$	0.52
Leu	82.8 <sup>c</sup>	85.9 <sup>b</sup>	79.1 <sup>d</sup>	89.2 <sup>a</sup>	$P<0.01$	0.28
Iso	80.2 <sup>a</sup>	75.2 <sup>b</sup>	65.7 <sup>c</sup>	76.5 <sup>b</sup>	$P<0.01$	0.39
Fen	89.5 <sup>b</sup>	93.8 <sup>a</sup>	86.1 <sup>c</sup>	92.4 <sup>a</sup>	$P<0.01$	0.33
Tre	80.0 <sup>ab</sup>	83.7 <sup>a</sup>	78.0 <sup>b</sup>	82.9 <sup>a</sup>	$P<0.01$	0.50
His	77.5 <sup>a</sup>	73.8 <sup>ab</sup>	68.8 <sup>b</sup>	73.4 <sup>ab</sup>	$P<0.01$	0.68
Lis	88.4 <sup>b</sup>	92.7 <sup>a</sup>	87.7 <sup>b</sup>	92.5 <sup>a</sup>	$P<0.01$	0.24
Val	81.9 <sup>b</sup>	77.1 <sup>c</sup>	89.0 <sup>a</sup>	85.6 <sup>ab</sup>	$P<0.01$	0.51
<b>AA no esenciales</b>						
Asp	74.3 <sup>b</sup>	80.3 <sup>a</sup>	68.3 <sup>c</sup>	81.2 <sup>a</sup>	$P<0.01$	0.31
Ser	77.5 <sup>b</sup>	82.8 <sup>a</sup>	77.5 <sup>b</sup>	83.6 <sup>a</sup>	$P<0.05$	0.29
Gli	64.9 <sup>a</sup>	64.7 <sup>a</sup>	52.8 <sup>c</sup>	62.1 <sup>b</sup>	$P<0.01$	0.21
Ala	66.7 <sup>a</sup>	65.3 <sup>a</sup>	58.4 <sup>b</sup>	67.0 <sup>a</sup>	$P<0.01$	0.70
Pro	76.2 <sup>b</sup>	79.1 <sup>ab</sup>	81.8 <sup>a</sup>	81.7 <sup>a</sup>	$P<0.01$	0.41
Glu	89.7	88.6	86.9	88.9	$P>0.05$	0.37
Tir	81.7 <sup>b</sup>	88.7 <sup>a</sup>	84.7 <sup>b</sup>	88.5 <sup>a</sup>	$P<0.01$	0.36

<sup>1</sup>FSE=Fríjol soya extruído, PS=Pasta de soya, PAT=Pasta de ajonjolí tostado, PA=Pasta de ajonjolí. <sup>2</sup>Prob=probabilidad. <sup>3</sup>EEM: error estándar de la media. <sup>abcd</sup>Los coeficientes con diferente literal en la misma línea presentan diferencias estadísticas significativas

La arginina y la leucina tuvieron una mayor digestibilidad ileal aparente ( $P<0.05$ ) en la dieta PA en relación a las demás (79.9 y 89.2%, respectivamente). En las dietas FSE, PS y PAT la arginina tuvo digestibilidades similares (74.2, 73.8 y 70.1%, respectivamente). La leucina tuvo diferente digestibilidad ( $P>0.01$ ) en cada una de las dietas (Cuadro 10). La glicina tuvo un bajo CDIa en todas las dietas (entre 52.8 y 64.9%), sin embargo, las dietas

de soya como fuente proteica (FSE y PS) tuvieron la mayor digestibilidad para este aminoácido (64.8% en promedio); la dieta PA tuvo una digestibilidad intermedia (62.1%) y la dieta PAT tuvo la menor digestibilidad con 52.8%. La valina presentó su mayor coeficiente de digestibilidad aparente en la dieta PAT con un CDla de 89%; valor similar a las dietas que tenían PA (85.6%); este aminoácido en la dieta FSE tuvo un CDla de 81.9%, y su menor digestibilidad se observó en la dieta PS con 77.1%. La isoleucina se distinguió por exhibir los mayores CDla en la dieta FSE (80.2%); las dietas PA y PS mostraron coeficientes de 76.5 y 75.2%, respectivamente, su menor digestibilidad se observó en la dieta PAT (65.7%). La histidina tuvo su mayor CDla en la dieta FSE (77.5%), siendo similar al de PS y PA (73.6%, en promedio), y su CDla más bajo lo tuvo en PAT con 68.8%. La alanina en general presentó bajas digestibilidades teniendo, su mayor porcentaje en las dietas FSE, PS y PA (66.3%, en promedio), mientras que la dieta PAT tuvo la mas baja digestibilidad para este aminoácido con 58.4%. La prolina exhibió los CDla más altos en las dietas PAT, PA y PS (80.8%, en promedio), y en este caso específico la dieta FSE mostró la digestibilidad más baja (Cuadro 10). El ácido glutámico fue el único de los aminoácidos evaluados en el presente estudio que no presentó diferencias estadísticas entre ninguna de las dietas (Cuadro 10).

Los resultados de la digestibilidad ileal estandarizada de los aminoácidos de las dietas se presentan en el Cuadro 11. La mayoría de los aminoácidos (arginina, fenilalanina, lisina, ácido aspártico, serina, y tirosina), de las dietas PA y PS tuvieron coeficientes similares y superiores a las de las dietas con PAT y FSE.

**Cuadro 11.** Coeficientes de digestibilidad ileal estandarizada de los aminoácidos componentes de las dietas del experimento 1.

	Dietas experimentales <sup>1</sup>				Prob <sup>2</sup>	EEM <sup>3</sup>
	FSE	PS	PAT	PA		
<b>AA esenciales</b>						
Arg	84.3 <sup>b</sup>	85.5 <sup>ab</sup>	79.8 <sup>c</sup>	89.2 <sup>a</sup>	P<0.01	0.52
Leu	88.7 <sup>b</sup>	90.8 <sup>b</sup>	84.7 <sup>c</sup>	94.5 <sup>a</sup>	P<0.01	0.28
Iso	87.3 <sup>a</sup>	80.8 <sup>b</sup>	72.6 <sup>c</sup>	83.0 <sup>b</sup>	P<0.01	0.39
Fen	95.7 <sup>b</sup>	98.8 <sup>a</sup>	92.0 <sup>c</sup>	97.9 <sup>ab</sup>	P<0.01	0.33
Tre	88.7 <sup>ab</sup>	90.5 <sup>a</sup>	86.3 <sup>b</sup>	91.2 <sup>a</sup>	P<0.01	0.50
His	86.5 <sup>a</sup>	77.4 <sup>b</sup>	77.4 <sup>b</sup>	78.8 <sup>b</sup>	P<0.01	0.68
Lis	92.0 <sup>b</sup>	95.3 <sup>a</sup>	91.2 <sup>b</sup>	95.3 <sup>a</sup>	P<0.01	0.24
Val	86.9 <sup>bc</sup>	83.4 <sup>c</sup>	93.8 <sup>a</sup>	90.0 <sup>ab</sup>	P<0.01	0.51
<b>AA no esenciales</b>						
Asp	82.0 <sup>b</sup>	85.7 <sup>a</sup>	75.7 <sup>c</sup>	88.0 <sup>a</sup>	P<0.01	0.31
Ser	86.6 <sup>b</sup>	89.9 <sup>a</sup>	86.3 <sup>b</sup>	91.6 <sup>a</sup>	P<0.05	0.29
Gli	80.9 <sup>a</sup>	80.6 <sup>a</sup>	68.1 <sup>c</sup>	77.8 <sup>b</sup>	P<0.01	0.21
Ala	79.8 <sup>a</sup>	77.8 <sup>a</sup>	70.9 <sup>b</sup>	79.7 <sup>a</sup>	P<0.01	0.70
Pro	90.0 <sup>bc</sup>	87.6 <sup>c</sup>	95.0 <sup>a</sup>	91.6 <sup>ab</sup>	P<0.01	0.24
Glu	93.4	92.7	90.5	93.1	P>0.05	0.37
Tir	87.4 <sup>b</sup>	93.9 <sup>a</sup>	90.0 <sup>b</sup>	93.8 <sup>a</sup>	P<0.01	0.36

<sup>1</sup>FSE=Fríjol soya extruído, PS=Pasta de soya, PAT=Pasta de ajonjolí tostada, PA=Pasta de ajonjolí. <sup>2</sup>Prob=probabilidad. <sup>3</sup>EEM: error estándar de la media. <sup>abc</sup>Los coeficientes con diferente literal en la misma línea presentan diferencias estadísticas significativas (P<0.05).

La leucina tuvo el mayor CDle en la dieta PA (94.5%), las dietas que contenían soya como fuente proteica (PS y FSE) tuvieron digestibilidades intermedias (90.8 y 88.7% respectivamente), y la dieta PAT tuvo el menor CDle 84.7%. La isoleucina y la histidina de la dieta FSE tuvieron un CDle mayor que las otras dietas (Cuadro 11). La valina y la prolina fueron más digestibles en las dietas con ajonjolí (PAT y PA) (Cuadro 11), mientras que las dietas con subproductos de soya (FSE y PS) presentaron menores CDle, siendo valores similares en estas últimas dietas (Cuadro 11). Las dietas PS y FSE tuvieron CDle similares y superiores para la glicina (80.7% en promedio); la dieta con PA presentó un CDle de 77.8% y la dieta con PAT tuvo el menor CDle 68.1%. La glicina tuvo digestibilidades superiores y similares en las dietas que contenían subproductos de soya (80.8%, en promedio), mientras que en la dieta con PA tuvo un CDle intermedio (77.8%) y la dieta PAT fue la de menor digestibilidad con un 68.1%. La alanina tuvo digestibilidades superiores en las dietas con

FSE, PA y PS (Cuadro 11), en la dieta con PAT tuvo una digestibilidad de 70.9%. En el caso del ácido glutámico los resultados de CD<sub>la</sub> fueron similares (P>0.05).

### 5.3. Experimento dos (prueba de comportamiento productivo).

Los resultados productivos de la prueba de comportamiento obtenidos en la fase 1 (0 – 14 días posdestete), la fase 2 (14 – 28 días posdestete) y en el periodo total (0 – 28 días posdestete) se presentan en el Cuadro 12.

**Cuadro 12.** Comportamiento productivo por fases y total (experimento 2)<sup>1</sup>.

	Dietas Experimentales <sup>2</sup>		EEM <sup>3</sup>
	PS	PA	
<b>Fase 1</b>			
CDA g/d	182	175	10.1
GDP g/d	119	120	9.6
EA	0.46	0.60	0.1
<b>Fase 2</b>			
CDA g/d	681	629	18.4
GDP g/d	353 <sup>a</sup>	281 <sup>b</sup>	14.2
EA	0.52 <sup>a</sup>	0.42 <sup>b</sup>	0.01
<b>Periodo Total</b>			
CDA g/d	431	397	12.4
GDP g/d	236	200	10.3
EA	0.49	0.51	0.05

<sup>1</sup>Promedios con letras diferentes en la misma línea difieren estadísticamente (P<0.05). CDA=Consumo diario de alimento; GDP=Ganancia diaria de peso; EA=eficiencia alimenticia; <sup>2</sup>PA=Pasta de ajonjolí, PS=Pasta de soya. <sup>3</sup>EEM=error estándar de la media.

En la Fase 1 no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las variables estudiadas. En la Fase 2, los animales que consumieron la dieta con pasta de soya tuvieron una mayor (P<0.05) ganancia diaria de peso y una mejor (P<0.05) eficiencia alimenticia que los lechones del tratamiento con pasta de ajonjolí. Sin embargo, considerando todo el periodo experimental los animales de los dos tratamientos tuvieron un comportamiento productivo similar.

Los resultados productivos analizados semanalmente (Cuadro 13) contribuyen a explicar el comportamiento zootécnico observado en cada una de las fases. En las semanas 1, 2 y 4 todos los animales tuvieron un comportamiento

zootécnico similar; sin embargo, en la semana 3, cuando se efectuó el cambio de alimento, a pesar de no presentarse diferencias significativas en el consumo de alimento, se observó una mayor GDP ( $P<0.05$ ) en los animales que consumieron PS, lo cual tuvo un efecto directo en la EA, siendo esta última mejor en los lechones alimentados con PS.

**Cuadro 13.** Comportamiento productivo en las semanas postdestete<sup>1</sup>.

	Dietas Experimentales <sup>2</sup>		EEM <sup>3</sup>
	PS	PA	
<b>GDP (g/d)</b>			
Semana 1	32	36	12.5
Semana 2	203	206	13.2
Semana 3	350 <sup>a</sup>	251 <sup>b</sup>	13.4
Semana 4	357	296	16.5
<b>CDA (g/d)</b>			
Semana 1	77	78	6.4
Semana 2	286	273	14.5
Semana 3	640	621	18.3
Semana 4	722	642	25.8
<b>EA</b>			
Semana 1	0.21	0.45	0.19
Semana 2	0.72	0.74	0.03
Semana 3	0.55 <sup>a</sup>	0.40 <sup>b</sup>	0.02
Semana 4	0.49	0.46	0.01

<sup>1</sup>Promedios con letras diferentes en la misma línea difieren estadísticamente ( $P<0.05$ ). GDP=Ganancia diaria de peso; CDA=Consumo diario de alimento; EA=Eficiencia alimenticia.  
<sup>2</sup>PA=Pasta de ajonjolí, PS=Pasta de soya. <sup>3</sup>EEM=error estándar de la media.

#### 5.4. Experimento tres (estudio morfofisiológico).

##### 5.4.1. Peso de órganos digestivos.

El peso absoluto y relativo de los órganos digestivos no presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P>0.05$ ) debidas a la fuente de proteína en la dieta (Cuadro 14).

La interacción entre tratamiento (dieta) y tiempo (días de sacrificio) no fue significativa ( $P>0.05$ ) para ninguno de los órganos estudiados.

**Cuadro 14.** Peso de órganos digestivos por dieta experimental.

Pesos	Dietas Experimentales <sup>1</sup>		Análisis estadístico	
	PS	PA	Prob <sup>2</sup>	EEM <sup>3</sup>
<b>Absoluto (g)</b>				
Páncreas	11	11	P=0.99	0.36
Estómago	54	51	P=0.21	1.43
Hígado	196	193	P=0.71	3.70
I. delgado	289	292	P=0.83	6.69
<b>Relativo (g/kg de PV)</b>				
Páncreas	1.8	1.8	P=0.91	0.06
Estómago	6.7	6.1	P=0.06	0.13
Hígado	25	24	P=0.08	0.25
I. delgado	35	34	P=0.56	0.64

<sup>1</sup>PS=Pasta de soya, PA=Pasta de ajonjolí. <sup>2</sup>Prob=probabilidad. <sup>3</sup>EEM=error estándar de la media. PV=peso vivo.

En el peso de los órganos digestivos se observó un efecto ( $P<0.001$ ) del tiempo (días de sacrificio) (Cuadro 15). Entre el destete y el día 25 posdestete (dpd) el peso absoluto de los órganos aumentó considerablemente; en páncreas y estómago (3.2 veces), hígado (2.2 veces) e intestino delgado (3.5 veces). El peso relativo de los órganos digestivos también aumentó, siendo mayor el incremento en páncreas (3.2 veces), seguido del estómago e intestino delgado (1.6 veces). El peso relativo del hígado aumentó levemente sin diferenciarse estadísticamente (1.04 veces). En el caso del estómago su peso relativo incrementó entre el destete y el día 13 (1.7 veces) y entre los días 13 y 25 posdestete no varió.



**Cuadro 15.** Peso de los órganos digestivos según el día posdestete<sup>1</sup>.

Pesos	Días posdestete					Análisis estadístico	
	0	3	6	13	25	Prob	EEM
<b>Absoluto (g)</b>							
Páncreas	7.5 <sup>c</sup>	7.1 <sup>c</sup>	8.2 <sup>c</sup>	13.9 <sup>b</sup>	23.8 <sup>a</sup>	P<0.001	5.88
Estómago	31 <sup>d</sup>	31 <sup>d</sup>	43 <sup>c</sup>	73 <sup>b</sup>	106 <sup>a</sup>	P<0.001	4.53
Hígado	160 <sup>c</sup>	143 <sup>c</sup>	137 <sup>c</sup>	208 <sup>b</sup>	359 <sup>a</sup>	P<0.001	3.73
I. delgado	192 <sup>c</sup>	136 <sup>d</sup>	199 <sup>c</sup>	346 <sup>b</sup>	679 <sup>a</sup>	P<0.001	4.57
<b>Relativo (g/kg de PV)</b>							
Páncreas	1.2 <sup>c</sup>	1.1 <sup>c</sup>	1.3 <sup>c</sup>	2.2 <sup>b</sup>	3.8 <sup>a</sup>	P<0.001	5.86
Estómago	4.9 <sup>c</sup>	5.3 <sup>c</sup>	7.0 <sup>b</sup>	8.4 <sup>a</sup>	7.8 <sup>ab</sup>	P<0.001	4.25
Hígado	25 <sup>ab</sup>	25 <sup>b</sup>	22 <sup>c</sup>	24 <sup>b</sup>	26 <sup>a</sup>	P<0.002	2.65
I. delgado	30 <sup>c</sup>	23 <sup>d</sup>	32 <sup>c</sup>	41 <sup>b</sup>	50 <sup>a</sup>	P<0.001	4.40

<sup>1</sup>Promedios con letras diferentes en la misma línea difieren estadísticamente (P<0.05), Prob: probabilidad. EEM: error estándar de la media. PV: Peso vivo.

El peso absoluto del páncreas no presentó diferencias estadísticas entre los días 0 y 6 posdestete (7.5 g vs 8.2 g), sin embargo, posteriormente se observó un aumento paulatino de peso a medida que aumentaron los días posdestete. En general para los órganos digestivos el comportamiento fue el mismo al observado en páncreas, tanto para el peso absoluto como para el peso relativo; ellos tuvieron la tendencia a descender en peso al tercer día posdestete y posteriormente comenzaron a crecer. Ese comportamiento fue más marcado en el intestino delgado (Cuadro 15).

#### **5.4.2. Actividad enzimática.**

##### **5.4.2.1. Pancreática.**

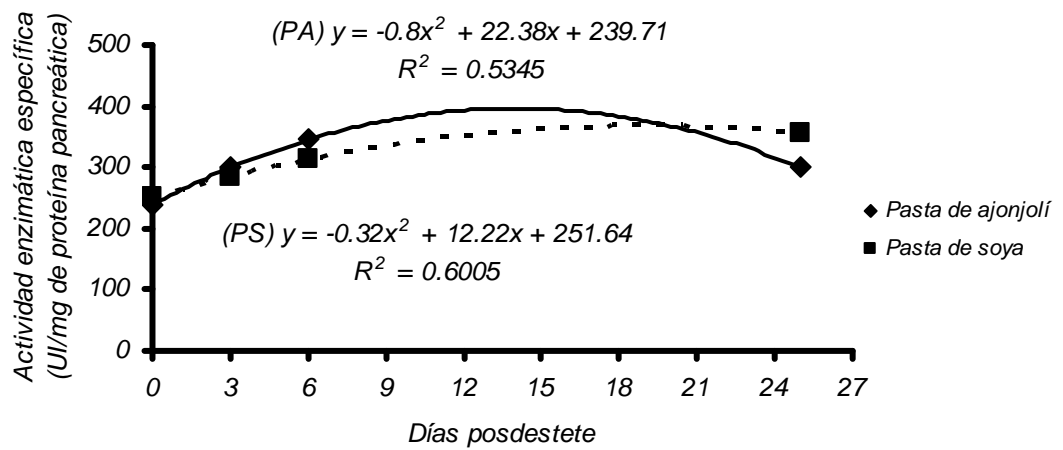
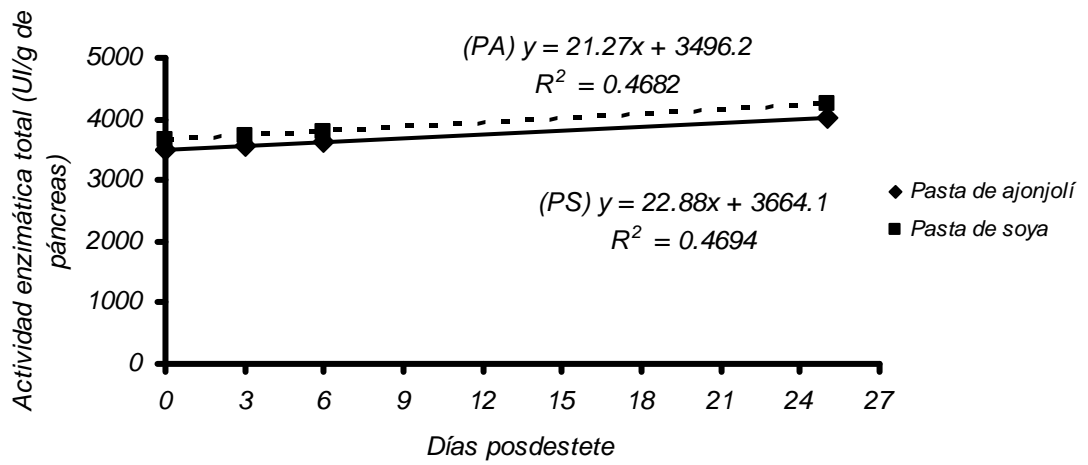
En el análisis estadístico de la actividad total y específica de las enzimas pancreáticas (tripsina, quimotripsina, carboxipeptidasa A y B), a pesar de no encontrar diferencias estadísticas entre los tratamientos, se observó una interacción significativa entre los días posdestete y la dieta. Por lo tanto, se presentan separadamente los resultados de las actividades enzimáticas observados en los diferentes días posdestete, para cada dieta (Cuadro 16). Se realizó un análisis de regresión para cada una de las variables con el objetivo de estudiar cómo la actividad enzimática de los lechones de cada tratamiento (dieta) varió en función del tiempo. Los resultados se presentan en las Figuras

de 9 a 11. Los resultados del día 13 no se presentan por una falla en la congelación que causó la pérdida total de los páncreas de los animales.

Tripsina: En los animales que consumieron la dieta PA (Cuadro 16) la actividad total disminuyó al día 3 posdestete, recuperándose al día 6, para sobrepasar los niveles observados al destete (día 0), continuando su incremento hasta el día 25 posdestete ( $P < 0.01$ ). En los lechones que consumieron la dieta PS también se observó un decremento del 12.7% al tercer día posdestete (3558 vs 3104 UI·g de páncreas<sup>-1</sup>), aumentando al sexto día en un 17.6% (3651 UI·g de páncreas<sup>-1</sup>), alcanzando 4204 UI·g de páncreas<sup>-1</sup> al día 25, lo cual rebasó a la actividad observada al tercer día posdestete ( $P < 0.01$ ). La actividad enzimática específica de la tripsina en los animales que consumieron PA se mantuvo constante entre el destete y el día 3 posdestete, incrementándose posteriormente; sin embargo, entre los días 6 y 25 se observó una ligera disminución. En los animales que consumieron PS la actividad específica de la tripsina no varió durante los primeros seis días posdestete, incrementándose posteriormente hasta el día 25 posdestete con respecto al día del destete ( $P < 0.01$ ).

El análisis de regresión de la actividad total de la tripsina de los animales que consumieron PS y PA (Figura 9) mostró un comportamiento lineal entre el destete y el día 25 posdestete; aunque debido a una gran variación en el modelo solo explica el 0.4682 y 0.4694% para PS y PA, respectivamente. Por otro lado, la actividad específica tuvo un comportamiento cuadrático con una  $R^2$  igual a 0.6005% y 0.5345% para PS y PA, respectivamente.

**Figura 9.** Regresión de la actividad de la tripsina en función del día posdestete.



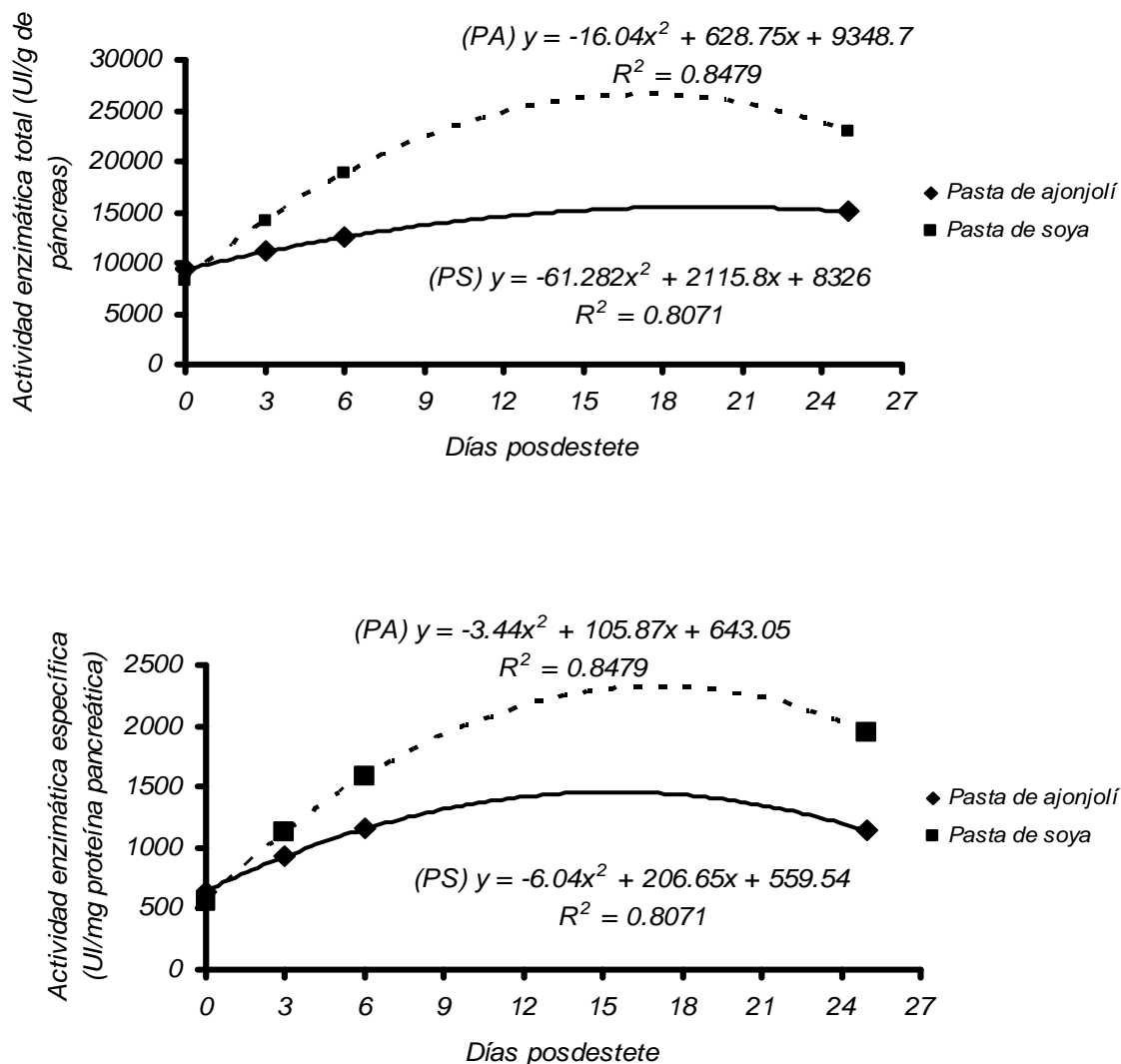
**Cuadro 16.** Actividad total y específica de las proteasas pancreáticas en función de los días posdestete<sup>1</sup>.

Tratamiento (dieta)	Variables	Días posdestete				EEM	Prob
		0	3	6	25		
Actividad Total	Pasta de ajonjolí (PA)						
	Tripsina	3558 <sup>c</sup>	3221 <sup>d</sup>	3855 <sup>b</sup>	3992 <sup>a</sup>	49	P<0.01
	Quimotripsina	9011 <sup>d</sup>	12636 <sup>b</sup>	11643 <sup>c</sup>	15234 <sup>a</sup>	262	P<0.01
	Carboxipeptidasa A	16321 <sup>c</sup>	12085 <sup>d</sup>	29225 <sup>b</sup>	76856 <sup>a</sup>	347	P<0.01
	Carboxipeptidasa B	61216 <sup>a</sup>	16843 <sup>d</sup>	38952 <sup>c</sup>	57701 <sup>b</sup>	472	P<0.01
	Pasta se Soya (PS)						
	Tripsina	3558 <sup>c</sup>	3104 <sup>d</sup>	3651 <sup>b</sup>	4204 <sup>a</sup>	49	P<0.01
	Quimotripsina	9011 <sup>d</sup>	10991 <sup>c</sup>	20641 <sup>b</sup>	23709 <sup>a</sup>	262	P<0.01
Actividad Específica	Pasta de Ajonjolí (PA)						
	Tripsina	254 <sup>c</sup>	236 <sup>c</sup>	383 <sup>a</sup>	315 <sup>b</sup>	15	P<0.01
	Quimotripsina	644 <sup>d</sup>	925 <sup>c</sup>	1157 <sup>b</sup>	1201 <sup>a</sup>	86	P<0.01
	Carboxipeptidasa A	1166 <sup>c</sup>	885 <sup>c</sup>	2901 <sup>b</sup>	6060 <sup>a</sup>	179	P<0.01
	Carboxipeptidasa B	4367 <sup>a</sup>	1233 <sup>c</sup>	3865 <sup>b</sup>	4550 <sup>a</sup>	211	P<0.01
	Pasta de Soya (PS)						
	Tripsina	254 <sup>cd</sup>	276 <sup>bc</sup>	319 <sup>bc</sup>	358 <sup>ab</sup>	15	P<0.01
	Quimotripsina	644 <sup>d</sup>	739 <sup>c</sup>	1807 <sup>b</sup>	2032 <sup>a</sup>	86	P<0.01
Carboxipeptidasa A	1166 <sup>c</sup>	706 <sup>c</sup>	1297 <sup>b</sup>	5793 <sup>a</sup>	179	P<0.01	
Carboxipeptidasa B	4367 <sup>a</sup>	1237 <sup>b</sup>	1665 <sup>b</sup>	4728 <sup>a</sup>	211	P<0.01	

<sup>1</sup>Promedios con letras diferentes en la misma línea difieren estadísticamente.

Quimotripsina: La actividad total de la quimotripsina (Cuadro 16) en los animales que consumieron PA aumentó al tercer día (9011 a 12636 UI-g de páncreas<sup>-1</sup>), sin embargo, al sexto día se observó una ligera disminución (11643 UI-g de páncreas<sup>-1</sup>) para posteriormente incrementarse hasta el día 25 posdestete (15234 UI-g de páncreas<sup>-1</sup>). La actividad específica mostró un incremento paulatino desde el destete hasta el día 25 (644 vs 1201 UI-mg de proteína pancreática<sup>-1</sup>) en los animales que consumieron PA (Cuadro 16). En los lechones del tratamiento PS, las actividades total y específica de la quimotripsina tuvieron un incremento importante del destete al día 25 (actividad total: de 9011 a 23709 UI-g de páncreas<sup>-1</sup>, y actividad específica de 644 a 2032 UI-mg de proteína pancreática<sup>-1</sup>) (Cuadro 16). El análisis de regresión de la actividad total y específica (Figura 10) mostró una respuesta de tipo cuadrático, tanto para PS como para PA.

**Figura 10.** Regresión de la actividad de la quimotripsina en función del día posdestete.

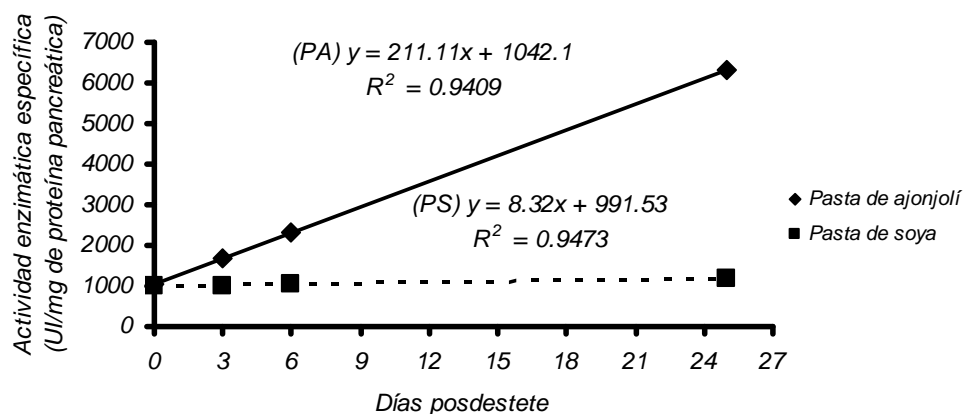
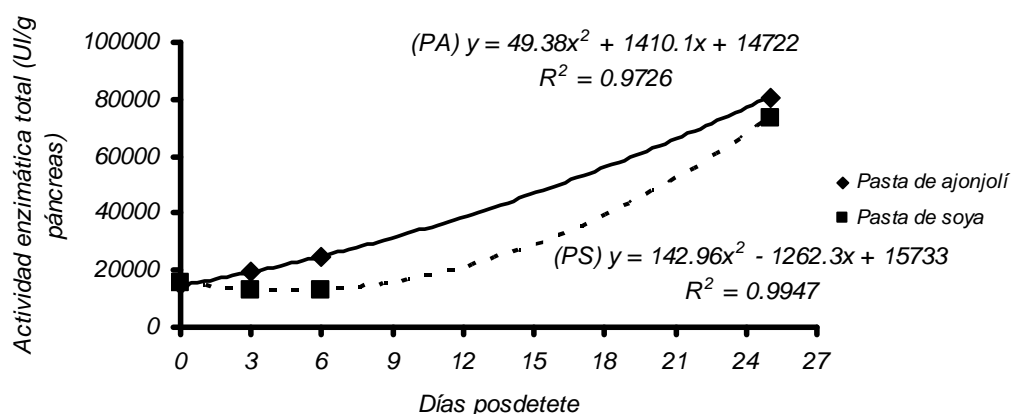


Carboxipeptidasa A: En cuanto a la actividad de la carboxipeptidasa A (Cuadro 16) en ambos grupos de animales (PA y PS) se observó un descenso en la actividad total al tercer día de 16321 a 12085 UI·g de páncreas<sup>-1</sup> para PA y de 16321 a 10543 UI·g de páncreas<sup>-1</sup> para PS, con un incremento posterior al día 25 posdestete. Se resalta que el incremento de la actividad total entre los días 3 y 25 fue superior en los animales que consumieron las dietas de PA (de 12085 a 76856 UI·g de páncreas<sup>-1</sup>) que en los que consumieron las dietas de PS (de 10543 a 67729 UI·g de páncreas<sup>-1</sup>). La actividad específica de la

carboxipeptidasa A, presentó un comportamiento similar a la actividad total, observándose diferencias muy pequeñas en la actividad entre ambos tratamientos (dietas), excepto en el día sexto, en donde los animales de PA mostraron una mayor actividad específica (2900 vs 1297 UI·mg de proteína pancreática<sup>-1</sup>) (Cuadro 16).

El análisis de regresión en el caso de la actividad total, tanto de PS como de PA, muestra una ecuación de tipo cuadrático; mientras que en el caso de la actividad específica de la carboxipeptidasa A para PS y PA el análisis produce una ecuación de tipo lineal (Figura 11).

**Figura 11.** Regresión de la actividad de la carboxipeptidasa A en función del día posdestete.



Carboxipeptidasa B: La actividad enzimática total de la carboxipeptidasa B en ambos tratamientos presenta un fuerte descenso del destete al tercer día posdestete, pasando de 61126 a 16843 UI-g de páncreas<sup>-1</sup> en los animales de PA y a 18398 UI-g de páncreas<sup>-1</sup> en los lechones de PS. Posteriormente los animales que consumieron la dieta con PA presentaron una abrupta recuperación pasando del promedio antes mencionado a una actividad de 38952 UI-g de páncreas<sup>-1</sup>, mientras que los animales que consumieron la dieta PS, aumentaron su actividad enzimática total en menor proporción (19092 UI-g de páncreas<sup>-1</sup>). El día 25 los valores entre ambos grupos fueron muy similares entre sí (57701 vs 55084 UI-g de páncreas<sup>-1</sup>), pero inferiores ( $P < 0.01$ ) a los valores presentados al destete. La actividad específica de la carboxipeptidasa B mostró el mismo comportamiento que la actividad total (Cuadro 16); sin embargo, al día 25 los valores fueron similares a los presentados al día del destete. Debido a la poca variación entre los resultados de la actividad total o específica de la carboxipeptidasa B entre el destete y el día 25 posdestete la regresión entre estos factores no fue significativa ( $P > 0.05$ ).

#### **5.4.2.2. Intestinal.**

No se observó un efecto de la fuente de proteína (PA o PS) ( $P > 0.05$ ) en la actividad enzimática total y específica de las enzimas intestinales aminopeptidasa N, aminopeptidasa A y dipeptidildipeptidasa. Sin embargo, se presentaron diferencias ( $P < 0.01$ ) con respecto al día posdestete (Cuadro 17). La interacción entre las variables dieta y día posdestete en la actividad específica de todas las enzimas intestinales fue significativa ( $P < 0.01$ ). Por lo tanto, en el Cuadro 18 se presentan las actividades específicas observadas en los diferentes días posdestete, para cada tratamiento (dieta).

Aminopeptidasa N: La actividad total de esta enzima tuvo un comportamiento similar al de las enzimas pancreáticas, ya que presenta un descenso del 17.6% al tercer día posdestete (de 2704 a 2229 UI-g de mucosa intestinal<sup>-1</sup>) y aumentó en los días 6, 13 y 25 posdestete (2316, 2729 y 3290 UI-g de mucosa intestinal<sup>-1</sup>, respectivamente). Esto significó un aumento del



3.9, 22.4 y 47.6% para cada uno de los días posdestete, sobrepasando al día 25 la actividad determinada en el destete (Cuadro 17).

**Cuadro 17.** Actividad total de las enzimas intestinales durante los primeros 25 días posdestete.

Enzima <sup>1</sup>	Días posdestete					Análisis estadístico	
	0	3	6	13	25	Prob <sup>2</sup>	EEM <sup>3</sup>
AminoN*	2704 <sup>b</sup>	2229 <sup>d</sup>	2316 <sup>c</sup>	2729 <sup>b</sup>	3290 <sup>a</sup>	P<0.01	4.60
Amino A	298 <sup>b</sup>	153 <sup>e</sup>	202 <sup>d</sup>	238 <sup>c</sup>	419 <sup>a</sup>	P<0.01	1.22
Dipeptidil	122 <sup>b</sup>	56 <sup>d</sup>	82 <sup>c</sup>	134 <sup>a</sup>	132 <sup>a</sup>	P<0.01	0.66

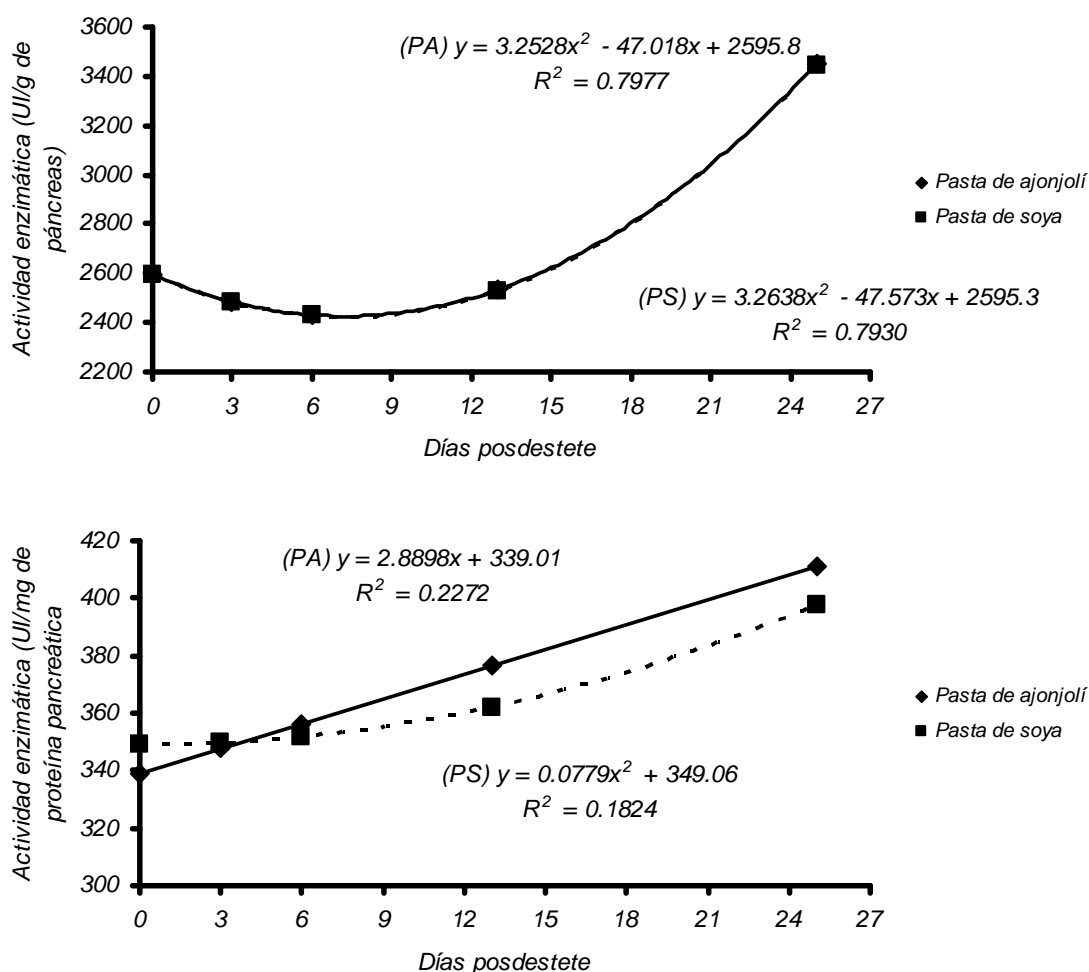
Amino N: Aminopeptidasa N; Amino A: Aminopeptidasa A; Dipeptidil: Dipeptidildipeptidasa. <sup>†</sup> Actividad enzimática total en UI·g de páncreas<sup>-1</sup>. <sup>2</sup>Prob=probabilidad. <sup>3</sup>EEM=error estándar de la media.

La actividad enzimática total de la aminopeptidasa N está representada en la gráfica de regresión (Figura 12) y la R<sup>2</sup> explica un alto porcentaje de la variación entre las observaciones, tanto para la pasta de ajonjolí como para la pasta de soya (0.79 en promedio).

La actividad específica de la aminopeptidasa N en los animales que consumieron pasta de ajonjolí presentó una caída del 20% al tercer día posdestete; el sexto día mostró una recuperación alcanzando valores similares al día del destete (Cuadro 18). El día 13 la actividad específica alcanzó el valor máximo (435 UI·mg proteína de la mucosa intestinal), sin embargo, hubo un descenso del 11% al día 25 (de 435 a 388 UI·mg de proteína de mucosa intestinal). El comportamiento observado en la actividad específica de la aminopeptidasa N en los animales que consumieron pasta de soya fue similar al de los animales que consumieron PA, excepto entre los días 13 y 25 en los que los lechones de PS incrementaron 9% la actividad pasando de 360 a 390 UI·mg proteína de mucosa intestinal al día 25.

La ecuación de regresión para la actividad enzimática específica de la aminopeptidasa N, para ambos tratamientos (dietas) mostró un comportamiento cuadrático (P<0.05), pero la R<sup>2</sup> explica muy poco la variabilidad de esta enzima (Figura 12).

**Figura 12.** Regresión de la actividad aminopeptidasa N en función del día posdestete.



Aminopeptidasa A: Esta enzima presentó una actividad total (Cuadro 17) y específica notablemente menor que la Aminopeptidasa N. Su comportamiento fue similar, ya que también presentó una caída en su actividad al día 3 posdestete, sólo que esta disminución fue mayor al totalizar un 48.7% (de 298 UI-g al día 0 (destete) a 153 UI-g de mucosa intestinal<sup>-1</sup> al día 3 posdestete). Posteriormente, la actividad total de dicha enzima se incrementó en los días subsecuentes, hasta alcanzar al día 25, 419 UI-g de mucosa intestinal<sup>-1</sup>.

El comportamiento de esta enzima en los animales que consumieron pasta de ajonjolí tuvo un descenso al día 3 posdestete, pasando de 48 a 37 UI-mg de

proteína de mucosa intestinal lo que representa un 23%. Al sexto día la actividad enzimática alcanzó valores similares al día 0, y al día 13 se dio un aumento del 43% (de 49 a 70 UI·mg de proteína de mucosa intestinal). Finalmente la actividad de esta enzima disminuyó en un 35% del día 13 al día 25 posdestete (Cuadro 18). En los animales que consumieron PS la actividad de la aminopeptidasa A se mantuvo estable ( $P>0.05$ ) en la mayoría de los días de medición (0, 3, 13 y 25), aumentando solamente al día 13 posdestete (61 UI·mg de proteína de mucosa intestinal) (Cuadro 18).

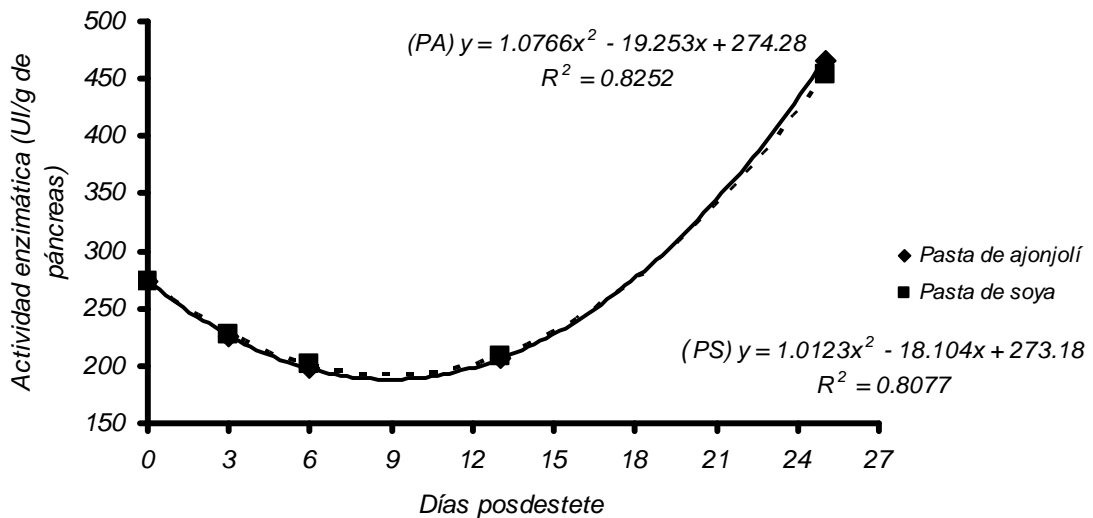
**Cuadro 18.** Actividad específica<sup>1</sup> de las enzimas intestinales en función de los días posdestete y el tratamiento experimental.

Tratamiento (dieta)	Días posdestete					Análisis estadístico	
	0	3	6	13	25	Prob <sup>1</sup>	EEM <sup>2</sup>
<b>Pasta de ajonjolí</b>							
AminoN*	359 <sup>c</sup>	287 <sup>d</sup>	338 <sup>bc</sup>	435 <sup>a</sup>	388 <sup>c</sup>	P<0.01	4.43
Amino A	48 <sup>b</sup>	37 <sup>c</sup>	49 <sup>b</sup>	70 <sup>a</sup>	46 <sup>b</sup>	P<0.01	1.27
Dipeptidil	16 <sup>b</sup>	7 <sup>d</sup>	12 <sup>c</sup>	21 <sup>a</sup>	16 <sup>b</sup>	P<0.01	0.22
<b>Pasta de soya</b>							
AminoN*	359 <sup>c</sup>	311 <sup>d</sup>	373 <sup>bc</sup>	360 <sup>c</sup>	394 <sup>a</sup>	P<0.01	4.43
Amino A	48 <sup>b</sup>	44 <sup>b</sup>	61 <sup>a</sup>	48 <sup>b</sup>	47 <sup>b</sup>	P<0.01	1.27
Dipeptidil	16 <sup>a</sup>	8 <sup>c</sup>	13 <sup>b</sup>	18 <sup>a</sup>	16 <sup>a</sup>	P<0.01	0.22

Amino N: Aminopeptidasa N; Amino A: Aminopeptidasa A; Dipeptidil: Dipeptidildipeptidasa. <sup>1</sup>Actividad enzimática total en UI·mg de proteína pancreática<sup>-1</sup>. <sup>1</sup>Prob=probabilidad. <sup>3</sup>EEM=error estándar de la media.

Las ecuaciones de regresión calculadas con los valores de la actividad enzimática total de la aminopeptidasa A presentaron las R<sup>2</sup> igual a 0.82 para pasta de ajonjolí y 0.80 para la pasta de soya (Figura 13). La regresión para la actividad específica no fue significativa ( $P>0.05$ ).

**Figura 13.** Regresión de la actividad total de la aminopeptidasa A en función del día posdestete.

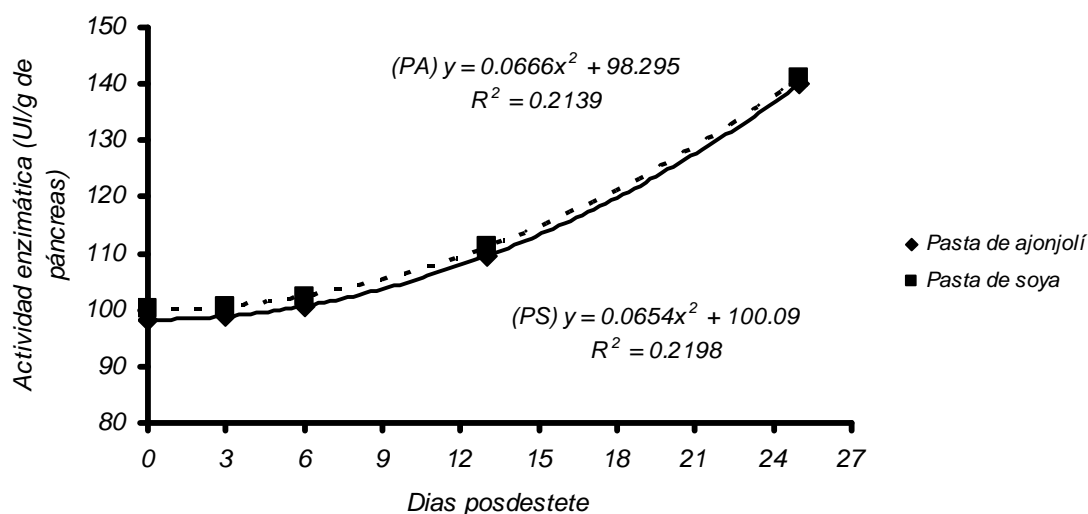


Dipeptidildipeptidasa: La actividad enzimática total de la dipeptidildipeptidasa corrobora lo observado con las demás enzimas intestinales estudiadas, disminuyendo un 54.2% (de 122 a 56 UI·g de mucosa intestinal<sup>-1</sup>) al tercer día, para luego aumentar de manera paulatina, alcanzando sus valores máximos a los días 13 y 25 posdestete, con un promedio de 133 UI·g de mucosa intestinal<sup>-1</sup> (Cuadro 17).

Al calcular la actividad específica, se pudo observar el mismo comportamiento que las demás peptidasas intestinales, mostrando una fuerte caída de la actividad al tercer día posdestete (53% en promedio) y un aumento al día 6 posdestete (67% en promedio) (Cuadro 18). Posteriormente, al día 13, la actividad enzimática específica aumentó en ambos grupos de animales, siendo mayor en los animales que consumieron pasta de ajonjolí. En estos animales (PA) la actividad disminuyó en un 24% al día 25, mientras que para los animales de PS no hubo diferencia ( $P > 0.05$ ) entre el día 13 y 25 (Cuadro 18).

La regresión de la actividad total de la dipeptidildipeptidasa fue significativa ( $P < 0.05$ ) para ambos tratamientos (dietas), pero explicó en poca medida la variación de los valores obtenidos ( $R^2 = 0.21$ , en promedio) (Figura 14).

**Figura 14.** Regresión de la actividad total de la dipeptidildipeptidasa en función del día posdestete.



La regresión para la actividad específica de la dipeptidildipeptidasa en función del día posdestete para cada tratamiento no fue significativa estadísticamente ( $P > 0.05$ ).

### 5.4.3 Morfología intestinal

La dieta experimental (tratamiento (PA o PS)) no afectó la morfología intestinal ( $P > 0.05$ ) en ninguna de las regiones del intestino delgado (duodeno, yeyuno e íleon).

Sin embargo, se observaron diferencias significativas en relación a los días posdestete (Cuadro 19).

En el duodeno las vellosidades disminuyeron su altura un 51% dentro de los tres primeros días posdestete (de 571 a 279  $\mu\text{m}$ ) y tuvieron un tamaño similar el día 6. El día 13 las vellosidades se recuperaron alcanzando 429  $\mu\text{m}$ , el día 25 tenían una altura similar (370  $\mu\text{m}$ ). Las vellosidades mantuvieron la misma anchura del destete hasta el día 13 (en promedio 100  $\mu\text{m}$ ), pero al día 25 la anchura de las vellosidades fue mayor (127  $\mu\text{m}$ ) ( $P < 0.01$ ). La profundidad de las criptas de Lieberkühn en la región duodenal fue mayor ( $P < 0.01$ ) en los días 13 y 25 posdestete (233 y 202  $\mu\text{m}$ , respectivamente).

**Cuadro 19.** Altura, anchura y área funcional de las vellosidades; profundidad de las criptas de Lieberkühn<sup>1</sup> y relación altura vellosidad/profundidad de cripta (V/C)<sup>1</sup>.

Porción intestinal*		Días posdestete					Análisis estadístico	
		0	3	6	13	25	P	EEM
DUODENO	Altura	571 <sup>a</sup>	279 <sup>c</sup>	278 <sup>c</sup>	429 <sup>b</sup>	370 <sup>bc</sup>	P<0.01	15.88
	Ancho	105 <sup>b</sup>	94 <sup>b</sup>	106 <sup>b</sup>	106 <sup>b</sup>	127 <sup>a</sup>	P<0.01	2.23
	Cripta	108 <sup>b</sup>	113 <sup>b</sup>	126 <sup>b</sup>	233 <sup>a</sup>	203 <sup>a</sup>	P<0.01	5.12
YEYUNO	Altura	501 <sup>a</sup>	285 <sup>b</sup>	276 <sup>b</sup>	375 <sup>b</sup>	321 <sup>b</sup>	P<0.02	16.82
	Ancho	100 <sup>b</sup>	92 <sup>b</sup>	99 <sup>b</sup>	99 <sup>b</sup>	116 <sup>a</sup>	P<0.01	1.48
	Cripta	122 <sup>b</sup>	107 <sup>b</sup>	149 <sup>b</sup>	193 <sup>a</sup>	200 <sup>a</sup>	P<0.01	6.57
ÍLEON	Altura	347 <sup>a</sup>	220 <sup>b</sup>	271 <sup>ab</sup>	302 <sup>ab</sup>	263 <sup>ab</sup>	P<0.05	5.52
	Ancho	102	88	94	92	96	P>0.05	2.95
	Cripta	95 <sup>c</sup>	104 <sup>bc</sup>	120 <sup>bc</sup>	189 <sup>a</sup>	134 <sup>b</sup>	P<0.01	4.99
Relación Vellosidad/Cripta								
DUODENO	V/C**	5.39 <sup>a</sup>	2.50 <sup>b</sup>	2.30 <sup>b</sup>	1.86 <sup>b</sup>	1.96 <sup>b</sup>	P<0.01	0.16
YEYUNO	V/C	4.40 <sup>a</sup>	2.67 <sup>b</sup>	1.91 <sup>b</sup>	2.18 <sup>b</sup>	1.72 <sup>b</sup>	P<0.01	0.19
ÍLEON	V/C	4.23 <sup>b</sup>	2.13 <sup>b</sup>	2.28 <sup>b</sup>	1.65 <sup>b</sup>	1.88 <sup>b</sup>	P<0.01	0.19
Área funcional								
DUODENO	µm <sup>2</sup>	29689 <sup>a</sup>	13171 <sup>c</sup>	14360 <sup>c</sup>	22255 <sup>b</sup>	23471 <sup>b</sup>	P<0.01	821.89
YEYUNO	µm <sup>2</sup>	25335 <sup>a</sup>	13177 <sup>b</sup>	13608 <sup>b</sup>	18552 <sup>b</sup>	18472 <sup>b</sup>	P<0.01	913.06
ÍLEON	µm <sup>2</sup>	17715 <sup>a</sup>	9834 <sup>b</sup>	12451 <sup>ab</sup>	13912 <sup>ab</sup>	14412 <sup>ab</sup>	P<0.05	774.16

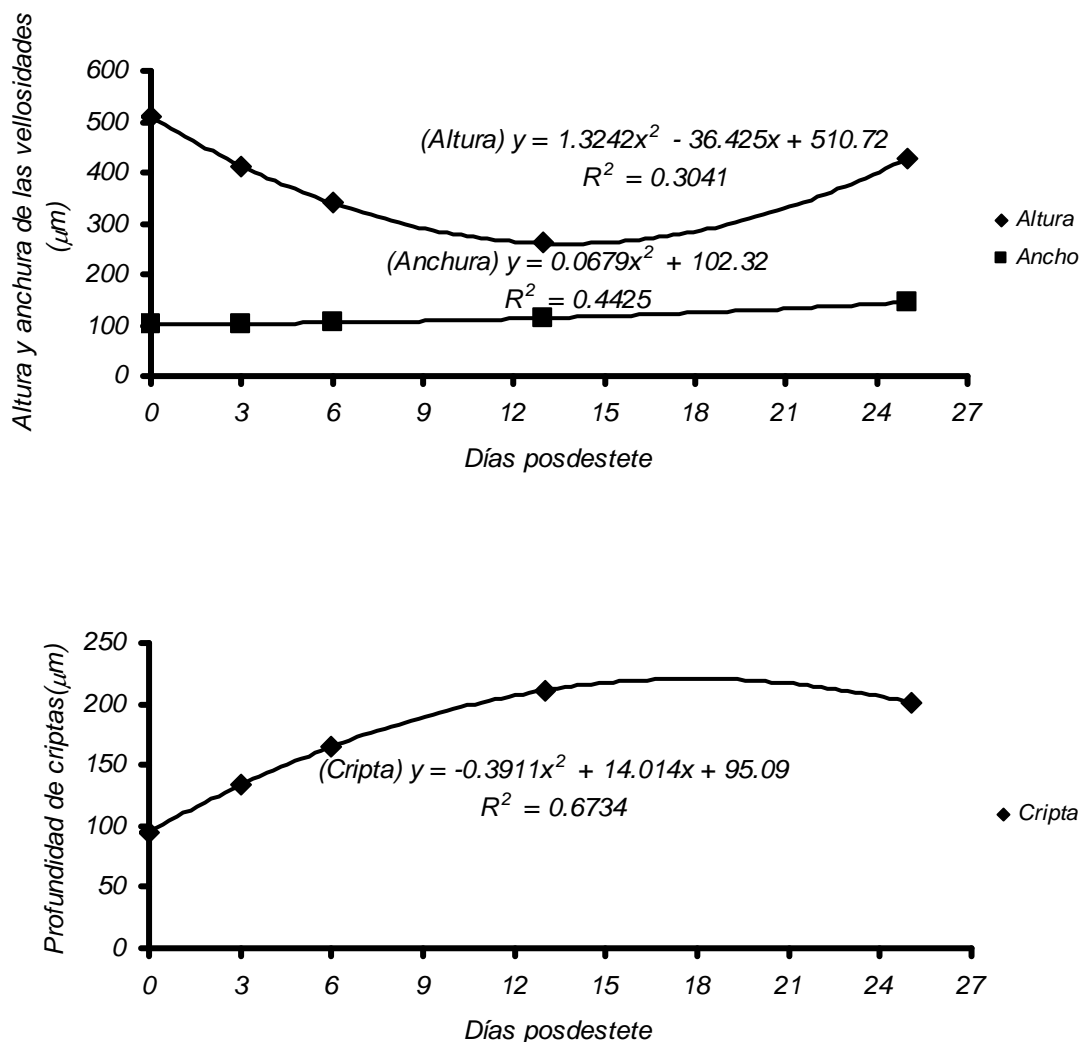
\*Se refiere a la porción intestinal sobre la cual se tomaron las placas histológicas. <sup>1</sup>Todas las medidas están reportadas en micras. <sup>abc</sup>Mediciones con diferentes literales en la misma línea tienen diferencias estadísticas. \*\*V/C: relación vellosidad (altura)/cripta (profundidad).

En el yeyuno, las vellosidades se comportaron de forma similar a las duodenales, a pesar de que solamente se diferenciaron en su altura ( $P < 0.05$ ) al tercer día postdestete (de 501  $\mu\text{m}$  al día 0 a 283  $\mu\text{m}$  al día 3) disminuyendo un 43%. Los días posteriores (6, 13 y 25) la altura de las vellosidades fue similar. La anchura de las vellosidades del yeyuno fue similar durante los días 0, 3, 6 y 13 (98  $\mu\text{m}$  en promedio), solamente al día 25 las vellosidades tuvieron una anchura mayor (116  $\mu\text{m}$ ) ( $P < 0.01$ ). En yeyuno, las criptas de Lieberkühn exhibieron exactamente el mismo comportamiento observado en el duodeno, diferenciándose en profundidad ( $P < 0.01$ ) solamente en los días 13 y 25, en los cuales tuvieron valores de 193 y 200  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

El íleon tuvo un comportamiento similar, pero es de notar que sus vellosidades fueron más cortas, teniendo valores iniciales de 347  $\mu\text{m}$ , 39% menores a las duodenales, y un 31% más pequeñas que las del yeyuno; al tercer día las vellosidades disminuyeron un 36%, en su altura ( $P < 0.05$ ). En los días subsecuentes las vellosidades recuperaron altura, manteniendo un valor promedio de 263  $\mu\text{m}$ . En íleon no se presentaron diferencias significativas en la anchura de las vellosidades en ninguno de los días de medición. Las criptas presentes en la región ileal solo incrementaron su profundidad al día trece postdestete ( $P < 0.01$ ) con 189  $\mu\text{m}$  de profundidad.

El análisis de regresión para la altura de las vellosidades duodenales fue significativa ( $P < 0.05$ ) en los animales que consumieron las dietas de PA, observándose un comportamiento cuadrático, aunque su  $R^2$  fue baja (0.30). Los que consumieron pasta de soya no mostraron un efecto significativo ( $P > 0.05$ ). Lo mismo ocurrió para la anchura de las vellosidades ( $P < 0.01$  y un  $R^2 = 0.44$ ). Los animales que consumieron PS no presentaron regresiones significativas. La profundidad de las criptas duodenales en los animales que consumieron PA presentaron un comportamiento cuadrático con una  $R^2$  aceptable (0.67) siendo altamente significativa ( $P < 0.01$ ) (Figura 15).

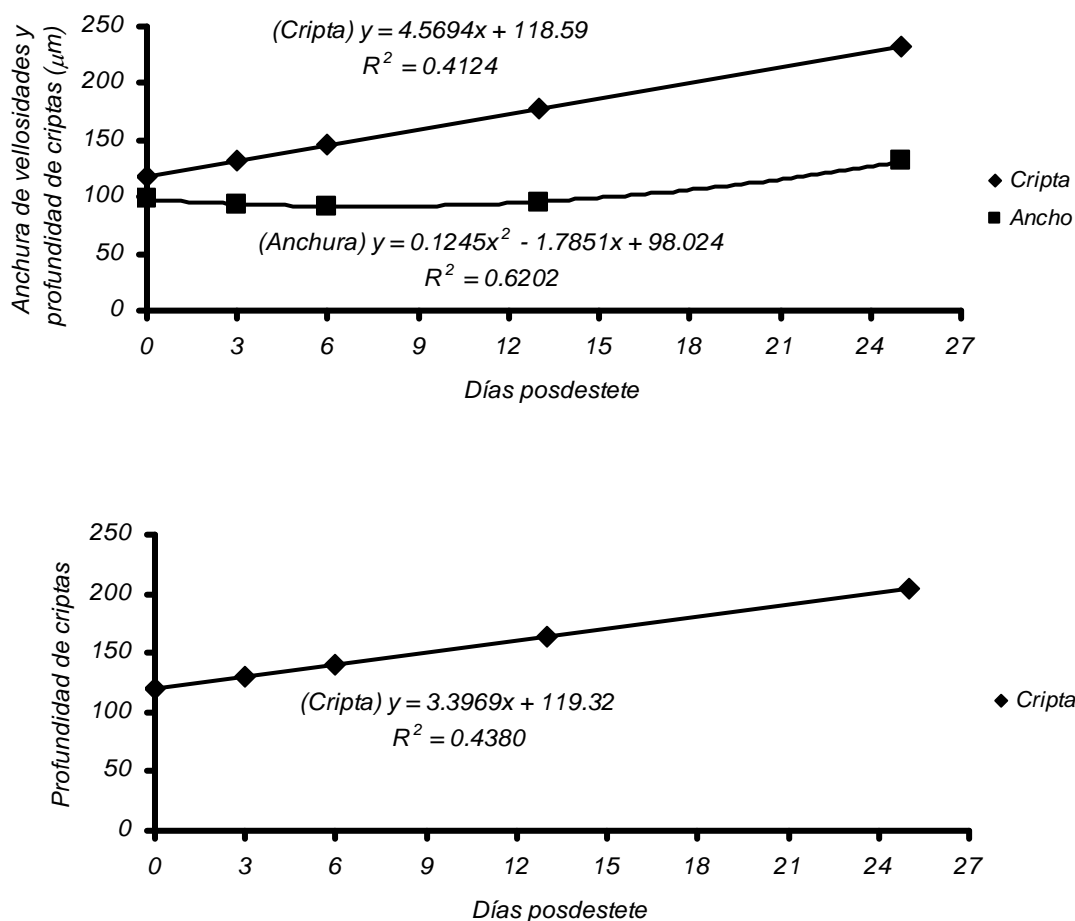
**Figura 15.** Regresión entre los días posdestete y la altura, anchura de las vellosidades de los animales de PA y la profundidad de las criptas de los animales de PS en el duodeno.



Los análisis de regresión de la altura de las vellosidades en la región yeyunal no fueron significativos; lo mismo ocurrió con la anchura de las vellosidades en el caso de los animales que consumieron PS, mientras que en los animales que consumieron PA, la regresión cuadrática fue significativa ( $P < 0.01$ ) y explicó adecuadamente la variabilidad entre los datos ( $R^2 = 0.62$ ). Para la profundidad de las criptas la regresión fue significativa, pero en ambos casos explica muy poco la variabilidad (0.41 y 0.43, respectivamente), ambas ecuaciones presentaron una tendencia lineal (Figura 16).

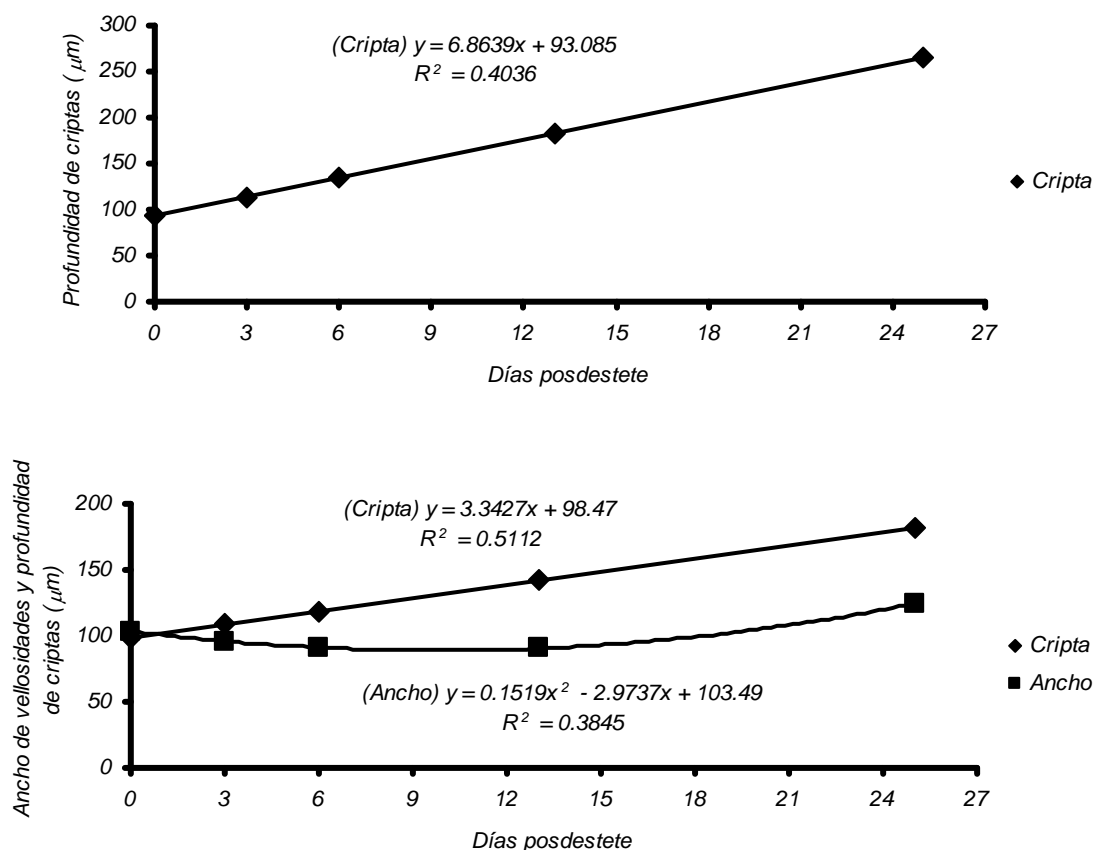


**Figura 16.** Regresión entre los días posdestete y la anchura de las vellosidades y la profundidad de las criptas de los animales de PA y la profundidad de las criptas de los animales de PS en el yeyuno.



En cuanto a las mediciones hechas a nivel ileal en el caso de los animales que consumieron PA la profundidad de las criptas presentó una regresión significativa ( $P < 0.01$ ), pero con un  $R^2$  bajo (0.40). Los animales que consumieron PS tuvieron regresiones significativas, tanto para la anchura de las vellosidades como para la profundidad de las criptas, en el caso de la anchura el comportamiento fue cuadrático, pero su  $R^2$  fue bajo ( $R^2 = 0.38$ ). La mediciones de las criptas duodenales, a pesar de aumentar ligeramente su  $R^2$  con respecto a la anchura (0.51), no fue lo suficientemente importante como para explicar la variación (Figura 17).

**Figura 17.** Regresión entre los días posdestete y la profundidad de las criptas de los animales de PA y la anchura de las vellosidades y la profundidad de las criptas de los animales de PS en el íleon.



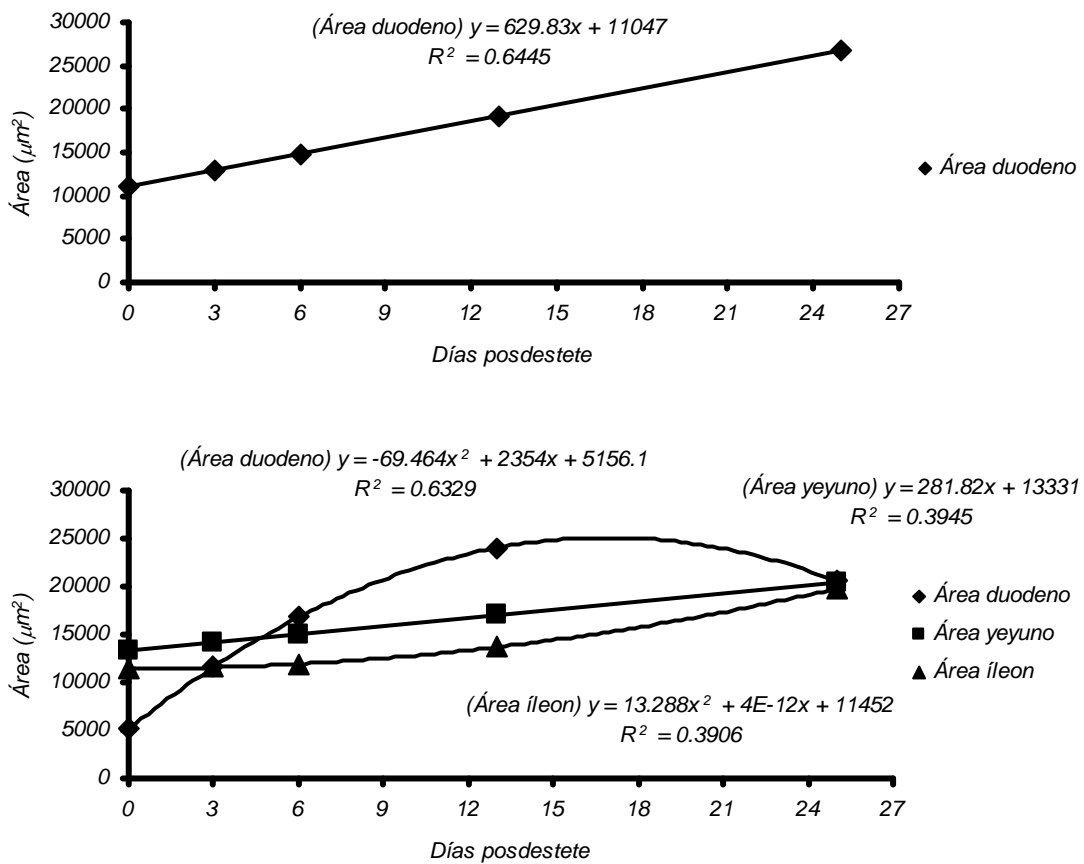
La relación V/C disminuyó significativamente al día 3 posdestete, y permaneció sin alteraciones hasta el día 25 (Cuadro 19).

En relación al área funcional de las vellosidades se observó una disminución al día tres posdestete con un incremento posterior hasta el día 25 ( $P < 0.01$ ) a nivel del duodeno. Sin embargo en yeyuno e íleon, a pesar de que el área funcional de las vellosidades aumentó entre el día tres y 25, en promedio 1.4 veces; esteno fue significativo

En cuanto a las ecuaciones de regresión, en los animales que consumieron PA la única regresión significativa ( $P < 0.01$ ) fue la del área de las vellosidades duodenales; la cual presentó una tendencia lineal con un  $R^2$  aceptable que puede explicar suficientemente la variación (0.64) (Figura 18). Las regresiones para los animales que consumieron PS fueron todas significativas ( $P < 0,01$ ). En el área del duodeno, se presentaron valores aceptables de  $R^2$  permitiendo

explicar la variación en buena medida (0.63), mientras que en cuanto al área de las vellosidades yeyunales e ileales, dicho valor de  $R^2$  fue muy bajo como para explicar la variabilidad de los datos obtenidos (0.39) (Figura 18).

**Figura 18.** Regresión entre los días postdestete y el área de las vellosidades del duodeno de los animales de PA y el área de las vellosidades del duodeno, yeyuno e íleon de los animales de PS<sup>1</sup>.



<sup>1</sup>Área duodeno, área yeyuno y área íleon se refiere al área de las vellosidades intestinales.

## **VI. Discusión.**

### **6.1 Digestibilidad de materias primas y tratamientos (dietas).**

El aprovechamiento digestivo de las materias primas y de las dietas con subproductos de soya fue superior a las dietas con subproductos de ajonjolí. En esto influyeron dos factores importantes. El primero, que FSE tuvo una alta digestibilidad aparente y estandarizada y el segundo, que la pasta de ajonjolí tostada presentó los menores coeficientes de digestibilidad. Sin embargo, al comparar la pasta de soya y la de ajonjolí la diferencia en la digestibilidad disminuyó llegando a ser similar cuando se expresó en términos de digestibilidad aparente de las dietas y de digestibilidad estandarizada de las materias primas.

En la revisión de literatura no se encontraron referencias que describieran el uso de la pasta de ajonjolí como fuente proteica alternativa en la alimentación de cerdos. Los datos de digestibilidad aparente de la pasta de soya obtenidos en este trabajo son inferiores a los presentados en la literatura, los cuales se encuentran en un rango entre 80 y 88% (Friesen et al., 1993; Lallès y Toullec, 1996; Woodworth et al., 2001; Cordero 2003; Karr – Lilienthal et al., 2004). Muy probablemente esto se deba al tipo de dieta y a la composición (calidad) de la pasta de soya empleada. Sin embargo, los resultados del presente trabajo coinciden con lo reportado por Van der Poel et al. (1990) quienes calcularon coeficientes de digestibilidad ileal aparente de materia seca de 77 y 79% para dietas a base de pasta de soya y maíz en lechones destetados a los 17 días de edad. También los presentes resultados fueron superiores a los determinados por Caine et al. (1997a), que utilizaron dietas con pastas de soya procesadas de diferentes maneras (65 – 72%)

#### **6.1.1. Tratamiento térmico y digestibilidad de las dietas y las materias primas:**

La digestibilidad de las materias primas y de las dietas reflejan la influencia del tratamiento térmico, ya que cuando se aplica en forma adecuada puede destruir factores antinutricionales y mejorar la digestibilidad de la materia seca y la proteína cruda (Cordero, 2003) como se observa en el frijol soya extruído. Sin embargo, si es aplicado de manera indebida puede observarse una baja digestibilidad, lo que probablemente ocurrió con la pasta de ajonjolí tostada (PAT). El proceso de tostado causa una baja disponibilidad de las proteínas y

más específicamente de sus aminoácidos, ya que las altas temperaturas provocan la reacción de Maillard uniendo de manera covalente un azúcar reductor (glucosa, fructosa, ribosa, xilosa) al grupo amino de un compuesto (aminoácidos, proteínas, péptidos y hasta al mismo amoniaco) disminuyendo su disponibilidad a nivel intestinal (Machiels e Istasse, 2002). Así, el bajo aprovechamiento digestivo de los lechones que consumieron la dieta PAT parece ser una consecuencia de la baja digestibilidad de la proteína y de los aminoácidos de la pasta de ajonjolí provocado por el tostado excesivo.

Por otro lado el tratamiento térmico aplicado al fríjol de soya extruído tuvo un efecto contrario al visto con PAT, pues se observaron valores elevados de digestibilidad de la proteína cruda en la materia prima FSE y en la dieta FSE. Esto corrobora lo referido por diversos autores (Friesen et al., 1993; Lallès y Toullec, 1996; Cordero, 2003; Karr – Lilienthal et al., 2004), los cuales mencionan que el tratamiento térmico (extrusión) mejora notablemente la digestibilidad del fríjol soya.

*6.1.2. Contenido de fibra y digestibilidad:* Es sabido que el nivel de FDN de la dieta afecta la digestibilidad de la proteína cruda (Montagne et al., 2001; Lallès et al., 2004) lo que concuerda con lo observado en el presente trabajo, en donde las materias primas y las dietas con menores niveles de FDN (FSE, PS y PA) (Cuadro 2 y 4) fueron las más digeribles en comparación con la dieta que contenía PAT. En el proceso de tostado de la pasta de ajonjolí, debido al tamaño de sus partículas, es necesario mezclarla con cascarilla de arroz y de cebada, lo que aumenta su contenido de FDN y de la dieta en que se le incorpore. Además, también se puede inferir que una buena parte de la proteína que contiene la pasta de ajonjolí tostada se encuentra incluida dentro de la matriz celular que está cubierta por las paredes celulares características de las células vegetales, disminuyendo su disponibilidad para los animales. Con lo anterior, se puede considerar que el alto nivel de fibra (FDN) de la pasta de ajonjolí tostada fue uno de los factores que afectaron su digestibilidad.

6.1.3. Digestibilidad de aminoácidos: Los resultados de la digestibilidad aparente de los aminoácidos de las dietas del presente trabajo coinciden con los resultados de Caine et al. (1997a), en los que se observa una baja digestibilidad de alanina y glicina, y una buena digestibilidad de fenilalanina y lisina. En este sentido, Caine et al. (1997b) indican que el sustrato primario de oxidación para los enterocitos es la alanina sintetizada *de novo* por transaminación del piruvato. Esto produciría una baja digestibilidad de este aminoácido, ya que lo anterior se da como resultado del alto recambio metabólico y del tejido intestinal, el cual requiere de grandes cantidades de energía para la replicación, diferenciación y migración celular en las vellosidades de la mucosa intestinal.

En cuanto a la treonina, este aminoácido tiene un comportamiento típico, ya que las dietas con baja cantidad de fibra poseen una buena digestibilidad (PS, PA y FSE con 83.7, 82.9 y 80% respectivamente), mientras que en la dieta rica en fibra presentó una baja digestibilidad (PAT con 78%). Montagne et al. (2001) y Lallès et al. (2004) mostraron que dietas ricas en fibra aumentan la descamación de los enterocitos y la producción de mucina (moco) que es rica en treonina. Por otro lado, la digestibilidad puede estar influenciada por el orden de hidrólisis de los aminoácidos en una proteína cuando ésta sufre digestión por parte de las proteasas y peptidasas endógenas. La treonina es el último aminoácido liberado de una proteína por la acción enzimática (Fan et al., 1995), mientras que la lisina y la fenilalanina, los cuales presentaron altas digestibilidades (entre 87.7 y 92.7% para la lisina y entre 86.1 y 93.8% para fenilalanina) son los primeros en ser liberados de las proteínas por las proteasas. Esto está relacionado con el tiempo de pasaje intestinal, ya que entre más tarde una enzima en liberar los aminoácidos de una proteína, menor tiempo de absorción tendrán estos aminoácidos, siendo lógico encontrarlos en gran medida en el contenido ileal, reflejándose en una baja digestibilidad (Low, 1980; Makkink et al., 1994; Pácha, 2000; Hedemann et al., 2003). En general la digestibilidad promedio de los aminoácidos esenciales de las dietas con subproductos de soya en este trabajo (87.76%) coincide con las reportadas por diferentes autores (Li et al., 1991; Caine et al., 1997a; Smiricky et al., 2002) que están entre 78.2 y 88.5%.

La digestibilidad de la lisina en la dieta con FSE y PAT fue la más baja con respecto a las otras dietas, contrario a lo que venía sucediendo con los otros aminoácidos, esto puede atribuirse al tratamiento térmico que sufre la materia prima constituyente de ésta dieta, ya que es bien sabido que especialmente la lisina es sensible al calor lo cual la hace poco disponible a nivel intestinal (Machiels e Istasse, 2002).

## **6.2. Comportamiento productivo**

### **6.2.1. Ganancia diaria de peso.**

Los resultados de ganancia diaria de peso (GDP) no mostraron diferencias significativas en las dos primeras semanas posdestete, pero en la tercera semana posdestete la diferencia de la GDP entre los tratamientos se volvió significativa ( $P < 0.05$ ). Dicha diferencia favoreció a los animales que consumieron la dieta con PS ya que estos aumentaron 99 g más que los animales que consumieron la dieta con PA, esto es un promedio de 14 g diarios más, lo que la hace un 39% superior.

La diferencia vista en la tercera semana posdestete fue lo suficientemente grande como para afectar el promedio de la GDP de la fase 2 en la que también se observaron diferencias significativas, tales diferencias fueron superiores en un 26% en PS. Sin embargo, en el análisis del desarrollo de los lechones en el periodo experimental total, todos los animales fueron similares en ganancia de peso, consumo y eficiencia alimenticia. Los valores de GDP en la tercera semana posdestete observados en el presente trabajo coinciden parcialmente con los valores del trabajo publicado por Lapine et al. (1991) en el que se utilizaron lechones alimentados con dietas a base de maíz – pasta de soya con o sin la adición de suero de leche con diferentes niveles de lisina cristalina ( $251 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ ). También existen similitudes con los datos de GDP total en el trabajo realizado por Mahan et al. (1993) en los que se observaron GDP totales de  $244 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$  utilizando 6 lechones recién destetados por corral. Dichos autores indican que las dietas con niveles entre 15 y 35% de suero de leche mejoran la ganancia diaria de peso y el consumo diario de alimento de los cerdos jóvenes alimentados con dietas simples a base de maíz – pasta de soya, lo cual es consistente con los resultados obtenidos en el presente trabajo en las dos últimas semanas posdestete en los que se observó un aumento

significativo. En cuanto a la GDP observada en los animales que consumieron las dietas con PA, no se tienen referencias con las que se pueda comparar el este trabajo.

### **6.2.2 Consumo diario de alimento.**

El consumo diario de alimento (CDA) no difirió entre los tratamientos en ninguna de las semanas experimentales y por ende tampoco por fases ni en el periodo total. Los valores de CDA en el presente trabajo fueron similares a los publicados por Lapine et al. (1991) ( $375 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ ) y Mahan (1993) ( $393 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ ). Como se dijo anteriormente estos mismos autores indican que las dietas adicionadas con suero de leche mejoran notablemente el consumo de alimento, esto concuerda con los datos obtenidos en este trabajo.

### **6.2.3. Eficiencia alimenticia (EA).**

La eficiencia alimenticia de los lechones fue consecuencia de su ganancia de peso, ya que los consumos fueron similares entre los tratamientos. En la tercera semana posdestete, los animales del tratamiento PS tuvieron menor dificultad para adaptarse al cambio de dieta (de F1 a F2), por lo que muy probablemente ganaron más peso. Los animales que consumieron dietas con PA tuvieron mayores dificultades para adaptarse al cambio de alimento, sin embargo al final lo hicieron y prueba de ello es que no hubo diferencias estadísticas en el análisis del desarrollo de los lechones en el periodo total de experimentación.

Con respecto a las variables evaluadas anteriormente, diversos autores como Bolduan et al. (1988), Pluske et al. (1998) y Zijlstra et al. (1999) coinciden que no existe un límite máximo de inclusión de fibra en la dieta, pero que ésta puede ejercer un efecto sobre el aprovechamiento de los nutrientes y por consiguiente en sus respuestas zootécnicas. Sería lógico pensar que con lo que se conoce actualmente sobre nutrición de lechones recién destetados, el contenido de fibra en las dietas afecte de manera significativa el desarrollo, tanto de los órganos digestivos como de los animales. Los efectos van desde un simple aumento en el volumen de la dieta y del contenido gástrico e intestinal, afectando el consumo de alimento, hasta el efecto antinutricional que pueden ejercer ciertos polisacáridos no amiláceos; alterando el paso normal del



alimento a través del intestino delgado, como la digestión de los nutrientes por parte de las enzimas pancreáticas e intestinales y la absorción de estos mismos (Bedford y Classen, 1992; Baidoo et al., 1998; Leterme et al., 1998).

Lo anterior podría ser una explicación del comportamiento productivo de los animales; ya que como se dijo anteriormente en la tercera semana posdestete los animales que consumieron dietas con PS tuvieron un aumento significativo de peso en relación a los de PA. Si se analiza esto a partir de los valores de FDN obtenidos en los análisis químicos de las materias primas y las dietas utilizadas; se podría observar que la dieta con pasta de soya contiene un menor porcentaje de FDN que la dieta con PA (2.16 para PA vs 1.58 para PS en dieta de fase uno y 3.59 vs 2.63 en dieta de fase dos). Si bien, el contenido de fibra en ambas dietas es bajo, dicha diferencia puede representar cambios significativos a nivel intestinal (Gill et al., 2000) que causaron una mayor dificultad de adaptación a los animales que consumieron pasta de ajonjolí. Esto probablemente fue más evidente en la tercera semana, ya que en este momento se cambió de fase uno a fase dos, aumentando el porcentaje de inclusión de las materias primas en un ocho por ciento. Esto pudo representar un cambio bastante brusco originando la dificultad de adaptación, anteriormente mencionada, en los animales que se alimentaron de las dietas con un mayor porcentaje de fibra que en este caso fueron los animales que consumieron PA.

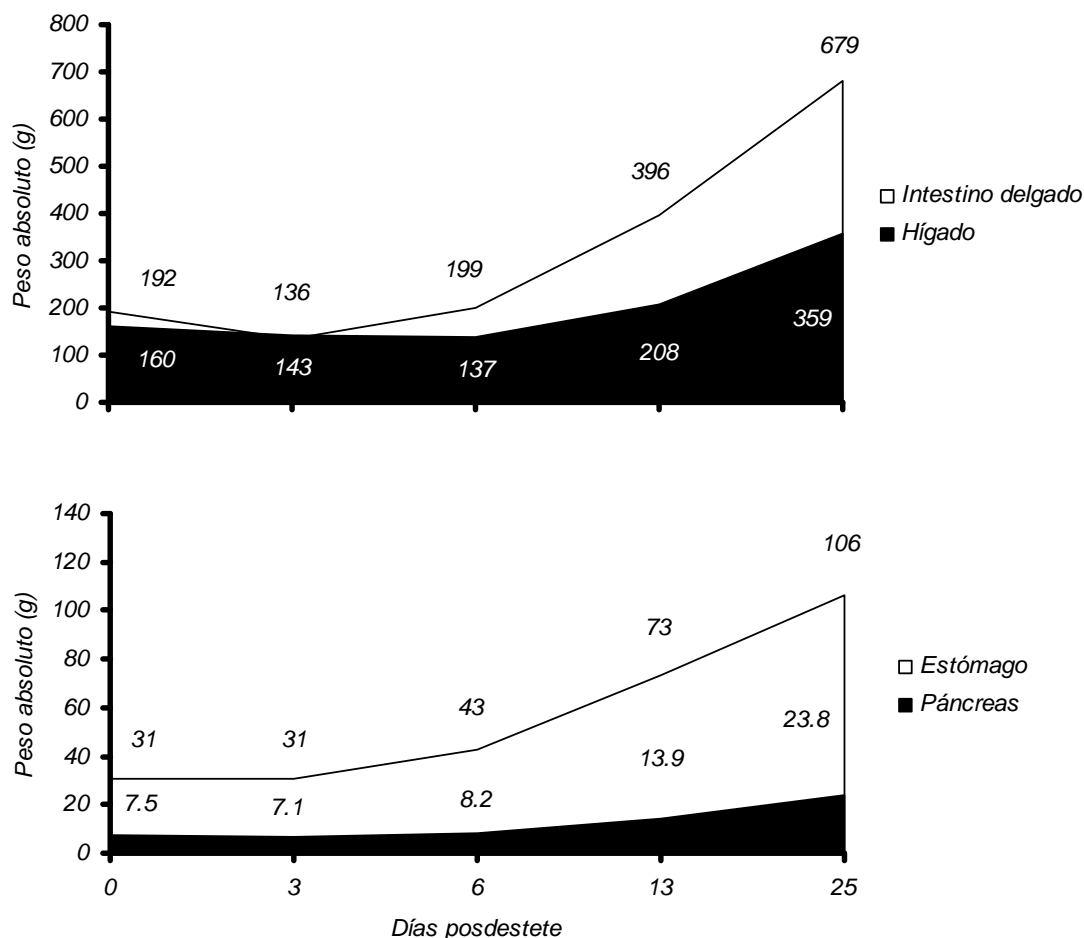
Por otro lado a pesar de que en la revisión de literatura no se encontraron trabajos que utilizaran la pasta de ajonjolí como fuente de proteína para la alimentación de cerdos, el trabajo publicado por Rama Rao et al. (2008) reporta que aves alimentadas con dietas que incluyeron pasta de soya y pasta de ajonjolí en diferentes proporciones, no presentaron diferencias estadísticas en lo que se refiere al comportamiento productivo, lo cual coincide con los resultados de presente trabajo.

### **6.3 Desarrollo morfofisiológico.**

#### **6.3.1 Peso de órganos digestivos.**

Los resultados para esta variable concuerdan con los datos reportados por diferentes autores (Koong et al., 1983; Quiniou y Noblet, 1995; de Lange y Schereurs, 1995; de Lange y Coudenys 1996; Bikker et al. 1996; Nyachoti, 1998; Mariscal y Reis de Souza, 2007), quienes afirman que los cambios posdestete ocurridos en los órganos digestivos se reflejan principalmente en el intestino delgado, el cual sufre cambios radicales en respuesta al destete. Estos cambios se dan como consecuencia a la falta de consumo de alimento en los primeros días posdestete, días en los que los lechones se adaptan al cambio de una dieta líquida con componentes de origen animal (leche materna) a una dieta generalmente sólida, con componentes de origen vegetal con una baja digestibilidad. Según los datos reportados por los autores antes mencionados, las vellosidades intestinales sufren una notable disminución en su tamaño (atrofia), la altura de las vellosidades puede disminuir en un 75% en las primeras 24 horas posdestete, esta disminución en su tamaño significa que el intestino pierde entre un 25 y un 32% de su peso absoluto inicial (peso al día del destete) (Lallès et al., 2004). Lo anterior concuerda con los datos obtenidos para el peso intestinal en el presente estudio (de 192 g al día del destete a 136 g al día tres posdestete), en los que se observa una disminución del 29% al tercer día posdestete (Figura 19).

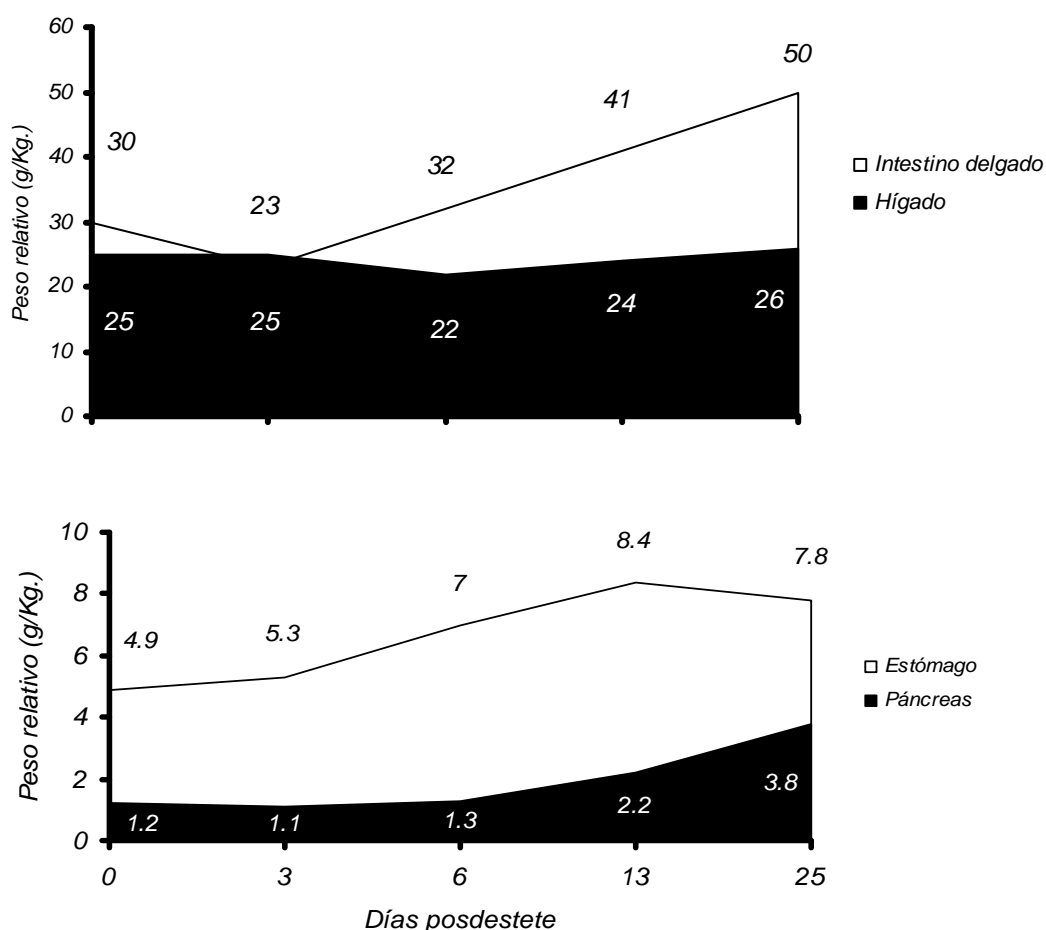
**Figura 19.** Peso absoluto (g) del intestino delgado, hígado, páncreas y estómago según el día posdestete.



Una vez que los lechones empiezan a consumir alimento, la mucosa intestinal empieza a recuperar el tamaño de sus vellosidades. Pluske et al. (1997) reportaron que la recuperación del tamaño de las vellosidades intestinales comienza a partir del tercer día posdestete alcanzando valores similares al día del destete (día cero) a los 11 días posdestete. En este estudio se empieza a observar una recuperación en el peso del intestino a partir del día tres, para alcanzar los valores iniciales (día del destete) al sexto día posdestete (de 136 g al día tres, a 199 g al día 6 posdestete). El peso del intestino continúa en aumento hasta el final del período experimental alcanzando 679 g. al día 25 posdestete (Figura 19), lo cual concuerda con lo reportado por Pluske et al. (1997), Quiniou y Noblet (1995) y de Lange y Coudenys (1996) quienes mencionan que a partir del tercer día el intestino delgado empieza a recuperar su peso para triplicarlo a la cuarta semana posdestete. En cuanto a los demás

órganos digestivos (estómago, páncreas e hígado) si bien también disminuyeron su peso al tercer día posdestete, este descenso no fue tan dramático como el del intestino delgado (0.64, 5.4 y 10.4% respectivamente); estos órganos al tercer día posdestete, empezaron aumentar su peso para triplicarlo al día 25 posdestete, lo cual coincide con lo descrito por Lallès et al. (2004) (Figura 20).

**Figura 20.** Peso relativo ( $\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$ ) del intestino delgado, hígado, páncreas y estómago según el día posdestete.



Al relacionar el peso del órgano con el peso vivo del lechón (peso relativo) se observó que entre la segunda y la tercera semana posdestete se dio un

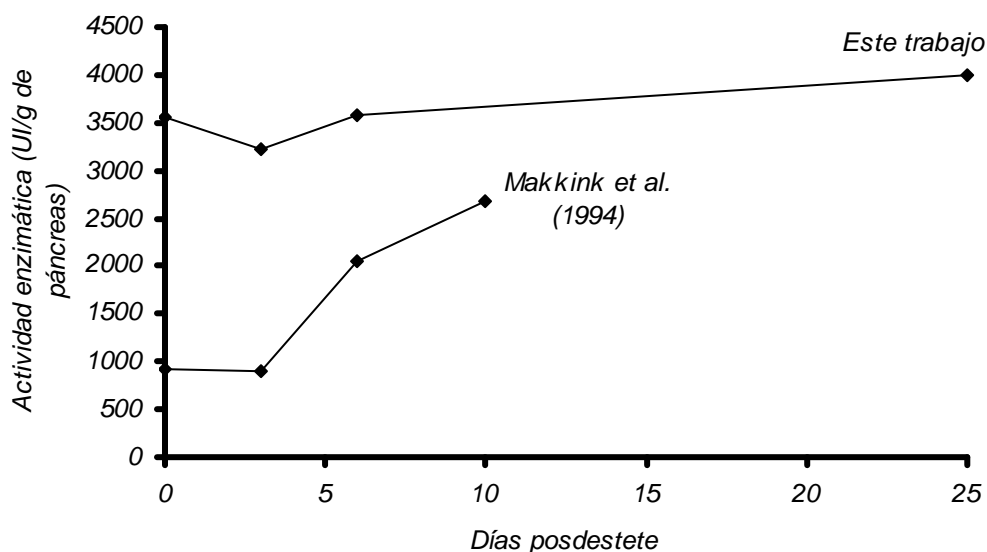
crecimiento del 25.8% del intestino delgado ( $32.3 - 40.5 \text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$ ), como lo reportado por Cera et al. (1988), quienes observaron un aumento del 20%. Lo anterior muy probablemente se debió al incremento en el consumo de alimento observado durante esos días (Rantzer y Kiela, 1997). Salgado et al. (2002) indicaron un incremento del peso relativo del páncreas a partir del octavo día posdestete en lechones que fueron alimentados con dietas a base de pasta de soya, lo cual coincide con los resultados del presente trabajo, en el que se observó un aumento del peso relativo del páncreas a partir del sexto día posdestete (18.2%). Esto coincide con el aumento en el consumo de alimento; además el incremento en el peso relativo del páncreas continúa en las semanas siguientes con relación al peso del animal, lo que indica una adaptación del lechón a las dietas con PS (Makkink et al., 1994). En lo que se refiere al efecto de la pasta de ajonjolí sobre el peso de los órganos digestivos no se encontraron referencias que permitieran complementar esta discusión, sin embargo las respuestas fueron similares en todos los lechones.

### **6.3.2 Actividad enzimática.**

#### **6.3.2.1 Pancreática.**

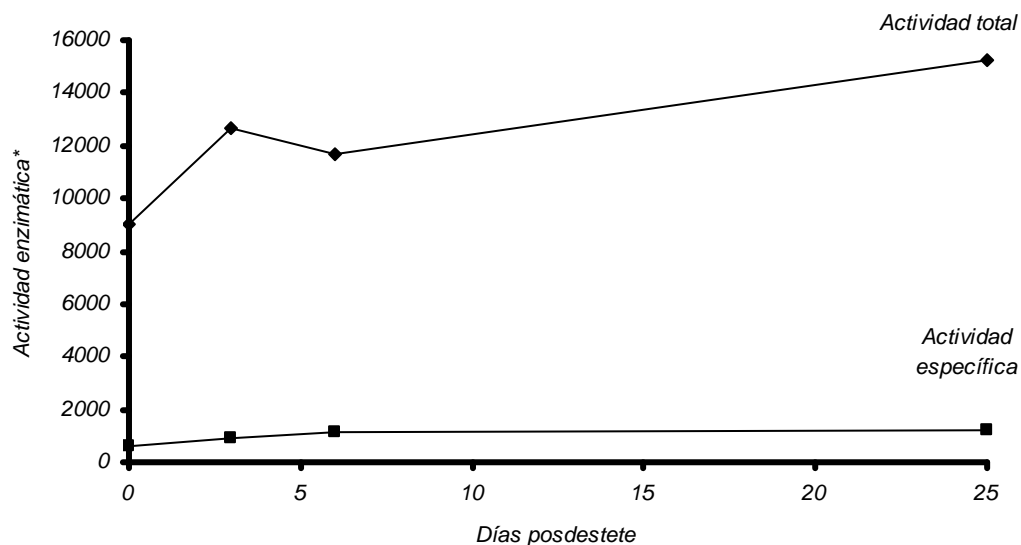
La disminución de la actividad total de la tripsina observada al tercer día posdestete (de 3558 a 3220 UI·g de páncreas<sup>-1</sup>) puede ser atribuida al poco consumo de alimento por parte de los lechones, lo cual disminuye la secreción pancreática y por ende, la producción de enzimas. Posteriormente, al sexto día se presenta un aumento de dicha actividad enzimática para mantenerse en alza hasta el final del período experimental (3854 y 3992 UI·g de páncreas<sup>-1</sup> para el día 6 y el 25, respectivamente). Lo anterior concuerda con lo descrito por Makkink et al. (1994) quienes indican que hay una disminución en la actividad enzimática en los primeros días posdestete, actividad que aumenta en los días posteriores (Figura 21)

**Figura 21.** Comparación entre la actividad total de la tripsina determinada por Makkink et al. (1994) y la determinada en el presente trabajo (promedio).



El aumento observado en la actividad total de la quimotripsina al tercer día posdestete, y la continuación de este incremento en los días posteriores se puede atribuir a un aumento en la secreción pancreática, ya que al calcular la actividad enzimática específica la disminución presente en el día seis no se observa; por el contrario se puede apreciar un aumento constante que se estabiliza aproximadamente al día 8, situación que era de esperarse, ya que los animales empezaron a consumir el alimento en forma constante a partir del tercer día (Figura 22). Además al registrar el peso del páncreas al día tres se observó un ligero descenso en su peso, lo cual concuerda con lo afirmado anteriormente.

**Figura 22.** Comparación de la actividad enzimática total y específica de la quimotripsina.



\* Actividad total: UI·g de páncreas<sup>-1</sup>, Actividad específica: UI·g de proteína pancreática<sup>-1</sup>.

Makkink et al. (1994) encontraron resultados contradictorios a los presentes, pues observaron una disminución significativa en la actividad total de la quimotripsina al tercer día posdestete, incrementándose de manera vertiginosa en los días posteriores. Los autores correlacionan la disminución en la actividad enzimática total de esta enzima con el bajo consumo de alimento sólido en relación a consumo de leche. Salgado et al. (2002) indican que la actividad total de la quimotripsina en lechones recién destetados alimentados con dietas que contenían PS se incrementó en los primeros tres días posdestete, tal como se observó en los animales utilizados en el presente trabajo.

De acuerdo a lo postulado por los autores citados (Makkink et al., 1994; Salgado et al., 2002; Lallès et al., 2004), al relacionar la actividad total de las enzimas pancreáticas con la cantidad de proteína pancreática (actividad específica), se observa una corrección que lleva a deducir que al haber un menor consumo de alimento hay una menor estimulación a la secreción; las enzimas se concentran dentro del páncreas, ya que hay una menor secreción pancreática; mientras que cuando aumenta el consumo de alimento el páncreas también aumenta su secreción, disminuyendo la cantidad de proteína en su interior; lo que se observa claramente al comparar la actividad enzimática total y específica de la quimotripsina (Figura 22).

La actividad total y específica tanto de la carboxipeptidasa A como de la carboxipeptidasa B describen el mismo comportamiento de las demás enzimas pancreáticas, lo cual encuadra con la teoría de la baja de la actividad enzimática al tercer día por una disminución en el consumo de alimento propuesta por los autores anteriormente mencionados. Los valores observados en la actividad total de dichas enzimas no coinciden con los descritos por Cordero (2003), quién también usó pasta de soya. En el caso de la carboxipeptidasa A, en dicho trabajo se presenta un aumento del 68% al segundo día posdestete, y la actividad disminuye al quinto día en un 60% y se mantiene sin cambios hasta el final del periodo experimental (día 15). En el caso de la carboxipeptidasa B se observa un comportamiento completamente diferente, ya que su actividad total durante los primeros días se mantiene estable, al quinto día disminuye (21.8%), continua su descenso alcanzando los valores más bajos al día 11, aumentando de nuevo al día 15 posdestete, día en el cual alcanza valores similares a los del quinto día.

#### **6.3.2.2. Intestinal.**

La actividad de las tres enzimas medidas en el presente trabajo refleja la situación del intestino delgado frente al destete, ya que la caída de la actividad enzimática, tanto total como específica, al tercer día posdestete y su recuperación en los días posteriores es un reflejo del incremento en el consumo de alimento en el periodo posdestete. El efecto del destete sobre la actividad enzimática total fue más pronunciado en el caso de la aminopeptidasa A (49%) y la dipeptidildipeptidasa (54%), mientras que la actividad total de la aminopeptidasa N solo se vio afectada en un 18%. Los cambios morfológicos observados en el intestino delgado alrededor del destete están fuertemente relacionados a los cambios en la actividad enzimática de la mucosa intestinal. El acortamiento de las vellosidades se asocia con la pérdida celular y con la pérdida de enterocitos maduros ricos en enzimas (Hampson, 1986; Kelly et al., 1991). La disminución en la actividad de las peptidasas, observada en el presente estudio, probablemente está relacionada con la atrofia observada en las vellosidades y con la pérdida de enterocitos maduros en la región duodenal, donde la atrofia fue más pronunciada. En la parte distal del intestino delgado (íleon) donde la atrofia se dio en menor proporción, el ayuno pudo ser la causa



directa de la reducción en la actividad de las peptidasas. El ayuno reduce la actividad de las peptidasas del borde en cepillo, contrario a los que ocurre con la carbohidrasas que disminuyen principalmente como efecto de un factor genético (Jensen et al., 1997). En un estudio realizado por Núñez et al (1996) en lechones lactantes, se observó que una restricción en la dieta resulta en una reducción en la actividad total de la aminopeptidasa N, lo cual coincide en cierta forma con el presente estudio, demostrando que la actividad de las peptidasas intestinales actúan en función de la cantidad de sustrato al cual tienen acceso.

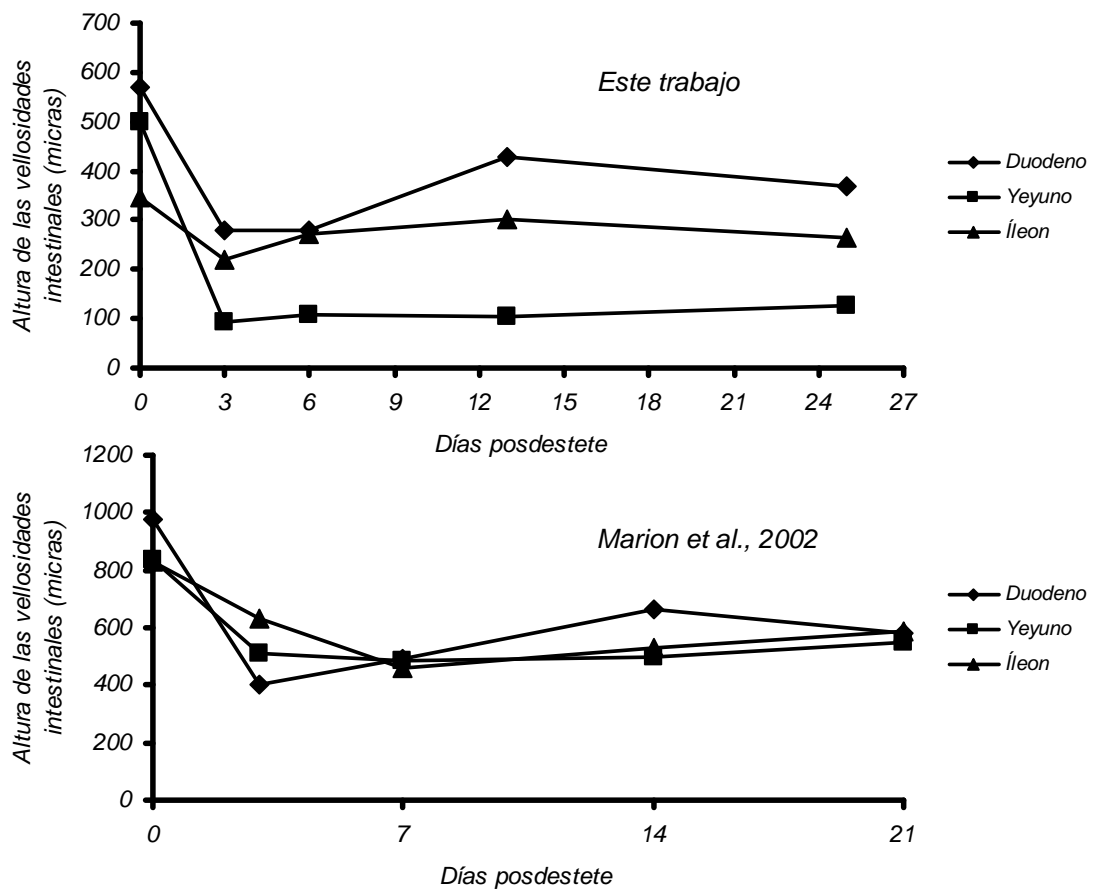
En el presente estudio la actividad de las peptidasas en general, tanto total como específica, al día del destete en comparación al día 25 posdestete, fue similar a las observadas por Jensen et al. (2001) en el que la actividad de la aminopeptidasa N, la aminopeptidasa A y la dipeptidildipeptidasa tuvieron valores, al día 25 posdestete, por encima del día del destete (día 0). Dichos valores en aquel estudio fueron del 26, 37 y 13% respectivamente; en el presente trabajo se observaron porcentajes de 22, 41 y 8% respectivamente.

### ***6.3.3. Morfología intestinal.***

Al analizar los resultados de las mediciones histológicas de la altura y ancho de las vellosidades y de la profundidad de las criptas se corrobora lo observado en el análisis del peso de los órganos digestivos y de la actividad enzimática. Fue muy característico encontrar una disminución al tercer día posdestete en las vellosidades a lo largo del intestino delgado. Lo anterior concuerda con lo publicado en diferentes trabajos (Koong et al., 1983; Quiniou y Noblet, 1995; Nyachoti, 1998; de Lange y Schereurs, 1995; de Lange y Coudenys, 1996; Bikker et al. 1996; Mariscal y Reis de Souza, 2007) en los que se observa una disminución significativa en el tamaño de las vellosidades intestinales al tercer día posdestete. Las vellosidades duodenales fueron las afectadas en mayor proporción (51% de reducción), lo que coincide con lo publicado por Marion et al. (2002), quienes evaluaron la altura de las vellosidades de lechones destetados a los 7 días de edad, y alimentados con una dieta con 22% de proteína cruda, encontrando disminuciones del 59% en las vellosidades del duodeno y del 38% en las vellosidades del íleon. Lo anterior fue atribuido al bajo consumo de alimento, dentro de los primeros días posdestete, lo cual

generó una deficiencia energética y proteica, que conllevó a una reducción en la regeneración celular a nivel intestinal causando la atrofia antes mencionada (Figura 23). Posteriormente, cuando los animales empezaron a consumir un poco de alimento, las vellosidades comenzaron a regenerarse, como lo observado en las mediciones realizadas en el presente trabajo, en donde la altura de las vellosidades en general pasaron de un promedio de 261 micras al día tres posdestete a 368 micras al día 13 posdestete, con lo que se aprecia un aumento del orden del 29%. Lo anterior queda muy claro al observar la tendencia general que tienen las vellosidades de las tres regiones del intestino delgado en las gráficas de regresión, en donde se puede apreciar el aumento característico de las vellosidades al incrementar el consumo de alimento.

**Figura 23.** Comparación de la altura de las vellosidades entre el presente estudio y el publicado por Marion et al (2002).



La anchura de las vellosidades registradas en el presente estudio coinciden con los publicados por Marion et al. (2002), que detectaron una disminución del 14% en promedio a lo largo del intestino delgado al tercer día posdestete (duodeno, yeyuno e íleon). En el actual trabajo, se pudo apreciar una disminución al tercer día posdestete del 11%, concordando con lo referido por dichos autores que describen vellosidades, mas cortas y más delgadas. Otros autores (Koong et al., 1983; Hampson, 1986; Kelly et al., 1991; Kelly y King 2001; Lallès et al., 2004) coinciden con lo descrito por Marion et al. (2002) al afirmar que lechones destetados entre los 7 y los 28 días de edad, alimentados con dietas simples a base de maíz-soya o sorgo-soya, reaccionan de la misma manera, presentando una disminución en el tamaño de las vellosidades, tanto en su altura como en su anchura. Todo esto es causado por una confluencia de diversos factores (disminución del consumo voluntario de alimento, presencia de factores antinutricionales, fibra, etc.). Dentro de esos factores se destaca el mínimo consumo de alimento que tienen los lechones durante los primeros días posdestete, generando una deficiencia energética, la cual ejerce un efecto directo sobre la división celular en las criptas intestinales.

Koong et al. (1983), Hampson (1986), Kelly et al. (1991), Kelly y King (2001), Lallès et al. (2004) indican que se da una disminución en la profundidad de las criptas intestinales durante los primeros días posdestete, lo cual no concuerda con las determinaciones del presente estudio, pues estas permanecieron de similar tamaño entre el día 0 y el día 13 posdestete, incrementándose posteriormente hasta el día 25 posdestete. El aumento de la profundidad de las criptas se relaciona con una mayor división celular. Hedemann et al. (2006) mencionan que el incremento de la cantidad de fibra en la dieta puede causar una mayor descamación celular y por ende una estimulación en el crecimiento de las criptas intestinales. Esto lleva a pensar que en esta investigación probablemente el cambio del alimento de fase uno a fase dos, realizado a partir del día 13, con un consecuente aumento del porcentaje de FDN, pudo haber sido un factor estimulante para el mayor desarrollo de las criptas. Otro factor importante que probablemente influyó en el aumento de la profundidad de las criptas, fue que los animales a partir de la segunda semana consumieron más alimento, lo que pudo influir en el *status* energético del animal, aumentando la

disponibilidad de energía para la multiplicación celular en las criptas de Lieberkühn (Hedemann et al., 2006; Lallès et al., 2004). La relación entre la altura de las vellosidades y la profundidad de las criptas da una idea de cómo actúa la cripta en función de los desafíos que enfrenta al existir un cambio tan traumático como lo es el destete. La relación V/C en este estudio estuvo más cerca a 1 en los días 13 y 25, en los que se observó un mayor crecimiento en la altura de las vellosidades, lo que puede ser atribuido a una mayor actividad dentro de la cripta (división celular) (Tasman – Jones et al., 1982; Brunsgaard y Eggum, 1995; Montagne et al., 2003).

Guyton y Hall (2003) definen el área funcional de un vellosidad teniendo en cuenta que esta presenta células diferenciadas y completamente funcionales de la porción media hacia arriba; con respecto a lo anterior en la presente investigación se puede afirmar que el crecimiento del área funcional de las vellosidades es consecuencia del desarrollo general de éstas mismas (altura y anchura), pues sigue la misma lógica de cada variable individualmente hasta el día 13 posdestete. Sin embargo, entre el día 13 y 25 la altura de las vellosidades se estabilizó, mientras que la anchura de las mismas continuó aumentando (Cuadro 19). Estas observaciones indican que probablemente el área funcional de las vellosidades también se relacione con el crecimiento de la lámina propia y el crecimiento general del intestino, más específicamente de su diámetro y capacidad, como lo indica Cranwell (1995), quien afirma que tanto el diámetro como la capacidad del intestino delgado puede aumentar entre 3.5 y 43 veces desde el nacimiento hasta las 8 – 10 semanas.

## VII. CONCLUSIONES.

Teniendo como base los resultados observados en la presente tesis se concluye que:

1. La proteína cruda de la pasta de ajonjolí tiene un aprovechamiento digestivo comparable al de los subproductos de soya (pasta de soya y frijol soya extruído).
2. El proceso de tostado aplicado a la pasta de ajonjolí, disminuye la disponibilidad del nitrógeno y de la materia seca a nivel intestinal, lo que sugiere un sobrecalentamiento de esta materia prima.
3. La mayoría de los aminoácidos, tanto de la materia prima como de las dieta a base de pasta de ajonjolí tienen una digestibilidad equiparable a los aminoácidos de las dietas que contienen subproductos de soya.
4. De manera general, el comportamiento productivo de los cerdos alimentados con pasta de soya y pasta de ajonjolí fue similar.
5. La fuente de proteína en la dieta (Pasta de soya o Pasta de ajonjolí) no afectó el crecimiento de los órganos digestivos en las cuatro primeras semanas posdestete.
6. La actividad de las enzimas pancreáticas (tripsina, quimotripsina, carboxipeptidasa A y carboxipeptidasa B) e intestinales (aminopeptidasa N, aminopeptidasa A y dipeptidildipeptidasa) tanto total como específica, es independiente a la fuente de proteína y muy probablemente está relacionada con el consumo de alimento.
7. La fuente de proteína no afectó la morfología de las vellosidades ni de las criptas intestinales.
8. El destete afecta negativamente las variables morfofisiológicas estudiadas (actividad enzimática, peso de órganos digestivos y morfología intestinal), principalmente en los primeros 3 días posteriores. Sin embargo, los lechones tienen una alta capacidad de adaptación, que aunado al mayor consumo de alimento, induce un periodo de recuperación que dura aproximadamente 13 días, de modo que al día 25 posdestete pueden llegar a sobrepasar los parámetros observados al día del destete.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Aguilera B.M.A.T. 2001. Utilización de Diferentes Fuentes de Proteína en la Alimentación de Lechones al Destete. Tesis Maestría. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. 105 p.
- Albin D.M., Wubben J.E., Smiricky M.R., Gubert V.M. 2001. The effect of feed intake on ileal rate of passage and apparent amino acid digestibility determined with or without corrections factors in pigs. *J. Anim. Sci.* 79:1250-1258.
- AOAC. 2002. Official Methods of Analysis. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington. VA.
- ASA. 2002. Soy Stats. A Reference Guide to Important Soybean Facts and Figures. Am. Soybean Assoc., St. Louis, MO. 8 p.
- Baidoo S.K., Liu Y.G., Yungblut D. 1998. Hullless barley for swine: ileal and faecal digestibility of proximate nutrients, amino acids and non-starch polysaccharides. *J. Sci. Food Agri.* 76:397-403.
- Bayardo U.A. 2000. Efecto del nivel y tipo de fibra sobre la excreción de nitrógeno y aminoácidos endógenos y su efecto sobre la digestibilidad ileal de la proteína en cerdos. Tesis de Maestría. Facultad de de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. 107 p.
- Bedford M.R., Classen H.L. 1992. Reduction of intestinal viscosity through manipulation of dietary rye and pentosanase concentration is effected through changes in carbohydrate composition of the intestinal aqueous phase and results in improved growth rate a food conversion efficiency of broiler chickens. *J. Nutr.* 122:560-569.
- Bengala Freire J., Peiniau J., Lebreton Y., Aumaitre A. 1988. Determination of ileal digestibility by shunt technique in the early-weaned pig methodological aspects and utilization of starch-rich diets. *Liv. Prod. Sci.* 20:233-241.
- Bergmeyer H.U. 1974. Methods of enzymatic analysis. Ed Academy Press.

- Bikker P., Verstegen M.W.A., Kemps B., Bosh M.W. 1996. Performance and body composition of finishing gilts (45 to 85 kilograms) as affected by energy intake and nutrition in earlier life: I. Growth of the body and components. *J. Anim. Sci.* 74:806-816.
- Bolduan G., Jung H., Schnable E., Schneider R. 1988. Recent advances in the nutrition of weaner pig. *Pig News and Information* 9:381-385.
- Bradshaw R., Ericsson L., Walsh K., Neurath H. 1969. The amino acid sequence of bovine carboxypeptidase A. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 63:1389-1391.
- Bruggink J.H.B. 1993. Utilización de concentrados de proteína de soya en dietas de animales jóvenes. IX curso de especializaciónn FEDNA. Barcelona. p. 1-12.
- Brunsgaard G., Eggum B.O. 1995. Small intestinal structure and proliferation as influenced by adaptation period and indigestible polysaccharides. *Comp. Biochem. Physiol.* 112:365-377.
- Caine W.R., Sauer W.C., Verstegen M.W.A., Tamimminga S., Li S., Schulze H. 1998. Guanidinated protein test meals with higher concentration of soybean trypsin inhibitors increase ileal recoveries of endogenous amino acids in pigs. *J. Nutr.* 128:598-605.
- Caine W.R., Tamminga S., Verstegen M.A.W., Sauer W.C., Schulze H. 1997a. Endogenous recoveries and the true ileal digestibilities of amino acids in newly weaned piglets fed diets with protease-treated soybean meal. *J. Anim. Sci.* 75:2970-2979.
- Caine W.R., Sauer W.C., Tamminga S., Verstegen M.W.A., Shulze H. 1997b. Apparent ileal digestibility of amino acids in newly weaned pigs fed diets with protease-treated soybean meal. *J. Anim. Sci.* 75:2962-2969.
- Cera K. R., Mahan D.C., Cross R.F., Reinhart G.A., Whitmayer R.E. 1988. Effect of age, weaning and postweaning diet on small intestinal growth and jejunal morphology in young swine. *J. Anim. Sci.* 66:574-584.



- Cordero A.M.R. 2003. Efecto de la pasta de soya sobre la capacidad digestiva de lechones destetados y cerdos en crecimiento. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. 64 p.
- Cranwell P.D. 1995. Development of the neonatal gut and enzyme systems. En: Varley M.A., editor. Wallingford. CAB International. p. 99-154.
- Darragh A.J., Hodgkinson S.M. 2000. Criteria and significance of dietary protein sources in humans. Quantifying the digestibility of dietary protein. *J. Nutr.* 130:1850-1856.
- Dashak D.A., Fali C.N. 1993. Chemical composition of four varieties of Nigerian bannised (*Sesamum indium*). *Food Chem.* 47:253-255.
- de Lange C.M.F, Schereurs H. W. E. 1995. Principles of model application. In *Modeling growth in the pig*, Moughan P.J., Verstegen M.W.A., Visser-Reyneveld, Eds., Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands, 187 p.
- de Lange C.M.F., Souffrant W.B., Sauer W.C. 1990. Real ileal protein and amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs as determine with the 15 N-Isotope dilution technique. *J. Anim. Sci.* 68:409-418.
- de Lange C.M.F., Sauer W.C., Mosenthin R., Souffrant W.B. 1989. The effect of feeding different protein-free diets on the recovery and amino acid composition of endogenous protein collected from the distal ileum and feces in pigs. *J. Anim. Sci.* 67:746-754.
- de Lange C.F.M., Coudenys K.T. 1996. Interaction between nutrition and the expression of performance potentials in grower-finisher pigs. En *National Swine Improvement Federation Conference*. National Swine Improvement Federation. North Carolina State University, Raleigh. NC. 36 p.
- Diario Oficial de la Federación. 2001. 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.

- Eford R.C., Armstrong W.D., Herman D.L. 1982. The development of digestive capacity in the young pigs: Effect of weaning regimen and dietary treatment. *J. Anim. Sci.* 55:1371-1379.
- Fan M.Z., Sauer W.C., McBurney M.I. 1995. Estimation by regression analysis of endogenous amino acid levels in digesta collected from the distal ileum of pigs. *J. Anim. Sci.* 73:2319-2328.
- Fan M.Z., Stoll B., Jiang R., Burrin D.G. 2001. Enterocyte digestive enzyme activity along the crypt-villus and longitudinal axes in the neonatal pig small intestine. *J. Anim. Sci.* 79:371-381.
- Fenton T.W., Fenton M. 1979. An improved procedure for determination of chromic oxide in feed and feces. *Can. J. Anim. Sci.* 59:631-634.
- Folk J., Piez K., Carroll W., Gladner J. 1960. Carboxipeptidase B V. Purification and characterization of the porcine enzyme. *J. Biol. Chem.* 235:2272-2277.
- Friesen K.G., Nelssen J.L., Goodband R.D., Behnke K.C., Kats L.J. 1993. 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.* 71:2089-2098.
- Fuller M.F., Reeds P.J. 1998. Nitrogen cycling in the gut. *Annu. Rev. Nutr.* 18:385-411.
- Furuya S., Kaji Y. 1989. Estimation of the true ileal digestibility of amino acids and nitrogen from their apparent values for growing pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.* 26:271-285.
- Gay C.C., Barker I.K., Moore P. 1976. Changes in piglet intestinal villous structure and intestinal enzyme activity associated with weaning. In: Brandt WE, Glock RD, Harris DL, Hutton NE, Lennon AD (eds) *Proceedings of the IV<sup>th</sup> IPVS Congress*. American Association of Swine Practitioners, College of Veterinary Medicine. Iowa State University. 5:11.

- Gill B.P., Mellange J., Rooke A.J. 2000. Growth performance and apparent nutrient digestibility in weaned piglets offered wheat, barley or sugar beet pulp-based diets supplemented with food enzymes. *J. Anim. Sci.* 70:107-118.
- Grala W., Verstegen M.W.A., van Leeuwen P., Huisman J., Jansman A.J.M., Tamminga S. 1997. Nitrogen balance of pigs as affected by feedstuffs causing different endogenous nitrogen flow at the terminal ileum. *Liv. Prod. Sci.* 48:143-155.
- Gray G.M., Santiago N.A. 1977. Intestinal surface amino-oligopeptidases. *J. Biol. Chem.* 252:4922-4928.
- Guyton A.C., Hall J.E. 2003. *Tratado de Fisiología Médica*. 10<sup>a</sup> ed. Edit: Mc Graw-Hill. Pennsylvania, USA. p. 888-907.
- Hampson D.J. 1986. Alterations in piglet small intestinal structure at weaning. *Res Vet Sci* 40:32-40.
- Hampson D.J., Kidder D.E. 1986. Influence of creep feeding and weaning on brush border enzyme activities in the piglet small intestine. *Res. Vet. Sci.* 40:24-31.
- Hedemann M.S., Eskildsen M., Lærke H.N., Pedersen C., Lindberg J.E., Laurinen P., Bach Knudsen K.E. 2006. Intestinal morphology and enzymatic activity in newly weaned pigs fed contrasting fiber concentration and fiber properties. *J. Anim. Sci.* 84:1375-1387.
- Hedemann M.S., Hojsgaard S., Jensen B.B. 2003. Small intestinal morphology and activity of intestinal peptidases in piglets around weaning. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 87:32-41.
- Henderson J.H. Ricker R.D. Bidlingmeyer B.A. Woodward C. 2000. Rapid, accurate and reproducible HPLC analysis of amino acids. Amino acid analysis using Zorbax Eclipse AAA columns and the Agilent 1100 HPLC. Agilent technologies Part No. 5980-1193E, 10 p.
- Herkelman K.L., Cromwell G.L., Stahly T.S., Pfeiffer T.W., Knabe D.A. 1992. Apparent digestibility of amino acids in raw and heated conventional and low-trypsin-inhibitor soybeans for pigs. *J. Anim. Sci.* 70:818-826.

- Hess V, Sève B. 1999. Effects of body weight and feed intake level on basal ileal endogenous losses in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 77:3281-3288.
- Hodgkinson S.M., Souffrant W.B., Moughan P.J. 2003. Comparison of the enzyme-hydrolyzed casein, guanidination, and isotope dilution methods for determining ileal endogenous protein flow in the growing rat and pig. *J. Anim. Sci.* 81:2525-2534.
- Huisman J., Jansman A.J.M. 1991. Dietary effects and some analytical aspects for antinutritional factors in peas (*Pisium sativum*), common beans (*Phaseolus vulgaris*) and soybeans (*Glycine max L*) in monogastric farm animals. A literature review. *Nutr. Abstr. Rev. (Series B)*. 61:901-921.
- Hynes R.O. 1992. Integrins: Versatility, modulation, and signaling in cell adhesion. *Cell*. 69:11-25.
- Jansman A.J.M., Smink W., van Leeuwen P., Rademacher M. 2002. Evaluation through literature data of the amount and amino acid composition of basal endogenous crude protein at the terminal ileum of pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.* 98:49-60.
- Jensen A.R., Elnif J., Burrin D.G., Sangild P.T. 2001. Development of intestinal immunoglobulin absorption and enzyme activities in neonatal pigs is diet dependent. *J. Nutr.* 131:3259-3265.
- Jensen M.S., Jensen S.K., Jakobsen K. 1997. Development of digestive enzymes in pigs with emphasis on lipolytic activity in the stomach and pancreas. *J. Anim. Sci.* 75:2128-2137.
- Karr-Lilienthal L.K., Merchen N.R., Grieshop C.M., Flahaven M.A., Mahan D.C., Fastinger N.D., Watts M., Fahey G.C. 2004. Ileal amino acid digestibilities by pigs fed soybean meal from five major soybean-producing countries. *J. Anim. Sci.* 82:3198-3209.
- Kelly D., King T.P. 2001. Digestive physiology and development pigs. En: *The weaner pig, nutrition and management*. CABI publishing. Edited by M.A. Varley y J, Wiseman. p. 179 – 206.

- Kelly D., Smyth J.A., McCracken K.J., 1991. Digestive development of the early-weaned pig. 2. Effect of level of food intake on digestive enzyme activity during the immediate post-weaning period. *Br. J. Nutr.* 65:181-188.
- Kim Y.S., Brophy E.J. 1976. Rat intestinal brush border membrane peptidases. *J. Biol. Chem.* 251:3199-3205.
- Koong L.J., Nienaber J.A., Mersmann J. 1983. Effects of plane of nutrition on organ size and fasting heat production in genetically obese and lean pigs. *J. Nutr.* 113:1626-1631.
- Lallès J.P., Toullec R. 1996. Digestion des protéines végétales et hypersensibilité digestive chez le veau prèrumiant. *INRA. Prod. Anim.* 9:255-264.
- Lallès J.P., Boundry G., Favier C., Le Floc'h N., Luron I., Montagne L., Oswald I.P., Pié S., Piel C., Sève B. 2004. Gut function and dysfunction in young pigs: physiology. *Anim. Res.* 53:301-316.
- Lapine A.J., Mahan D.C., Chung Y.K. 1991. Growth performance of weanling pigs fed corn – soybean meal diets with or without dried whey at various L – Lysine HCl levels. *J. Anim. Sci.* 69:2026-2032.
- Lapp C.A., O'Conner J.L. 1984. Peptidase activity in the hypothalamus of the rat: Utilization of leucine-p-nitroanilide to monitor activity degrading luteinizing hormone releasing hormone. *Biol. Rep.* 30:848-854.
- Leterme P., Froidmont E., Rossi F., Théwis A. 1998. the high water holding capacity of pea inner fibers affects the ileal flow of endogenous amino acids in pigs. *J. Agric. Food Chem.* 46:1927-1934.
- Leterme P. 2001. Las pérdidas endógenas hasta el ileon del cerdo. Origen, factores de variación y métodos de determinación. *Acta agronómica.* 65:45-54.
- Li D.F., Nelssen J.L., Reddy P.G., Blecha F., Klem R.D., Gientsing D.W., Hancock J.D., Allee G.L., Goodband R.D. 1991. Measuring suitability of soybean products for early weaned pigs with immunological criteria. *J. Anim. Sci.* 69:3299-3307.

- Low A.G. 1980. Nutrient absorption in pigs. *J. Sci. Food. Agric.* 31:1087-1130.
- Lowry O H, Rosebrough N J, Farr A L. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193:263-270.
- Machiels D., Istasse L. 2002. La réaction de Maillard: Importance et applications en chimie des aliments. *Ann. Méd. Vét.* 146:347-352.
- Mahan D.C. 1993. Evaluating two sources of dried whey and the effects of replacing the corn and dried whey component with corn gluten meal and lactose in the diets of weanling swine. *J. Anim. Sci.* 71:2860-2866.
- Makkink C.A., Berntsen P.J.M., op den Kamp B.M.L., Kemp B., Verstegen W.A. 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.
- Makkink C.A., Heinz T., Souffrant W.B., Verstegen M.W.A. 1997, Endogenous N losses at the terminal ileum of young piglets fed diets based on four different protein sources. *J. Anim. Feed Sci.* 6:219-234.
- Marion J., Biernat M., Thomas F., Savary G., Le Breton Y., Zabielsky R., Le Huërrou-Luron I., Le Divich J. 2002. Small intestine growth and morphometry in piglets weaned at 7 days of age. Effects of level of energy intake. *Reprod. Nutr. Dev.* 42:339-354.
- Mariscal L.G., Reis de Souza T.C. 2007. Digestibilidad ileal de la proteína y aminoácidos en lechones recién destetados. Primer Seminario de Actualización en el Uso de Aminoácidos Cristalinos: Eficiencia Energética. México. Querétaro.
- Mariscal-Landín G., Reis de Souza T.C. 2006. Endogenous ileal losses of nitrogen and amino acids in pigs and piglets fed graded levels of casein. *Arch. Anim. Nutr.* 60:454-466.
- McCracken K.J., Kelly D. 1993. Development of digestive function and nutrition/disease interactions in the weaned pig. In: Farrell, D.J, editors. Recent advances in animal nutrition in Australia. Department of Biochemistry, Microbiology and Nutrition, University of New England, Armidale, Australia. p. 182-192.

- Miller B.G., James P.S., Smith M.W., Bourne F.J. 1986. Effect of weaning on the capacity of pig intestinal villi to digest and absorb nutrients. *J. Agric. Sci. Camb.* 107:579-589.
- Montagne L., Toullec R., Lallès J.P. 2001. Intestinal digestion of dietary and endogenous proteins along the small intestine of calves fed soybean or potato. *J. Anim. Sci.* 79:2719-2730.
- Montagne L., Pluske J.R., Hampson D.J. 2003. A review of interactions between dietary fiber and intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non – ruminant animals. *Anim. Feed. Sci. Technol* 108:95-117.
- Mosenthin R. 2002. Current concepts of protein digestion and absorption in the pig. Review. *Veterinarija ir Zootechnika.* 20: 30-38.
- Nabuurs M.J.A., Hoogendoorn A., van der Molen E.J., van Osta A.L.M. 1993. Villus height and crypt depth in weaned and unweaned pigs, reared under various circumstances in the netherlands. *Res. Vet. Sci.* 55 :78-84.
- Nissen S. 1992. Modern methods in protein nutrition and metabolism. Academic press. Inc. p. 90-120.
- NRC. 1998. Nutrient requirements of swine. 10<sup>th</sup> Ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Nuñez M.C., Bueno J.D., Ayudarte M.V., Almendros A., Rios A., Suarez M.D., Gil A. 1996. Dietary restrictions induces biochemical and morphometric changes in the small intestine of nursing piglets. *J. Nutr.* 126:933-944.
- Nyachoti C.M., de Lange C.F.M., Schulze H. 1997. Estimating endogenous amino acid flows at the terminal ileum and true ileal amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs using the homoarginine method. *J. Anim. Sci.* 75:3206-3213.
- Nyachoti C.M. 1998. Significance of endogenous gut protein losses in growing pigs. PhD. Thesis. Department of animal and poultry science. University of Guelph. Guelph. Ontario. Canada.

- Pácha J. 2000. Development of intestinal transport function in mammals. *Physiol. Rev.* 80:1633-1667.
- Partridge G. 2001. The weaner pig - enzyme and biotechnology for the future. In: Varley MA, Wiseman J, editors. New York CABI Publishing. p. 123-152.
- Pedersen C., Boisen S., Fernández J.A. 2002. Studies on the effect of dietary crude protein supply on the composition of ileal endogenous crude protein loss in growing pigs. *Arch. Anim. Sci.* 52:141-149.
- Pluske J.R., Hampson D.J., Williams I.H. 1997. Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaning pig: a review. *Liv. Prod. Sci.* 51:215-236.
- Pluske J.R., Williams I.H., Aherne F.X. 1995. Nutrition of the neonatal pig. In: Varley MA, editor. *The neonatal pig: development and survival*. 1st ed. CAB International. p. 187-235.
- Pluske J.R., Pethick D.W., Mullan B.P. 1998. Differential effects of feeding fermentable carbohydrate to growing pigs on performance, gut size, and slaughter characteristics. *J. Anim. Sci.* 67:147-156.
- Quiniou N., Noblet J. 1995. Prediction of tissular body composition from protein and lipid deposition in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 73:1567-1575.
- Rama Rao S.V., Raju M.V.L.N., Panda A.K., Poonam N.S., Shyam Sunder g., Sharma R.P. 2008. Utilization of sesame (*Sesamum indicum*) seed meal in broiler chicken diets. *Br. Poul. Sci.* 49:81-85.
- Rantzer D., Kiela P. 1997. Pancreatic exocrine secretion during the first days after weaning in pigs. *J. Anim. Sci.* 75:1324-1331.
- Reboud J.P., Ben A.A., Desnuelle P. 1962. Variations de la teneur en enzymes de páncreas de rat en fonction de la composition des régimes. *Bioch. Biophys. Acta.* 58:326-327.
- Reis de Souza T.C., Mar B.B., Mariscal L.G. 2000. Canulación de cerdos posdestete para pruebas de digestibilidad ileal: Desarrollo de una metodología. *Tec. Pecu. Méx.* 38:143-150.



- Reis de Souza T.C., Mariscal L.G., Aguilera B.A. 2002. Empleo de dos fuentes de lactosa en la dieta de lechones y sus efectos en el aparato digestivo. *Tec. Pec. Méx.* 40:299-308.
- Reis de Souza T.C., Guerrero M.J.C, Aguilera B.A.; Mariscal L.G.; 2005. Efecto de diferentes cereales sobre la morfología intestinal de lechones recién destetados. *Tec. Pec. Méx.* 43:309-321.
- Salgado P., Freire L.P.B., Mourato M., Cabral F., Toullec R., Lallès J.P. 2002. Comparative effects of different legume protein sources in weaning piglets: Nutrient digestibility, intestinal morphology and digestive enzymes. *Liv. Prod. Sci.* 74:191-2002.
- Sangild P.T. 2001. Transitions in the life of the gut at birth. In. 8<sup>th</sup> Symposium of the digestive physiology of pigs. Lindberg J.E. and Ogle B. editors. Cabi Publishing. p. 3-17.
- Sangild P.T., Fowden A.L, Trahair J.F. 2000. How does the foetal gastrointestinal tract develop in preparation for enteral nutrition after birth?. *Liv. Prod. Sci.* 66:141-1450.
- Sangild P.T., Cranwell P. D., Sørensen H., Mortensen K., Noren O., Wetteberg L., Sjöström H. 1991. Development of intestinal disaccharidases, intestinal peptidases and pancreatic proteases in suckling pigs. The effects of age and ACTH treatment. In: Verstegen, M. W. A.; Huisman, J.; Hartog, L. A. den (eds), *Proceedings of the 5th International Symposium on Digestive Physiology in Pigs.* EAAP Publication no. 54, Wageningen, The Netherlands. p. 73-78.
- Sangild P.T., Petersen Y.M., Schmidt M., Elnif J., Petersen T.K., Buddington R.K., Greisen G., Michaelsen K.F., Burrin D.G. 2002. Preterm birth affects the intestinal response to parenteral and enteral nutrition in newborn pigs. *J. Nutr.* 132:3786-3794.
- SAS. 1990 SAS/STAT User's Guide (Version 6, 4<sup>th</sup> Ed.). Cary NC: SAS Inst Inc.
- Sato T., Aye M., Katsuta M. 2004. Nondestructive near-infrared reflectance spectroscopic analyses of the major constituents of sesame whole seeds with different coat color. *Plant Prod. Sci.* 7:363-366.

- Sauer W.C., Fan M.Z., Mosenthin R., Drochner W. 2000. Methods for measuring ileal amino acid digestibility in pigs. En: Farm animal metabolism and nutrition. Editado por J.P.F D'Mello. p. 279 -306.
- Smiricky M.R., Grieshop C.M., Albin D.M., Wubben J.E., Gabert V.M., Fahey Jr. G.C. 2002. The influence of soy oligosaccharides on apparent and true ileal digestibilities and fecal consistency in growing pigs. J. Anim. Sci. 80:2433-2441.
- Souffrant W.B., Rérat A., Laplace J.P., Darcy – Vrillon B., Köhler K., Corring T., Gebhardt G. 1993. Exogenous and endogenous contribution to nitrogen fluxes in the digestive tract of pigs fed casein diet. III. Recycling of endogenous nitrogen. Reprod. Nutr. Dev. 33:373-382.
- Stein H.H., Kim S.W., Nielsen T.T., Easter R.A. 2001. Standardized ileal protein and amino acid digestibility by growing pigs and sows. J. Anim. Sci. 79:2113-2122.
- Stein H.H., Sève B., Fuller M.F., Moughan P.J., de Lange C.F.M. 2006. Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. J. Anim. Sci. 85:172-180.
- Stein H.H. 2007. Effect of Age on Nutrient Digestibility (Metabolism). En: Primer Seminario de Actualización en el Uso de Aminoácidos Cristalinos: Eficiencia Energética. Querétaro. México.
- Steel R.G.D., Torrie J.H. 1980. Principles and procedures of statistics. A Biometrical approach. 2<sup>nd</sup> Edition. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd.
- Tasman-Jones C., Owen R.L., Jones A. L. 1982. Semi purified dietary fiber and small-bowel morphology in rats. Dig. Dis. Sci. 27:519-524.
- Upjeet K., Simran K., Akhtar M., Navneet A. 2001. Activity of brush border membrane enzymes in proximal jejunum of portal hypertensive rats. J. Gastroenterol. 36:407-409.
- van der Poel A.F.B., den Hartog L.A., van Stiphout W.A.A., Bremmers R., Huisman J. 1990. Effects of extrusion of maize on ileal and fecal digestibility of nutrients and performance of young piglets. Anim. Feed Sci. Tech. 29:309-320.

- van Heugten E.V., Spears J.W. 1997. Immune response and growth of stressed weanling pigs fed diets supplemented with organic or inorganic forms of chromium. *J. Anim. Sci.* 75:409-416.
- van Soest P.J., Robertson J., Lewis B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy. Sci.* 74:3583 – 3594.
- Viljoen J., Coetzee S.E., Fick J.C., Siebrits F.K., Hayes J.P. 1998. The ileal amino acid digestibility of different protein sources for early weaned piglets. *Liv. Prod. Sci.* 54:45-53.
- Woodworth J.C., Tokach M. D., Goodband R.D., Nelssen J.L., O'Quinn P.R., Knabe A., Said N.W. 2001. Apparent Ileal Digestibility of amino acids and the digestible and metabolizable energy content of dry extruded-expelled soybean meal and its effects on growth performance of pigs. *J. Anim. Sci.* 79:1280-1287.
- Wu G., Paula K.D., Flynn N.E., Knabe D.A., Davidson J.T. 1997. Endogenous synthesis of arginine plays an important role in maintaining arginine homeostasis in postweaning-growing pigs. *J. Nutr.* 127:2343-2349.
- Xianhong G., Defa L., Ruiping S. 2002. Effect of weaning on small intestinal structure and function in the piglet. *Arch. Anim. Nutr.* 56:275-286.
- Zijlstra R.T., de Lange C.F.M., Patience J.F. 1999. Nutritional value of wheat for growing pigs: chemical composition and digestible energy content. *Can. J. Anim. Sci.* 79:187-194.