

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES  
DOCTORADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**PASTA DE AJONJOLÍ (*Sesamum indicum*) UN ALIMENTO  
PROTEICO PARA CERDOS Y LECHONES RECIÉN  
DESTETADOS CON BASE A SUS CARACTERÍSTICAS  
QUÍMICAS Y A LA RESPUESTA FISIOLÓGICA DEL  
APARATO DIGESTIVO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE**

**DOCTOR EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**PRESENTA**

**M. en C. ARACELI AGUILERA BARREYRO**

**DIRECTORA DE TESIS: DRA. TÉRCIA CESÁRIA REIS DE SOUZA  
CODIRECTOR DE TESIS: DR. GERARDO MARISCAL LANDÍN**

**QUERÉTARO, QRO.**

**JUNIO 2014**



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ciencias Naturales  
Doctorado en Ciencias Biológicas

**PASTA DE AJONJOLÍ (*Sesamum indicum*) UN ALIMENTO PROTEICO  
PARA CERDOS Y LECHONES RECIÉN DESTETADOS CON BASE A SUS  
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y A LA RESPUESTA FISIOLÓGICA DEL  
APARATO DIGESTIVO**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de  
Doctorado en Ciencias Biológicas

Presenta:

M. en C. Araceli Aguilera Barreyro

Dirigida por:

Dra. Tércia Cesária Reis de Souza

Dra. Tércia Cesária Reis de Souza  
Presidente

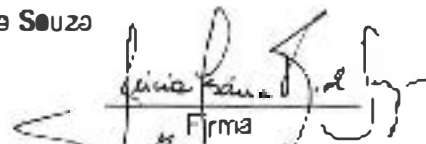
Dr. Gerardo Manscal Landín  
Secretario

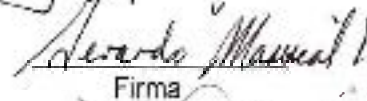
Dra. María Guadalupe Bernal Santos  
Vocal

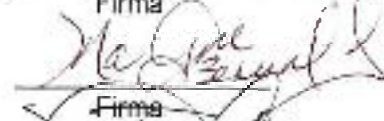
Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca  
Suplente

Dra. Leonor Sancinés García  
Suplente

Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca  
Director de la Facultad

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

Dr. Irineo Torres Pacheco  
Director de Investigación y Posgrado

## RESUMEN

La producción pecuaria implica la transformación de alimentos por el animal para satisfacer las necesidades proteicas del humano. Para que la producción animal se vea favorecida económica y productivamente es necesario conocer las características químicas, nutritivas y digestibles de ingredientes alternativos para la alimentación animal, ya que los costos por alimentación son alrededor del 75% del total de la producción. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar a la pasta de ajonjolí (PA) desde sus características químicas hasta su efecto como ingrediente proteico en dietas para cerdos sobre su digestibilidad íleal aparente (DIA) y estandarizada (DIE), y las adaptaciones morfofisiológicas del tracto gastrointestinal (TG) del lechón. El proyecto estuvo conformado por cuatro etapas experimentales: 1) Caracterización química de PA, 2) Digestibilidad de PA en lechones destetados; 3) Digestibilidad de PA en cerdos, y 4) Evaluación del efecto de la PA sobre la morfofisiología del TG de lechones destetados. La PA mostró alto contenido en proteína cruda (PC), arginina, aminoácidos azufrados, extracto etéreo, fibra detergente neutra y ácido fítico, y una baja actividad inhibitoria de tripsina en comparación con las pastas de soya (PS) y canola (PCA). Las proteínas dominantes de la PA son del tipo globulinas y glutelinas básicas. Al realizar la separación electroforética de las proteínas de la PA se observó una gran dominancia de proteínas de bajo (<20 kDa) (30.2%) y medio (20 a 60 kDa) (53.4%) peso molecular. Al incluir PA en dietas y comparándose con dietas con PS se observó que la DIA y DIE de PC en cerdos fueron mayores en la PA, y para lechones la DIA y DIE de PC y aminoácidos no fue diferente entre ambas pastas, a excepción de la lisina que fue mayor en la PS. Al evaluar los cambios morfofisiológicos del TG de lechones alimentados con dietas conteniendo PA, se encontró que estas dietas no afectaron la incidencia ni la severidad de las diarreas, el crecimiento de los órganos digestivos, la actividad de proteasas pancreáticas ni la integridad intestinal. Bajo las condiciones del presente estudio, se concluye que la PA es una fuente de proteína alternativa para incluirse en dietas para lechones y cerdos.

**(Palabras clave:** pastas de oleaginosas, composición química, fracciones de proteína, digestibilidad ileal estandarizada, morfofisiología, lechones, cerdos)

## **ABSTRACT**

Livestock production involves the transformation feedstuffs by the animal to meet human protein requirements. In order for production to be efficient, it is necessary to know the chemical, nutritional and digestibility properties of alternative feed ingredients, since feeding represents around 75% of total production costs. The purpose of this study was to evaluate the chemical composition of sesame expellers (SE) and its effect as a protein source in diets for pigs on apparent ileal digestibility (AID) and standardized digestibility (SID), as well as on the morphophysiological adaptations in the gastrointestinal tract (GIT) of weaned piglets. Study consisted of four experiments: 1) SE chemical characterization; 2) Digestibility of SE in weaned piglets; 3) Digestibility of SE in growing pigs; and 4) Evaluation of effects of SE on the morphophysiology of the GIT of weaned piglets. SE was high in crude protein (CP), arginine, sulfur amino acids, ether extract, neutral detergent fibre and phytic acid and low trypsin inhibitory activity, compared with soybean meal (SBM) and canola meal (CM). Sesame proteins dominant were globulins and basic glutelin. Electrophoretic separation of SE protein indicated an important dominance of proteins of low (<20 kDa) (30.2%) and medium (20 to 60 kDa) (53.4%) molecular weight. In finishing pigs AID and SID of CP were higher in SE than in SBM, while in piglets the AID and SID of CP and amino acids were not different between SE and SBM, except for lysine which was higher in SBM. There were no differences in the morphophysiology of the GIT of piglets fed diets containing SE with respect to those based on SBM, and it was also found that these diets did not affect the incidence or severity of diarrhea, or the activity of pancreatic proteases. Under the conditions of this study, it can be concluded that SE is a good alternative source of protein in diets for piglets and pigs.

**(Keywords:** oil meals, chemical composition, protein fractions, standardized ileal digestibility, morphophysiology, piglets, pigs)

## DEDICATORIA

***A mí amada familia: Saúl, Berenice y Benjamín.  
Gracias por su amor, comprensión y apoyo***

***A mis padres y hermanas con mucho cariño***

***A mi abuelita Virgen que siempre está en mi corazón***

## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **Mis sinodales:**

El logro de esta tesis fue gracias al apoyo incondicional de mi Directora de Tesis y gran amiga la Dra. Tércia Cesárea Reis de Souza, quien supo encausar mi inquietud de conocer y querer la especie tan amada por ella: el cerdo.

Es muy importante agradecer a mi Codirector el Dr. Gerardo Mariscal Landín, quien siempre fue entusiasta y oportuno en sus comentarios para enriquecer la ejecución y la escritura de este trabajo de tesis.

Agradezco de manera muy especial todos los oportunos comentarios sobre mi trabajo de tesis, así como del apoyo incondicional de la Dra. María Guadalupe Bernal Santos a quien tengo el gusto de conocer desde hace ya varias décadas y que he tenido la fortuna de contar con su amistad. Así mismo, agradezco todo el apoyo de la Dra. Margarita Teresa García Gasca, ya que durante el desarrollo de este trabajo tuve abiertas las puertas de su laboratorio donde siempre recibí apoyo técnico, así como de contar con reactivos, materiales y equipos necesarios para la realización de las electroforesis.

Un agradecimiento muy especial a la Dra. Leonor Sanginés García quien me motivó desde hace varios años a realizar mi doctorado, de quien además de recibir apoyo en mi aprendizaje profesional he tenido la fortuna de contar con su amistad desde hace ya muchos años.

### **A mis compañeros y amigos:**

M. en C. María de Jesús Guerrero Carrillo, M. en C. Konisgmar Escobar García y M. en C. José Guadalupe Gómez Soto por su apoyo moral, en el laboratorio, en la operación de mis adorados lechones y sobre todo de su incondicional amistad.

### **A mis alumnos:**

Gracias a todos los alumnos que trabajaron hombro a hombro conmigo para llevar a buen término este trabajo, en especial a Luis Enrique Díaz Zepeda quien fue un gran apoyo en la separación y análisis de proteínas.

**A los directores de la Facultad de Ciencias Naturales:**

M. en C. Jaime Ángeles Ángeles, Dr. Germinal Jorge Cantó Alarcón y Dra. Margarita Teresa García Gasca, gracias por todo el apoyo otorgado para poder culminar mis estudios de Doctorado.

**A la Coordinación de Becas y a la Universidad Autónoma de**

**Querétaro:**

Agradezco todo el apoyo brindado durante estos últimos casi cinco años para poder realizar y culminar mis estudios de doctorado.

**Al CENID-Fisiología del Instituto Nacional de Investigación Forestal y**

**Agropecuaria:**

Gracias por todo el apoyo brindado en cuanto a las instalaciones para poder realizar los experimentos de digestibilidad.

Sin querer olvidar a nadie, gracias a todas las personas que de una u otra manera estuvieron apoyándome moral o técnicamente, pues sin ellas este trabajo no podría haber finalizado.

**In memoriam:**

Un agradecimiento muy especial al Dr. Fernando Pérez-Gil Romo quien creyó en mí desde que terminé mi licenciatura y del que siempre recibí apoyo para mi aprendizaje profesional y personal. Gracias por su gran calidad humana y por ser como fue y por haberme brindado su cariño y amistad incondicional.

**A mi familia:**

A mi familia que me apoyó durante este proceso y que sufrieron mis ausencias y mis desvelos, *GRACIAS*.



## INDICE GENERAL

CONTENIDO	Página
RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
III. OBJETIVOS	25
IV. LITERATURA CITADA	26
V. METODOLOGÍA	38
<b>CAPÍTULO 1.</b> Composición química y fracciones de proteínas de la pasta de ajonjolí, soya y canola.	39
<b>CAPÍTULO 2.</b> Standardized ileal digestibility of proteins and amino acids in sesame expellers and soybean meals in weaning pigs.	74
<b>CAPÍTULO 3.</b> Standardized ileal digestibility of proteins and amino acids in sesame expellers and soybean meals in finishing pigs.	95
<b>CAPÍTULO 4.</b> Morphophysiological adaptations of the gastrointestinal tract in piglets fed a sesame meal or soybean meal diet.	115
VI. CONCLUSIONES GENERALES	133
VII. IMPLICACIONES	134

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>II. ANTECEDENTES:</b>	
<b>FIGURA II.1.</b> Insumos nacionales e importados empleados en la fabricación de alimentos balanceados en México.	4
<b>FIGURA II.2.</b> Estados productores de soya.	6
<b>FIGURA II.3.</b> Estados productores de ajonjolí.	9
<b>FIGURA II.4.</b> Estados productores de canola.	12
<b>CAPÍTULO 1:</b>	
<b>FIGURA 1.1.</b> Fraccionamiento de proteínas.	45
<b>FIGURA 1.2.</b> Perfil electroforético de fracciones de proteína de pastas de oleaginosas.	50
<b>FIGURA 1.3.</b> Distribución de fracciones de proteína (%) de pastas de oleaginosas sin fraccionar por rangos de peso molecular.	51

## ÍNDICE DE TABLAS (TABLES)

<b>CAPÍTULO 1:</b>	
<b>TABLA 1.1.</b> Composición química de las pastas de oleaginosas.	47
<b>TABLA 1.2.</b> Perfil de ácidos grasos de pastas de oleaginosas (g/100 g MS).	48
<b>TABLA 1.3.</b> Perfil de aminoácidos de pastas de oleaginosas (g/100 g MS).	49
<b>TABLA 1.4.</b> Fracciones de proteína de pastas de oleaginosas (g/100 g de proteína soluble).	50
<b>TABLA 1.5</b> Fracciones de proteína (%) por rangos de peso molecular de pastas de oleaginosas.	52

## **CAPÍTULO 2:**

<b>TABLE 2.1.</b> Ingredient composition of experimental diets (as DM %).	79
<b>TABLE 2.2.</b> Chemical composition of the ingredients and experimental diets (as DM %).	80
<b>TABLE 2.3.</b> AID and SID of protein and amino acids of experimental diets (% of DM).	84
<b>TABLE 2.4.</b> AID and SID of protein and amino acids of raw material (% of DM).	85

## **CAPÍTULO 3:**

<b>TABLE 3.1.</b> Composition of experimental diets for pigs (% DM).	98
<b>TABLE 3.2.</b> Chemical composition of the ingredients and casein and experimental diets (as DM %).	101
<b>TABLE 3.3.</b> AID of protein and amino acids of experimental diets (% of DM).	102
<b>TABLE 3.4.</b> SID of protein and amino acids of experimental diets (% of DM).	103

## **CAPÍTULO 4:**

<b>TABLE 4.1.</b> Composition of experimental diets (% DM).	117
<b>TABLE 4.2.</b> Chemical composition of raw materials (% DM).	119
<b>TABLE 4.3.</b> Relative weight of digestive organs of piglets fed with C, SM and SBM diets.	122
<b>TABLE 4.4.</b> Digestive content pH and specific activity of pancreatic trypsin and chymotrypsin of piglets fed with C, SM and SBM diets in different hours after feedings.	123
<b>TABLE 4.5.</b> Morphology of intestinal villi of duodenum, jejunum and ileum of piglets fed with C, SM and SBM diets.	124

## I. INTRODUCCIÓN

En otros países la gran mayoría de las dietas para cerdos se formulan con base en la combinación de maíz con pasta de soya. Por otra parte, en México como consecuencia de las presiones para satisfacer el consumo de maíz por la población humana, las dietas se formulan con base en sorgo-soya. Debido al alto precio de la pasta de soya (ingrediente ampliamente utilizado como fuente proteica en la nutrición animal), los porcicultores se ven obligados a buscar ingredientes alternativos. Además de la pasta de soya, existen otras pastas de oleaginosas con potencial alimenticio que pueden reemplazarla, tales como la pasta de ajonjolí y la de canola, ambas ricas en energía y proteína (Hossain y Jauncey, 1990; Diarra y Usman, 2008; Kubmarawa *et al.*, 2008; Jimoh *et al.*, 2011).

Desde hace 10 años en México se impulsó de manera importante la producción de canola para la extracción de aceite (Financiera Rural, 2011), por lo que la disponibilidad de pasta de canola se incrementó en el mercado mexicano, pudiendo reemplazar a la pasta de soya en dietas de cerdos en finalización, siempre que se hagan los ajustes apropiados en la formulación de la ración (Rojo *et al.*, 2001).

La pasta de ajonjolí (PA) es una fuente proteica alternativa con un alto contenido proteico y un bajo nivel de factores antinutricionales (FAN) a excepción del ácido fítico (Hossain y Jauncey, 1990; Jimoh *et al.*, 2011). La proteína del ajonjolí comparada a la de soya es ligeramente baja en lisina, pero rica en metionina, cisteína, arginina y leucina (Hossain y Jauncey, 1990; Diarra y Usman, 2008; Kubmarawa *et al.*, 2008). Adicionalmente, el alto contenido de lignanos (sesamina, sesamolina y sesamolinol) en la PA es importante por sus características nutraceuticas: prevención de síntomas alérgicos (mejora el sistema inmune), antihipertensivas, anticancerígenas, disminuye los niveles de colesterol, y sobre todo proporciona una alta resistencia al deterioro oxidativo por la presencia endógena de agentes antioxidantes junto con los tocoferoles (Moazzami *et al.*, 2006; Namiki, 2007; Miyawaki *et al.*, 2009).

La calidad de las pastas de oleaginosas como fuentes de proteína depende de diversos factores, dentro de los que se encuentran la variedad del cultivo y el método utilizado en su procesamiento, los cuales generalmente emplean calor. El sobrecalentamiento de la pasta genera un efecto negativo sobre la digestibilidad de los aminoácidos; por otro lado, un producto subcalentado también puede producir un efecto negativo de aquellas fuentes que contienen FAN (D'Melo, 2000).

La elección de los ingredientes para la formulación de dietas de iniciación para lechones debe ser cuidadosa, pues éstos tienen que ser de excelente calidad nutricional, ya que durante la lactancia, el sistema enzimático del lechón está adaptado para digerir los nutrientes de la leche, y la absorción de proteínas lácteas, lactosa y lípidos de cadena corta (Reis de Souza y Mariscal-Landín, 1997). Durante el destete existen factores de estrés (cambio de dieta, separación de la madre, competencia por el alimento, cambio de instalaciones, liderazgo, etc.) que se reflejan en un bajo consumo y por ende en un deficiente desarrollo del tracto gastrointestinal, con cambios estructurales y funcionales negativos, como la atrofia de vellosidades e hipertrofia de criptas que provocan una disminución en la capacidad digestiva y de la absorción de nutrientes (Reis de Souza y Mariscal-Landín, 1997; Pluske *et al.*, 1995; Lallés *et al.*, 2004 y 2007). Todo esto produce perturbaciones en el funcionamiento digestivo y en la salud intestinal de los lechones que casi siempre se asocia con una severa depresión del crecimiento y diarrea. Por ello, con frecuencia se agregan dosis subterapéuticas de antibióticos al alimento como medida preventiva contra las diarreas y como promotores de crecimiento. Sin embargo, debido a la prohibición del uso de antibióticos a nivel mundial en la alimentación animal, es necesario evaluar la alimentación del lechón sin la adición de antibiótico y monitorear la incidencia y severidad de las diarreas, ya que aunque en México todavía no es una práctica común, se debe estar preparado para cubrir la demanda en el mercado internacional de carne de cerdo producida sin antibióticos (Heo *et al.*, 2013).

Existe poca información acerca de la inclusión de PA en dietas iniciadoras para lechones y cerdos en crecimiento y sus efectos sobre el aparato digestivo, sobre todo cuando se utilizan dietas libres de antibióticos. Por lo anterior es necesario evaluar su efecto sobre las características morfológicas de los órganos

digestivos, la digestibilidad ileal y total de nutrientes y la desaparición de fracciones de proteína en el tracto digestivo en estas etapas fisiológicas.

## **II. ANTECEDENTES**

La ganadería requiere de recursos alimenticios proteicos de alta calidad que sean regionales y alternativos a los alimentos convencionales, y que al emplearlos a cierto nivel proteico se pueda reducir el empleo de antibióticos, así como de emisiones de nitrógeno y minerales al suelo, para que pueda ser competitiva a nivel internacional.

Se han definido seis grupos principales de alimentos alternativos o no tradicionales para la alimentación animal (Ortíz, 1982; Audifred, 1988; Nieto, 1989):

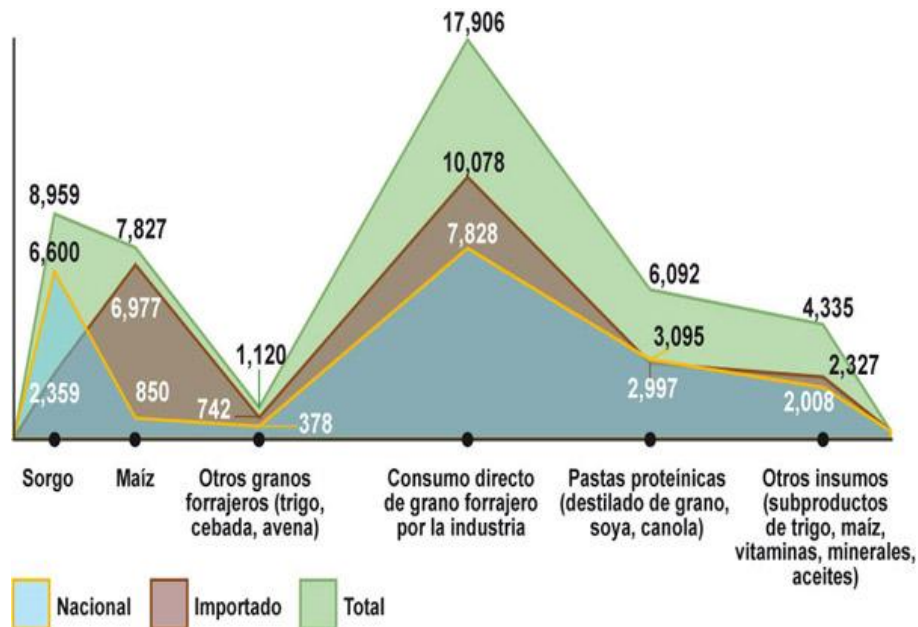
1. Productos de actividades primarias (plantas o sus partes y cultivos subexplotados utilizados de manera directa o con un tratamiento mínimo).
2. Subproductos de actividades primarias (sobrantes de actividades agrícolas, pecuarias, forestales y pesqueras).
3. Subproductos agroindustriales (subproductos de la industria de la carne, leche, alcohólica, caña de azúcar, cereales y oleaginosas).
4. Proteína unicelular (algas, bacterias, hongos y levaduras o algunos productos elaborados con ellos).
5. Desperdicios de consumo humano o animal (desperdicios utilizados de manera directa o procesada).

La mayoría de los recursos alimenticios antes mencionado se encuentran disponibles en México y varios de ellos están actualmente subutilizados, debido a que muchos de estos recursos no están estandarizados en su calidad nutritiva.

En general, el beneficio de emplear alimentos alternativos es diversificar la demanda de ingredientes empleados en la alimentación animal para crear nuevas oportunidades. En lo relativo al precio de los alimentos alternativos, se dice que está asociado al precio del maíz y al de la pasta de soya, así como de la paridad peso:dólar. Por otro lado, también está influenciado por la demanda del alimento, y la demanda depende de su valor nutricional (contenido y digestibilidad de proteína,

de aminoácidos esenciales y energía, y actualmente también de su contenido en sustancias nutraceuticas (Águila, 2009).

La producción de alimentos balanceados requiere de granos forrajeros, maíz amarillo, pastas proteínicas y sorgo entre otros (InfoRural, 2012a) (Figura 1). Sin embargo, existe una gran dependencia de la importación de los mismos. Según FAOSTAT (2014), en 2011 las principales importaciones para el sector pecuario que realizó México fueron: maíz (9,476,171 ton), soya (3,340,376 ton), sorgo (2,380,276 ton) y pasta de soya (1,131,019 ton). México es el principal país importador de pasta de soya de Estados Unidos (Agricultural Statistics, 2012) y ocupa el 4° lugar a nivel mundial en la producción de alimentos balanceados (Altech, 2013). Según proyecciones de USDA (2013) a 2020, México incrementará sus importaciones de cereales y leguminosas provenientes de Estados Unidos: soya 21%, maíz 50% y sorgo 50%, esto con la finalidad de soportar el incremento en la producción de pollo y cerdo, así como la de aceite de soya para uso doméstico.



**Figura II.1.** Insumos nacionales e importados empleados en la fabricación de alimentos balanceados en México.

Entre las causas históricas de la caída de producción de oleaginosas en México se encuentran que la apertura abrupta de los mercados afectó el ingreso de los productores; las políticas públicas estimularon el cultivo de maíz, trigo y sorgo y la falta de investigación agrícola, tanto pública como privada, vedó la generación de semillas resistentes a plagas y enfermedades que afectan a éstos cultivos. Actualmente el gobierno federal ha comenzado a incentivar estos cultivos a través del Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas (CNSPO, 2012), quien elaboró una propuesta mediante el Programa Nacional de Producción de Oleaginosas 2007 – 2012. Su finalidad es resolver los principales problemas que se tienen en la producción de cultivos de oleaginosas, principalmente la dependencia alimentaria de países extranjeros, por lo tanto, el incremento en la producción mexicana de oleaginosas contribuirá a disminuir el grado de dependencia de estas importaciones.

A nivel mundial la producción de oleaginosas ha sufrido un giro importante, pues de ser un recurso exclusivamente para alimentación animal y humana, actualmente es un recurso muy solicitado para la producción de biocombustibles (Anilakumar et al., 2010; Ossa, 2012).

## **II.1 Pastas de oleaginosas para la alimentación de cerdos**

Dentro de los ingredientes proteicos con potencial alimenticio para lechones se encuentra la pasta de soya, de ajonjolí y de canola.

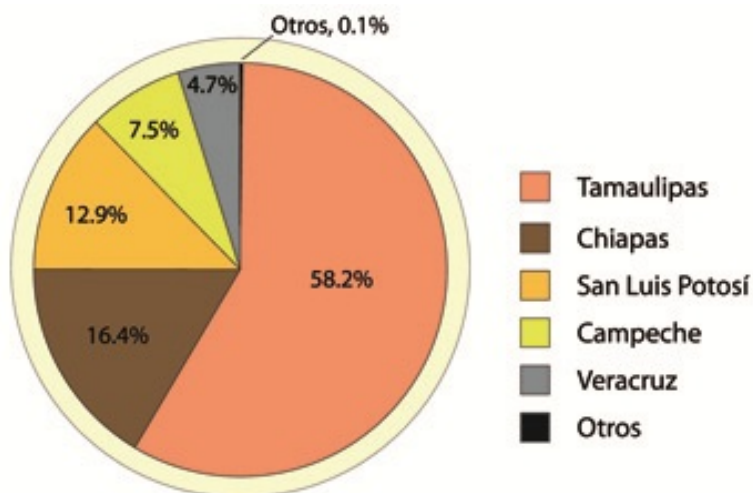
### **II.1.1 Pasta de soya**

La soya fue clasificada científicamente por Linneo como de la familia Fabaceae o Leguminosa, del género *Glycine* y de la especie *G. max*. Originaria de Asia, la soya es la oleaginosa de mayor importancia en el mundo, tanto por los volúmenes comercializados como semilla, como por los importantes subproductos que se obtienen, los que forman parte de una larga serie de cadenas agroindustriales (FAOSTAT, 2014).

México es considerado el cuarto importador de soya a nivel mundial, después de China, la Unión Europea y Japón. Las importaciones de México equivalen a 4.5% de la soya que se comercializa a nivel mundial y en el 2009, se estima que México importó 3.5 millones de toneladas, destinando 98% al sector pecuario, debido a que



la producción es menor a su consumo. Los estados productores de soya en México se muestran en la Figura 2 (CNSPO, 2010a).



**Figura II.2.** Estados productores de soya

El cultivo de soya en México tiene posibilidades de crecimiento en regiones con limitantes de agua para riego, a través de variedades tolerantes a la sequía y mediante la integración de productores con industriales, asociaciones de porcicultores y avicultores (CNSPO, 2010a).

La tendencia alcista de los precios de la soya comenzó desde finales de julio de 2010. Dicha trayectoria reflejó la condición de los inventarios internacionales, los cuales, al verse más apretados presionaron los precios a la alza. Analistas estiman, que los precios futuros mantendrán una tendencia alcista en el corto plazo, debido a la amenaza de clima cálido y seco que sufre la nueva cosecha en el Medio Oeste. Lo anterior, ha despertado inquietudes entre los participantes sobre la cosecha de soya estadounidense, ya que se encuentra en su período de crecimiento más crítico, lo que pone en riesgo la producción y con ello influir en los precios (CNSPO, 2010b).

La pasta de soya es la más demandada entre las oleaginosas, sobre todo por su alto valor proteínico. La pasta de soya se obtiene como un producto residual, del proceso de obtención del aceite, se caracteriza por su enorme cantidad de proteínas y minerales que se mantienen aún después del proceso. Los pasos que se utilizan para la obtención de la pasta de soya, en una industria nacional, van desde la recepción del grano, almacenaje, limpieza, quebrado, descascarillado, cocción,

hojuelado, extracción del aceite por solventes, desolventizador y de esta manera se obtiene la pasta (de Luna, 2007).

El procesamiento también produce una pasta de soya color café oscuro, por lo que la presencia de este color es indicativa de un daño de la proteína por calor. Un exceso de tratamiento de calor puede resultar en la destrucción de los aminoácidos y la formación de los productos de la reacción de Maillard que son biológicamente no utilizables. La reacción de Maillard involucra la condensación de un grupo amino de los aminoácidos con un carbohidrato reductor y de todos los aminoácidos la lisina es la más susceptible a la reacción de Maillard (Oliver *et al.*, 2006; Campabadal, 2014).

La pasta de soya es una fuente proteica convencional conteniendo 44 - 48% de proteína cruda con un alto contenido de lisina (2.7-3%), treonina (1.8%) y triptófano (0.6%), 2% de extracto etéreo, 4 - 7% de fibra cruda, 9-15% fibra detergente neutra (FDN) (van Kempen *et al.*, 2006; Baker, 2007; Cervantes y Stein, 2008; Campabadal, 2014). Presenta una gran cantidad de FAN, los cuales se clasifican en dos categorías, de los que se destruyen fácilmente con la aplicación del calor que incluyen los inhibidores de proteasas como el factor antitripsico (1.8-6.5 mg/g), lectinas (20-600 mg/g), antivitaminas A, D, E y B<sub>12</sub> y proteínas antigénicas como la glicinina (20-70 mg/g) y  $\beta$ - conglucininina (3-40 mg/g) (hipersensibilizantes). También presenta los que no son destruidos por el calor como lo son el ácido fítico (1-2.3%), saponinas (0.6 %), glucósidos cianogénicos, gossipol y taninos (FAO, 1995; Grala *et al.*, 1999; Urbaityte *et al.*, 2009; Jezierny *et al.*, 2011; Gilani *et al.*, 2012).

La presencia de estos factores antinutricionales FAN, principalmente el factor antitripsico reduce la disponibilidad biológica y la digestibilidad de uno o más nutrientes de la pasta de soya, ocasionando disminución del consumo de alimento, de la función digestiva, eficiencia reproductiva y respuesta inmune (Brenes y Brenes, 1993; de Lange *et al.*, 2000).

### **II.1.2 Pasta de ajonjolí**

El ajonjolí fue clasificado científicamente por Linneo como de la familia Pedaliaceae, del género *Sesamum*, teniendo varias especies como la *indicum*, *radiatum*, *mulayanum*, *capense*, *laciniatum*, *latifolium*, *occidentale*, *schinzianum*,

entre otros (Hiremath *et al.*, 2007). Pedaliaceae es una familia de plantas fanerógamas o plantas superiores. Se caracterizan por tener pelos mucilaginosos en tallos y hojas que le dan una sensación fangosa o húmeda, tienen a menudo, frutos con ganchos.

La planta de ajonjolí produce cápsulas con numerosas semillas oleaginosas lisas. Soporta temperaturas de 20 - 35° C, precipitación pluvial 400 y 900 mm, altitud entre 0 - 600 msnm, cultivo poco exigente al tipo de suelo (más aptos, texturas ligeras, pH 5.5–7), rendimientos entre 400 y 600 kilogramos por hectárea (SENASICA, 2010).

No se conoce con precisión el origen del ajonjolí, pero su cultivo se realiza desde tiempos remotos en Etiopía (África) y se expandió a India, China, Japón y los países del Mediterráneo. Con el descubrimiento de América, los españoles trajeron la semilla a México y Centroamérica (FAO, 2006).

En México hasta mediados de los 80s, el cultivo del ajonjolí fue una práctica agrícola que generó divisas para el país, ocupando los primeros lugares de producción. Sin embargo, debido al abandono de la política de los precios de garantía, a la apertura comercial, a la baja en los precios internacionales y al incremento en los costos de producción internos, disminuyó la competitividad de nuestro producto con respecto al extranjero (FAOSTAT, 2014). Hasta 2007, México continuó estando dentro de los 10 países más productores de ajonjolí, solamente que en el lugar 10° y con una mucho menor producción. En los últimos años la producción ha permanecido constante, dando algunos indicios de incrementos en la producción.

La producción de ajonjolí en México se obtiene preferentemente en aquellas entidades donde las condiciones climáticas son generalmente secas, y por lo tanto su cultivo se orienta a zonas temporaleras (Figura 3). No obstante que es un producto que por sus características de calidad es ampliamente reconocido en el mundo y se canaliza en un buen porcentaje a la exportación. No tiene los suficientes apoyos a la investigación y continúan los viejos vicios en la comercialización de esta oleaginosa, donde los productores que se dedican a su cultivo no han sido lo suficientemente capaces de organizarse para responder a las necesidades de los

mercados externos que exigen cada vez más volúmenes, periodos de entrega y calidad (InfoRural, 2012b).

Entre los mayores usos del ajonjolí es la extracción de aceite, del cual se produce como subproducto la pasta de ajonjolí.



**Figura II.3.** Estados productores de ajonjolí

La pasta de ajonjolí (PA) es un subproducto de la industria aceitera, formando parte de las fuentes proteicas vegetales provenientes de oleaginosas empleadas en la alimentación animal (Hiremath *et al.*, 2007). La PA al ser un residuo de la extracción de aceite, presenta una gran inconstancia en su composición, dependiendo de la variedad de la semilla de ajonjolí (Dashak y Fali, 1993), del método de extracción del aceite (mecánica o por solventes) (Kurki *et al.*, 2008) y del tratamiento de la semilla (integral, descortezada, cocida, tostada, etc.) (Jannat *et al.*, 2010).

El proceso de extracción del aceite de ajonjolí y por ende de la producción de la pasta de ajonjolí es el siguiente: recepción, limpieza, preparación y condicionamiento de la semilla (Yoo, 2007). Durante el último paso del proceso se puede llevar a cabo en la semilla, un cocimiento (80 a 160°C durante 20 a 60 min) o un tostado (180 – 200 °C por 10 a 20 min), esto en función del sabor del aceite que se desee producir (Kurki *et al.*, 2008). Los compuestos volátiles formados en el ajonjolí son producidos por la interacción de carbohidratos y proteínas a través del

proceso del tostado, formando compuestos Maillard (Bruggink, 1993; Oliver *et al.*, 2006).

La pasta de ajonjolí, al ser un residuo de la extracción de aceite, presenta una gran cantidad de proteína cruda, que varía entre 45 - 50%, de 10 - 12% de extracto etéreo con extracción mecánica o 1 - 2% con extracción con solventes, 5 - 7% de fibra cruda, 17% FDN y 5 - 12% de cenizas (Egbekun y Ehieze, 1997; Li *et al.*, 2000; Jimoh *et al.*, 2011). El contenido de fibra en la pasta de ajonjolí, va a depender si la semilla se descortezó para la extracción de la grasa, en tal caso su contenido será menor que el de la semilla entera. Se considera un alimento funcional por sus efectos anti-edad, actividad antioxidante e inhibe la absorción de colesterol del intestino y la síntesis en el hígado (Anilakumar *et al.*, 2010).

En cuanto al contenido de FAN, solamente se ha reportado la presencia de ácido fólico (2.4-5%) (Hossain y Jauncey, 1990; Li *et al.*, 2000), oxalatos y factores antigénicos, los cuales son estables al tratamiento térmico (Bruggink, 1993; Panhwar, 2005).

La proteína del ajonjolí es ligeramente baja en lisina, pero rica en otros aminoácidos, especialmente en metionina, cisteína, arginina y leucina (Li *et al.*, 2000; Diarra y Usman, 2008; Kubmarawa *et al.*, 2008). Durante el tostado de la semilla de ajonjolí las proteínas se desnaturalizan, lo que produce un descenso en el valor del Índice de Dispersabilidad de la Proteína (IDP), solubilidad de alrededor del 58% y un aumento de las proteínas agregadas (como consecuencia los niveles de péptidos disminuyen). La actividad antigénica disminuye durante el tostado. Durante el tostado (hasta 220 °C por 20-30 min), se forman proteínas unidas a carbohidratos que pueden resultar en una reacción de Maillard (Bruggink, 1993). En función de lo anteriormente expuesto, queda claro que el proceso de tostado de la semilla de ajonjolí solo beneficia a la calidad del aceite, mientras que la pasta residual se ve afectada (Bruggink, 1993; Oliver *et al.*, 2006).

El aceite de ajonjolí contiene tres lignanos, uno llamado sesamina con propiedades antioxidantes, prevención de síntomas alérgicos (mejora el sistema inmune), antihipertensivas, mejora el perfil del colesterol y anticancerígenas, y la sesamolina y sesamol con propiedades antioxidantes (Liu *et al.*, 2006).

El perfil de ácidos grasos en la semilla, aceite y pasta de ajonjolí es muy similar en su contenido en ácido linoleico, oleico, palmítico y esteárico, estando presentes en mayor concentración el oleico y linoleico. Aparentemente el contenido de oleico y palmítico disminuyen ligeramente en la PA, posiblemente por efecto del descascarillado, cocimiento y/o tostado de la semilla antes de la extracción del aceite y la producción de la pasta (NRC, 1998; McKevith, 2005; Hiremath *et al.*, 2007; Kemal y Yalçin, 2008).

### **II.1.3 Pasta de canola**

La canola es fruto de la colza (*Brassica napus* y *Brassica campestris/rapa*) perteneciente a la familia de las Crucíferas, que se obtuvo mediante técnicas estándar de cruzamiento para obtener niveles bajos de ácido erucico (<2%) en la porción de aceite y bajos niveles de glucosinolatos (<30 µmol/g) en la porción de pasta (Newkirk, 2009).

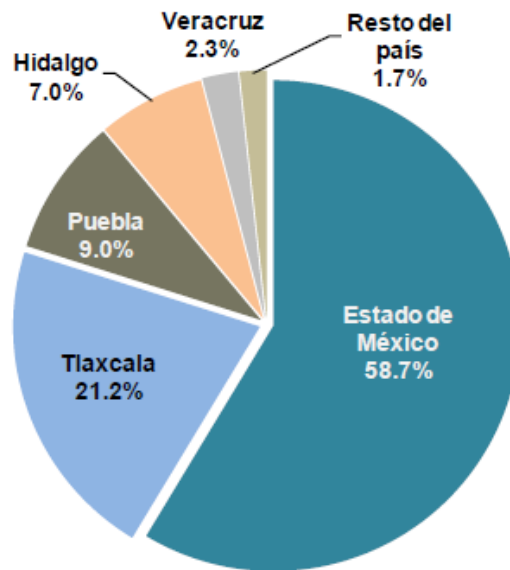
Los glucosinolatos de la colza se redujeron porque son tóxicos y de mal sabor para la mayoría de los animales y, por lo tanto, limitan el nivel de inclusión de la pasta de colza en raciones a niveles muy bajos. El término “canola” (Canadian Oil Low Acid) se acuñó para distinguirlo de la colza o nabo. La semilla de canola es pequeña y redonda, 1-2 mm de diámetro. Contiene aproximadamente 42-43% de aceite, que se extrae para utilizarse como aceite vegetal comestible de alta calidad (Newkirk, 2009).

Por su parte, es a partir del año 2000 en que se tienen registros de siembra de canola en México, las superficies sembrada y cosechada de esta planta exhibieron una tendencia ascendente. Los estados productores de canola se muestran en la Figura 4 (Financiera Rural, 2011).

La canola por ser una de las oleaginosas con mayor calidad de proteínas y alto porcentaje de ácidos grasos, podría representar una opción productiva en el campo agrícola, debido a que existen condiciones favorables para su cultivo en algunas regiones del país (Financiera Rural, 2011).

Para producir la pasta de canola, la semilla se tritura de forma tradicional y se extrae el solvente a fin de separar el aceite de la pasta. Este proceso, llamado extracción del solvente antes del prensado, por lo general incluye: limpieza de la

semilla, pre acondicionamiento y descamado de la semilla, cocción de la semilla, prensado de la hojuela para remover mecánicamente una porción del aceite, extracción del solvente de la torta presionada para quitar el resto del aceite, y desolventación y tostado de la pasta. La calidad de la pasta está influida por ciertas variables durante el proceso, especialmente por la temperatura (Newkirk y Classen, 2002).



**Figura II.4.** Estados productores de canola

La pasta de canola, al ser un residuo de la extracción de aceite, presenta una gran cantidad de proteína cruda (36-42%), de 2-4% de extracto etéreo con extracción con solventes, 12% de fibra cruda, 35% FDN, 2-2.4% lisina, 0.7-0.8% metionina, 6% cenizas y 7.2 - 30  $\mu\text{mol/g}$  glucosinolatos, 1.5% taninos y 3.3% de ácido fítico (Fan y Sauer, 1995; Newkirk y Classen, 2002; Mariscal-Landín *et al.*, 2008; Newkirk, 2009). El aceite de la pasta de canola es rico en ácido oleico (Busboom *et al.*, 1991; Kim *et al.*, 2007).

## II.2 Alimentos iniciadores y desarrollo del aparato digestivo del lechón

Los ingredientes que conforman las dietas de iniciación para lechones deben ser de excelente calidad nutricional, ya que durante la lactancia, el sistema enzimático del lechón está adaptado para digerir los nutrientes de la leche, y la absorción de proteínas lácteas, lactosa y lípidos de cadena corta. Durante el destete

existen factores de estrés (cambio de dieta, separación de la madre, competencia por el alimento, cambio de instalaciones, liderazgo, etc.) que se reflejan en un bajo consumo y por ende en un deficiente desarrollo del tracto gastrointestinal, con cambios estructurales y funcionales, como la atrofia de vellosidades e hipertrofia de criptas que provocan una disminución en la capacidad digestiva y de absorción de nutrientes (Reis de Souza y Mariscal-Landín, 1997; Pluske *et al.*, 1995; Lallés *et al.*, 2004, 2007).

La madurez de los órganos digestivos está dada por su capacidad de sintetizar y secretar enzimas digestivas, así como de incrementar su actividad hidrolítica de los nutrientes contenidos en los alimentos sólidos, ofrecidos en el momento del destete (Jensen *et al.*, 1997).

El desarrollo de la mucosa gástrica (mayor producción de ácido gástrico, de HCl y de pepsina) es mucho mayor después del destete y probablemente se debe al estímulo físico por el aumento de la materia alimentaria (Sève, 1986).

En el lechón destetado, la principal actividad hidrolítica para digerir los carbohidratos, proteínas y lípidos es proporcionada por el páncreas; órgano que muestra un cambio considerable en su contenido enzimático respecto a la secreción de carbohidrasas (amilasa), proteasas (quimotripsina, tripsina y elastasa) y lipasas a medida que el lechón crece (Makkink *et al.*, 1994). En el destete se observa una disminución en la actividad total y específica de estas enzimas en la semana posterior a éste, principalmente el tercer día (Lindemann *et al.*, 1986; Jensen *et al.*, 1997). Sin embargo, a pesar de esta disminución en la síntesis y actividad enzimática en el momento del destete, el desarrollo digestivo no se compromete ni a corto (6 días posdestete), ni a largo plazo (Makkink *et al.*, 1994).

Entre el 3° y 4° día posdestete, además de la atrofia pancreática, se presenta una atrofia intestinal provocada por una disminución en el consumo, a la ausencia de consumo de leche, la presentación de la dieta, el estrés, la invasión por microorganismos o la introducción de compuestos alergénicos en la dieta postdestete. La integridad intestinal se compromete atrofiando las vellosidades, aumentando la profundidad de las criptas y reduciendo la concentración de enzimas del borde de cepillo; lo que disminuye el proceso digestivo y provoca en muchas ocasiones diarrea (Marion *et al.*, 2002; Reis de Souza *et al.*, 2007). Siete a catorce



días después del destete, el intestino entra en una fase de recuperación que se manifiesta por hiperplasia de las criptas y alargamiento de las vellosidades. Este es también el momento en el que el consumo ha mejorado lo suficiente para suministrar los nutrientes necesarios para que el crecimiento continúe (Vente-Spreewenbergh *et al.*, 2004), acelerándose el desarrollo del intestino dependiendo de la composición y/o consistencia del alimento consumido (Reis de Souza *et al.*, 2007), así como la estimulación de las secreciones pancreáticas (Makkink *et al.*, 1994). Esto significa que la ingestión de alimentos puede ser el principal factor que modula la síntesis y secreción de las enzimas.

La cantidad, fuente y digestibilidad de la proteína dietaria determinan la disponibilidad de aminoácidos y péptidos en el lumen del intestino delgado, lo que puede influir en la recuperación de la morfología intestinal después del destete (Vente-Spreewenbergh *et al.*, 2004). El objetivo en el diseño de dietas postdestete debe ser disminuir el tiempo en que el intestino permanece en un estado atrofiado. Para reducir estos signos, es necesario ofrecer durante las dos primeras semanas posdestete alimentos derivados de la leche (suero, lactosa, leche descremada, leche en polvo), ya que esto hará menos brusco el cambio de alimentación para el lechón, tanto por sabor como por su valor nutritivo, además de la adaptación a las secreciones enzimáticas, motilidad y absorción (Zijlstra *et al.*, 1996). Lo anterior se refleja en un mayor crecimiento de las vellosidades, una mayor digestibilidad y un mayor peso de los órganos digestivos (Reis de Souza *et al.*, 2007).

### **II.3. Digestibilidad de los alimentos para cerdos**

La digestibilidad es una forma de medir el aprovechamiento de un alimento, es decir, la facilidad con que es convertido en el aparato digestivo en sustancias útiles para la nutrición. Comprende dos procesos, la digestión que corresponde a la hidrólisis de las moléculas complejas de los alimentos, y la absorción de pequeñas moléculas (aminoácidos, ácidos grasos) en el intestino (McDonald *et al.*, 1976; Fan y Sauer, 1995).

La digestibilidad es uno de parámetros utilizados para medir el valor nutricional de los distintos insumos destinados a la alimentación del cerdo, debido a que no basta que la proteína u otro elemento se encuentre en altos porcentajes en el

alimento sino que debe ser digerible para que pueda ser asimilado y, por consecuencia, aprovechado por el organismo que lo ingiere. La digestibilidad, por lo tanto, constituye una excelente medida de calidad y ello ha suscitado la idea de medirla de diferentes formas, *in vitro* al someter las proteínas a una digestión artificial por pepsina que es una enzima que se encuentra en el estómago de los animales superiores o *in vivo* que es un método que se explicará a continuación.

### **II.3.1 Digestibilidad aparente de dietas en cerdos**

La digestibilidad aparente indica el porcentaje de un nutriente ingerido que no aparece en la digesta o en las heces (Mosenthin y Rademacher, 2003). El término aparente indica que no se ha considerado ningún ajuste por las pérdidas endógenas.

#### **II.3.1.1 Digestibilidad fecal aparente de dietas en cerdos**

Normalmente los valores de digestibilidad fecal que se obtienen son valores aparentes, es decir, incluyen en las heces los aportes metabólicos y endógenos provenientes de enzimas, células epiteliales, células microbiales, metabolitos, entre otros, que llegan a la luz intestinal (Stein *et al.*, 2007), y que no fueron ofrecidos en el alimento. El procedimiento puede realizarse por colección total de heces o mediante el empleo de marcadores de digestibilidad (Kavanagh *et al.*, 2001).

#### **II.3.1.2 Digestibilidad ileal aparente de dietas en cerdos**

En nutrición de cerdos el uso de la digestibilidad ileal es más recomendado que la digestibilidad fecal, pues la flora microbiana del intestino grueso utiliza en su metabolismo los aminoácidos de la digesta, provocando un cambio en su perfil, reportándose que más del 50% del nitrógeno es de origen bacteriano (Nyachoti *et al.*, 1997; Montagne *et al.*, 2000). Consecuentemente, la digestibilidad ileal está mejor correlacionada con la deposición de proteína corporal que la digestibilidad fecal (Just *et al.*, 1985). La digestibilidad ileal aparente (DIA) se define como la desaparición neta de nutrientes ingeridos en la dieta desde el tracto digestivo proximal hasta el íleon distal. Para poder determinarla, es necesario que los animales experimentales cuenten con una cánula en "T" dentro del íleon distal (Reis

de Souza *et al.*, 2000) y que la dieta cuente con un marcador indigestible como el óxido de cromo ó dióxido de titanio (Stein *et al.*, 2007).

### **II.3.2 Digestibilidad ileal estandarizada de dietas en cerdos**

La digestibilidad ileal estandarizada (DIE) de proteína cruda (PC) y aminoácidos (AA) en dietas experimentales se calcula por la corrección de la DIA con las pérdidas endógenas ileales basales de PC y AA. Las pérdidas endógenas ileales basales de PC y AA se estimaron de acuerdo con Mariscal-Landín y Reis de Souza (2006) en lechones y cerdos en crecimiento. La DIE es más exacta que la DIA, porque representa las propiedades fundamentales de los ingredientes alimenticios individuales (Mosenthin y Rademacher, 2003).

### **II.3.3 Digestibilidad ileal aparente y estandarizada de materias primas en cerdos**

La DIA y DIE de PC y AA de las materias primas se calculan empleando el método de diferencia propuesto por Fan y Sauer (1995), con caseína como un ingrediente basal y dietas experimentales consistentes de una mezcla de dieta basal y la materia prima a evaluar.

## **II.4. Factores que afectan la digestibilidad de un alimento**

Entre los factores que afectan la digestibilidad de un alimento se encuentra la presencia de factores antinutricionales; fuente, contenido y calidad de fibra y proteína; procesamiento de los alimentos, efecto asociativo de los alimentos de la dieta; edad y sexo del animal; nivel de consumo; medio ambiente; medio social, entre otros (Grala *et al.*, 1999; Gómez *et al.*, 2007).

Los factores que más impactan en la digestibilidad de los alimentos se mencionan a continuación.

**II.4.1 Presencia de factores antinutricionales (FAN):** Existen muchas sustancias contenidas en los alimentos con efectos diversos en el organismo animal que pueden limitar la digestión de algunos nutrientes y/o tener efectos tóxicos (Grala *et al.*, 1999). Es un hecho ampliamente reconocido que las leguminosas contienen

una variedad de FAN que inciden o interfieren en la disponibilidad de los nutrientes, causando un efecto negativo en el crecimiento de los animales. La concentración de estos factores es muy variable y sus efectos biológicos son distintos según la especie animal, siendo los animales jóvenes más sensibles a ellos (Brenes y Brenes, 1993; D'Mello, 2000).

Entre los FAN más importantes se mencionan los siguientes:

**Factor antitripsico:** Los inhibidores de proteasas son mejor conocidos como inhibidores de tripsina, aunque este nombre es engañoso, ya que además inhiben muchas otras enzimas como la quimotripsina, elastasa, plasmina, trombina, carboxipeptidasas, catepsina y pepsina entre otras. Existen dos familias de inhibidores de tripsina, el inhibidor de Kunitz-tripsina y el inhibidor de Bowman-Birk (Reseland *et al.*, 1996).

El inhibidor de tripsina provoca una inhibición irreversible de las enzimas digestivas, y por ende un decremento en la digestibilidad y en la absorción de la proteína dietaria, lo que induce una depresión en el crecimiento de los animales (Lindemann *et al.*, 1986). Las proteasas digestivas y el inhibidor de tripsina, forman un complejo en el tracto intestinal, el cual subsecuentemente es excretado, incrementando la pérdida endógena de aminoácidos esenciales. Una deficiencia en la actividad de proteasas digestivas en el intestino delgado induce una mayor síntesis de enzimas proteolíticas por el páncreas, por mecanismos de retroalimentación negativos (feedback negativa) de la secreción pancreática a través del incremento en la liberación de la hormona colecistoquinina (CCK) de la mucosa intestinal. El mecanismo feedback negativo mediado por la CCK ha sido reportado en ratas, cerdos, terneros y humanos (Clemente y Domoney, 2006). Normalmente la actividad de las enzimas proteolíticas está regulada por la síntesis y la secreción de las enzimas por la activación de los zimógenos y frecuentemente por la inhibición (Lindemann *et al.*, 1986; Brenes y Brenes, 1993; FAO, 1995; de Lange *et al.*, 2000; D'Mello, 2000; Aguilera, 2001; Wang *et al.*, 2004). Morfológicamente incrementa el tamaño del páncreas (hipertrofia o hiperplasia), con un incremento en la secreción pancreática de las enzimas digestivas (Brenes y Brenes 1993; de Lange *et al.*, 2000; Wang *et al.*, 2004). Esta hipersecreción de enzimas digestivas provoca una gran

pérdida de aminoácidos azufrados (Lindemann *et al.*, 1986), ya que las enzimas pancreáticas son ricas en estos aminoácidos, lo que induce una deficiencia de estos aminoácidos y por ende en crecimiento del animal se deprime. La ingestión del inhibidor de proteasas afecta el balance de nitrógeno, más por pérdidas endógenas que por pérdidas de aminoácidos dietarios o exógenos (Barth *et al.*, 1993). Este problema se acentúa más cuando se suministra soya en la dieta, ya que es deficiente en estos aminoácidos (Liener, 1979; Friedman, 1996; Clemente y Domoney, 2006).

**Ácido Fítico:** El ácido fítico (AF) es la principal fuente de almacenamiento de fósforo en los granos de cereales y oleaginosas como fuente de energía, minerales y antioxidantes para la semilla durante la germinación. La pasta de ajonjolí (PA) presenta un alto contenido de (AF) (5.4 %) (Vallardi, 2000; Kornegay, 2001; Adeola y Sands, 2003). El fósforo fítico tiene una muy baja disponibilidad, así como la de otros minerales como el Ca, Mg, Fe y Zn; de aminoácidos como la lisina, leucina, fenilalanina, histidina y arginina; y carbohidratos (almidón) en los ingredientes de origen vegetal (Vallardi, 2000; Adeola y Sands, 2003).

El contenido de fitatos, fósforo y minerales es mucho mayor en el salvado (capa de aleurona, testa y pericarpio) que en el grano total, sin embargo, existen diferencias entre los salvados (Vargas y Lobo, 1992; Kornegay, 2001). Por lo que el contenido de AF en PA descascarillada debe ser menor que el que se encuentra en la PA no descascarillada.

Los complejos binarios AF-proteína pueden formarse *de novo* en un pH ácido en el tracto gastrointestinal a partir de fuertes interacciones electrostáticas entre el AF y la proteína dietaria y endógena (pepsina y pepsinógeno). El rango de pH en el estómago del cerdo puede facilitar la formación del complejo AF-proteína, lo que puede influenciar la digestión enzimática de las proteínas en el estómago por la reducción de la actividad de la pepsina (y por ende a un incremento en la secreción de la enzima y HCl vía mecanismos de feedback negativos), y de la hidrólisis del AF, y por lo tanto, de los nutrientes asociados a él. A nivel del intestino delgado con un pH >6, puede formarse un complejo ternario AF-Ca<sup>2+</sup>-proteína; a su vez la presencia de cargas positivas provenientes de minerales multivalentes pueden atraer cargas negativas de los grupos carboxilo de los aminoácidos ácidos (aspártico y glutámico)

contenidos en las proteínas, o bien, el grupo carboxilo terminal de las proteínas (Adeola y Sands, 2003). Además el AF incrementa la excreción de AF-P en suelo y agua (Kornegay, 2001; Bohn et al., 2008). Por otro lado, también se aumentan las pérdidas endógenas de minerales y aminoácidos. Estas pérdidas están asociadas a un incremento de los requerimientos de mantenimiento, ya que hay más gasto energético para la secreción, siendo adverso para el animal; así mismo, se disminuye la digestibilidad (Woyengo *et al.*, 2009).

El ácido fítico tiene un efecto limitante sobre la digestibilidad y pérdidas endógenas de minerales, proteínas y aminoácidos (Woyengo *et al.*, 2009), e inhibe las enzimas proteolítica como la pepsina y la tripsina bajo condiciones gastrointestinales (Adeola y Sands, 2003).

**Taninos:** Los taninos son un grupo de compuestos polifenólicos, astringentes de gusto amargo, antimicrobianos, antifúngicos e inhibidores enzimáticos que pueden causar intolerancias gástricas y estreñimiento. Entre los ácidos fenólicos más frecuentes destacan el gálico, tánico y elágico que se encuentran en un gran número de productos vegetales, como el sorgo y leguminosas (FAO, 1995; de Lange et al., 2000; Vallardi, 2000; Isaza, 2007). Los taninos son generalmente bastante resistentes al calor (Jansman *et al.*, 1994) que precipitan proteínas por la formación de enlaces entre sus grupos hidroxilos y grupos carboxílicos de los aminoácidos de las proteínas o de otras macromoléculas (almidón y celulosa) (Reed, 1995). Existen dos tipos de taninos, los condensados (proantocianidinas) y los hidrolizables (pirogálicos). Los taninos condensados son polímeros flavonoides con capacidad de precipitar proteína en soluciones acuosas y se encuentran en la fracción de la cáscara (van Leeuwen *et al.*, 1995). Los taninos hidrolizables e hidrosolubles son polímeros de ácido gálico o elágico esterificados a una molécula, comúnmente glucosa o un polifenol como la catequina, que pueden ser hidrolizados por enzimas ó ácidos obteniéndose unidades más simples. Los taninos condensados no hidrosolubles son los más comúnmente encontrados en las leguminosas, son considerados no tóxicos porque no se absorben, sin embargo, están asociados con lesiones de la mucosa intestinal, así mismo, incrementan el daño a la pared intestinal, causan toxicidad, reducen la absorción de algunos minerales e incrementan las pérdidas endógenas (Yu *et al.*, 1996; D'Mello, 2000; Parra, 2003).

En el caso particular de las leguminosas, estos compuestos son predominantemente taninos o polifenoles condensados. Su concentración es muy variable y generalmente está más relacionada con el color de las flores de estas leguminosas que con el de la semilla. Su efecto biológico más negativo en los monogástricos está relacionado con su capacidad para formar complejos con las proteínas (Brenes y Brenes, 1993).

Los taninos están asociados a lesiones de la mucosa intestinal, con lo cual se disminuye la digestión y absorción de nutrientes y se incrementan las pérdidas endógenas, se inhibe la actividad enzimática de la elastasa pancreática y de las aminopeptidasas intestinales (posiblemente incrementando la expresión y la secreción) (van Leeuwen *et al.*, 1995) y disminuyen la digestibilidad aparente e ileal de proteínas y algunos carbohidratos, ya que forman complejos tanino-proteína y tanino-carbohidratos, reduciendo la biodisponibilidad de aminoácidos y produciendo hipertrofia del páncreas (Jansman *et al.*, 1994; FAO, 1995; Yu *et al.*, 1996; D'Mello, 2000; Mahmood *et al.*, 2008; Brás *et al.*, 2010). En cuanto a la digestión de las fracciones proteicas hay información de que los taninos interactúan con la fracción de prolaminas haciéndolas más indigestibles. Los taninos no favorecen la digestión de las kafirinas en el estómago y yeyuno de lechones sobre todo a las 9 horas posteriores del consumo de la dieta (Gómez, 2010).

**Lectinas:** Las lectinas son glicoproteínas, de origen no inmunológico, capaces de unirse a carbohidratos específicos (carbohidratos complejos) y a otras glicoproteínas, como los que forman parte de la estructura de las membranas celulares por medio de enlaces de hidrógeno (Vasconcelos y Oliveira, 2004). Se les conoce por su propiedad de aglutinar los eritrocitos de la sangre humana o de otros animales por la interacción de las lectinas con las glicoproteínas localizadas en la superficie de las células (Liener, 1979).

Las lectinas son FAN que afectan el recambio y la pérdida de células epiteliales del intestino dañando las membranas luminales del epitelio e interfieren con la digestión y absorción de los nutrientes (Fasina *et al.*, 2004; Vasconcelos y Oliveira, 2004), provocando hipersecreción de proteína endógena debido a la descamación de células dañadas y un aumento en la producción de mucina; inhiben enzimas digestivas (sacarasa, maltasa, lactasa, aminopeptidasas, dipeptidasas, fosfatasa

alcalina y  $\gamma$ -glutamilttransferasa) (Lindemann *et al.*, 1986; de Lange *et al.*, 2000), estimulan la proliferación de microorganismos patógenos (Liener, 1979; Brenes y Brenes, 1993; de Lange *et al.*, 2000; Vasconcelos y Oliveira, 2004; Vasconcelos y Tadeu, 2004), modulan el estado inmunológico del tracto digestivo (Vallardi, 2000; Aguilera, 2001; Vasconcelos y Tadeu, 2004), provocan hiperplasia e hipertrofia de órganos digestivos y aglutinan eritrocitos, todos estos efectos provocan un decremento en la digestibilidad y por ende en el crecimiento del animal. La mayoría de las lectinas son resistentes a la hidrólisis causada por las enzimas digestivas proteolíticas, tienen gran estabilidad a cambios de pH y son eliminadas en las heces (arriba del 90% de las lectinas ingeridas) (Vasconcelos y Oliveira, 2004).

**Proteínas antigénicas:** Estas proteínas, cuando son administradas a los animales, inducen la síntesis de anticuerpos específicos. Estas moléculas están presentes en la soya y el ajonjolí, pudiendo actuar como antígenos, causando alteraciones en la pared intestinal y reacciones inmunológicas, causando ciertos trastornos en la función intestinal de lechones. En el caso particular de la soya, las globulinas y en particular la glicinina y la  $\beta$ -conglucina han sido implicadas en este fenómeno (Brenes y Brenes, 1993; de Lange *et al.*, 2000; D'Mello, 2000; L'Hocine y Boye, 2007). En el caso del ajonjolí las proteínas antigénicas son las globulinas 11S ( $\alpha$ -globulina insoluble) un polipéptido que constituye el 60-70% de la proteína total de la semilla, y 7S ( $\alpha$ -globulina) y la albúmina 2S (llamada  $\beta$ -globulina soluble) un polipéptido que representa el 25% de la proteína total de la semilla. La 2S y 11S representan un 80-90% del total de la proteína del ajonjolí, mientras que la 7S constituye aproximadamente un 5% del total de la proteína, sin embargo, es la que provoca una mayor respuesta alérgica (Orruño y Morgan, 2007). Estas proteínas son resistentes al tratamiento térmico, siendo necesario altas temperaturas para afectar su antigenicidad, aunque esto produce un efecto negativo sobre la calidad de la proteína (Wolff *et al.*, 2003).

Las proteínas antigénicas inducen la síntesis de anticuerpos específicos, causando alteraciones en la pared intestinal y reacciones inmunológicas, causando ciertas respuestas inflamatorias intestinales, produciendo daños en la mucosa intestinal que afectan a los procesos de digestión y absorción, presentándose diarrea, pérdidas de peso, disminución de la digestibilidad aparente de la proteína



(Lindemann *et al.*, 1986; de Lange *et al.*, 2000; D'Mello, 2000; L'Hocine y Boye, 2007) y ocasionalmente muertes en lechones y terneros. Estas proteínas antigénicas no actúan directamente sobre la actividad, secreción y excreción de enzimas digestivas, al igual que sobre la digestión de fracciones proteicas, ya que actúan a nivel de alteraciones inmunológicas del intestino delgado (Wolff *et al.*, 2003; L'Hocine y Boye, 2007).

**Oxalatos:** Los oxalatos sódicos presentes en las plantas (en ocasiones hasta en un 12%), son solubles en el torrente sanguíneo, se combinan con el calcio y el magnesio dando sales insolubles como el oxalato cálcico y magnésico. Estos cristales producen lesiones en el cerebro con parálisis y otros desórdenes en el SNC. Otros síntomas son la hemólisis por acumulación y lesiones por cristales de oxalatos en los riñones, alteraciones en el crecimiento óseo y la producción láctea, gastroenteritis, diarreas, hemorragias en mucosas y espuma sanguinolenta en el tracto respiratorio. Los oxalatos también interfieren en el metabolismo de los carbohidratos. Las lesiones más características se presentan en el riñón (cistitis, tumefacción y edema), observándose también hemorragias en serosas, boca y esófago (en ocasiones con espuma teñida de sangre), vías respiratorias congestionadas (de Lange *et al.*, 2000; D'Mello, 2000).

**II.4.2. Fuente, contenido y calidad de fibra:** El tipo y origen de la fibra dietaria influencia el sitio y el grado de degradación (Högberg y Lindberg, 2004; Mateos *et al.*, 2006; Metzler y Mosenthin, 2008). En general, la fibra dietaria soluble e insoluble puede ser degradada por bacterias intestinales, pero la soluble es más fácil, rápida y completamente fermentada (Darcy-Vrillon *et al.*, 1993). La fracción de fibra soluble puede interferir en la digestión de componentes alimenticios fibrosos y no fibrosos en el intestino delgado (Metzler y Mosenthin, 2008).

La fibra dietaria insoluble puede interactuar con la proteína dietaria y aminoácidos antes o después de la hidrólisis enzimática. Esto puede disminuir su digestión y/o absorción. Como resultado, se incrementa el pasaje de proteínas y aminoácidos dietarios y endógenos (enzimas digestivas, mucinas y células epiteliales descamadas por erosión) al intestino grueso, lo que provoca un incremento de nitrógeno en la digesta ileal reflejándose en una disminución en la

digestibilidad ileal aparente de proteína y aminoácidos (Grala *et al.*, 1999; Högberg y Lindberg, 2004. Eastwood y Kritchevsky, 2005; Bindelle *et al.*, 2008).

**II.4.3 Fuente, contenido y calidad de proteína:** Las fuentes de proteína para cerdos son muchas y variadas. Estas fuentes proteicas presentan diferentes cantidades de proteína según su origen (vegetal o animal), sin embargo, cantidad no es sinónimo de calidad. Por lo que además de conocer la cantidad de proteína de cada alimento, es fundamental conocer la composición y biodisponibilidad de los aminoácidos esenciales (Stein *et al.*, 2007). La calidad de la proteína puede ser definida como la capacidad de una proteína alimentaria para satisfacer la demanda metabólica de los aminoácidos y nitrógeno de un organismo, y se determina por la composición y la digestibilidad de AA y proteína, así como la biodisponibilidad de los AA individuales. Tanto la digestibilidad y biodisponibilidad se ven afectados por la matriz del alimento (por ejemplo, niveles y tipos de grasa, carbohidratos y compuestos antinutricionales). Otros factores que influyen en la calidad de la proteína son las demandas específicas del individuo que consume el alimento, tales como la edad, el estado de salud, el estado fisiológico y el balance de energía (Boisen *et al.*, 2000; Boye *et al.*, 2012).

La calidad de la proteína de los alimentos se afecta por los métodos empleados en el procesamiento y por la presencia de factores antinutricionales. Algunos métodos de procesamiento como el remojo, cocción y fermentación han demostrado mejorar la digestibilidad de AA, probablemente debido a una reducción en FAN, como los inhibidores de proteasas lábiles al calor. Aunque tratamiento térmicos muy drásticos pueden desnaturalizar las proteínas, haciendo que se reduzca su digestibilidad (Boye *et al.*, 2012).

**II.4.4 Procesamiento de los alimentos:** 1) Si los alimentos pasaron por un tratamiento térmico, a mayor temperatura y tiempo, menor será la digestibilidad, pues hay formación de compuestos de Maillard entre aminoácidos y proteínas-carbohidratos (Oliver *et al.*, 2006; Boye *et al.*, 2012) que son indisponibles por las enzimas digestivas. La disponibilidad de lisina disminuye (50%) con respecto a la temperatura de tostado (Kumar *et al.*, 2009).

2) Si se reduce el tamaño de la partícula se incrementa la tasa de paso y se reduce la digestibilidad y viceversa. Una revisión de 23 artículos científicos de lechones y cerdos en cebo indica que por cada 100 micras de reducción del tamaño medio de la partícula la digestibilidad de la energía mejoró en 0.6 puntos, la de la proteína en 0.8 y el índice de conversión en 0.03 unidades. Sin embargo, la variabilidad de estos valores de mejora es muy alta y está en función de la materia prima de la que se trate. Se recomienda un tamaño medio de partícula en alimentos para lechones entre 500 y 600  $\mu\text{m}$  (Robles, 1991).

3) Si el alimento es peletizado o extruido mejora su eficiencia alimenticia del cerdo (Chae y Han, 1998; Sawyer *et al.*, 1999; Boye *et al.*, 2012).

Son muchos los factores que afectan la calidad de las pastas de oleaginosas, los intrínsecos como la familia y variedad a la que pertenecen, así como los extrínsecos derivados del medio ambiente y de su procesamiento. El conocer más a fondo cómo estos factores afectan la calidad y por ende la digestibilidad de los nutrientes de las pastas de oleaginosas es de suma importancia para poder incorporarlas dentro de dietas para animales de granja en sus diferentes etapas productivas.

### **III. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar a la pasta de ajonjolí desde sus características químicas hasta su efecto como ingrediente proteico en dietas libres de antibiótico para lechones destetados sobre la digestibilidad íleal aparente y estandarizada, así como las adaptaciones morfofisiológicas del tracto gastrointestinal; y para cerdos en crecimiento sobre la digestibilidad íleal aparente y estandarizada.

#### **III.1. Objetivos particulares**

- 1) Caracterizar químicamente la pasta de ajonjolí y compararla con otras fuentes proteicas (pasta de soya y canola).
- 2) Evaluar y comparar la digestibilidad ileal aparente y estandarizada de la materia seca, proteína cruda y aminoácidos de las pastas de ajonjolí y de soya en lechones destetados y cerdos en finalización.
- 3) Comparar los efectos de la pasta de ajonjolí y de la pasta de soya en dietas libres de antibiótico para lechones, sobre su morfología intestinal y la actividad enzimática pancreática.

#### IV. LITERATURA CITADA

- Adeola, O., and J.S. Sands. 2003. Does supplemental dietary microbial phytase improve amino acid utilization? A perspective that it does not. *J. Anim. Sci.* 81:E78-85.
- Águila, R. 2009. Ingredientes alternos para cerdos. Conocer para decidir su inclusión. Engormix. Ubicado en: <http://www.engormix.com/MA-porcicultura/nutricion/articulos/ingredientes-alternos-cerdos-conocer-t2670/141-p0.htm>
- Aguilera, B. 2001. Utilización de diferentes fuentes de proteína en la alimentación de lechones al destete. Tesis de maestría. FMVZ. UNAM. México.
- Agricultural Statistics. 2012. Chapter III. Statistics of oilseeds, fats, and oils. National Agricultural Statistics Service. United States Government Printing Office, Washington. Ubicado en: [http://www.nass.usda.gov/Publications/Ag\\_Statistics/2012/2012\\_Final.pdf](http://www.nass.usda.gov/Publications/Ag_Statistics/2012/2012_Final.pdf)
- Alltech. 2013. Resumen de la Producción Global de Alimento Balanceado. Ubicado en: [https://es.alltech.com/sites/default/files/2013feedtonnagereport\\_spa\\_feb2013v5.pdf](https://es.alltech.com/sites/default/files/2013feedtonnagereport_spa_feb2013v5.pdf)
- Anilakumar, K.R., A. Pal, F. Khanum and A.S. Bawa. 2010. Nutritional, medicinal and industrial uses of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds - An Overview. *Agric. Conspec. Sci.* 75:159-168.
- Audiffred, P.M. 1988. Fuentes no tradicionales de alimentos y su empleo en la alimentación de las aves de 1980 a 1986. Estudio recapitulativo. Tesis Licenciatura FMVZ. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Baker, D.H. 2007. Lysine, arginine, and related amino acids: An introduction to the 6th amino acid assessment workshop. *J. Nutr.* 137:1599S–1601S.
- Barth, C.A., B. Lunding, M. Scmitz, and H. Hagemeister. 1993. Soybean trypsin inhibitor(s) reduce absorption of exogenous and increase loss of endogenous protein in miniature pigs. *J. Nutr.* 123:2195-2200.
- Bindelle, J., P. Leterme and A. Buldgen. 2008. Nutritional and environmental consequences of dietary fibre in pig nutrition: a review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 12:69-80.

- Bohn, L., A.S. Meyer and S.K. Rasmussen. 2008. Phytate: Impact on environment and human nutrition. A challenge for molecular breeding. *J. Zhejiang Univ. Sci. B.* 9:165-191.
- Boisen, S., T. Hvelplund and M.R. Weisbjerg. 2000. Ideal amino acid profiles as a basis for feed protein evaluation. *Livest. Prod. Sci.* 64:239–251.
- Boye, J., R. Wijesinha-Bettoni and B. Burlingame. 2012. Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. *Br.J. Nutr.* 108:S183–S211.
- Brás, N.F., R. Gonçalves, N. Mateus, P.A. Fernández, M.J. Ramos and V. de Freitas. 2010. Inhibition of pancreatic elastase by polyphenolic compounds. *J. Agric. Food Chem.* 58:10668-76.
- Brenes, A. and J. Brenes. 1993. Tratamiento tecnológico de los granos de leguminosas: influencia sobre su valor nutritivo. IX Curso de especialización FEDNA. España. Ubicado en: [http://www.ucv.ve/fileadmin/user\\_upload/facultad\\_agronomia/Procesamiento\\_de\\_Granos\\_de\\_Leguminosas.pdf](http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Procesamiento_de_Granos_de_Leguminosas.pdf)
- Bruggink, J.H.B. 1993. Utilización de concentrados de proteína de soja en dietas de animales jóvenes. En: Curso de especialización de la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal – FEDNA. Memorias del IX curso de especialización FEDNA. Barcelona: Ubicado en: [http://fundacionfedna.org/sites/default/files/93CAP\\_10.pdf](http://fundacionfedna.org/sites/default/files/93CAP_10.pdf)
- Busboom, J.R., D.C. Rule, D. Colin, T. Heald and A. Mazhar. 1991. Growth, carcass characteristics, and lipid composition of adipose tissue and muscle of pigs fed canola. *J. Anim. Sci.* 69:1101-1108.
- Campabadal, C. 2014. Uso de la pasta de soja en la nutrición animal. Ubicado en: <http://1h6sjn1h2drrrzvb91xoz9916qy.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/sites/8/2014/02/La-Pasta-de-Soya-en-la-Alimentaci%C3%B3n-Animal-2014.pdf>
- Cervantes, P.S.K. and H.H. Stein. 2008. Effect of dietary soybean oil and soybean protein concentrate on the concentration of digestible amino acids in soybean products fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 86:1841-1849.

- Chae, B.J. and I.K. Han. 1998. Processing effects of feeds in swine. Review. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 11:597-607.
- Clemente, A. and C. Domoney. 2006. Biological significance of polymorphism in legume protease inhibitors from the Bowman-Birk family. Curr. Protein Pept. Sci. 7:201–216.
- CNSPO. 2010a. Soya, situación actual, mundial y nacional (Primera parte). Comité Nacional Sistema-Producto Oleaginosas. México. Ubicado en: [http://www.oleaginosas.org/art\\_338.shtml](http://www.oleaginosas.org/art_338.shtml)
- CNSPO. 2010b. Soya, situación actual, mundial y nacional (Segunda parte). Comité Nacional Sistema-Producto Oleaginosas. México. Ubicado en: [http://www.oleaginosas.org/art\\_344.shtml](http://www.oleaginosas.org/art_344.shtml)
- CNSPO. 2012. Comité Nacional Sistema-Producto Oleaginosas. México. Ubicado en: [http://www.oleaginosas.org/cat\\_105.shtml#180](http://www.oleaginosas.org/cat_105.shtml#180)
- Darcy-Vrillon, B., M.T. Morel, C. Cherbuy, F. Bernard, L. Posho, F. Blachier, J.C. Meslin and P.H. Duee. 1993. Metabolic characteristics of pig colonocytes after adaptation to a high fiber diet. J. Nutr. 123:234-243.
- Dashak, D.A. and C.N. Fali. 1993. Chemical composition of four varieties of Nigerian bennised (*sesamum indicum*). Food Chem. 47:253-255.
- de Lange, C., C. Nyachoti and M. Verstegen. 2000. The significance of antinutritional factors in feedstuffs for monogastric animals. In: Feed Evaluation: Principles and Practice. Ed. Moughan, P.J., M.W.A. Verstegen and M.I. Visser-Reyneveld. Canadá. Pp. 169-188.
- de Luna, J.A. 2007. Composición y procesamiento de la soya para consumo humano. Investigación y Ciencia UAA 37:35-44.
- Diarra, S.S. and B.A. Usman. 2008. Performance of laying hens fed graded levels of soaked sesame (*Sesamum indicum*) seed meal as a source of methionine. Int. J. Poult. Sci. 7:323-327.
- D'Mello, J.P.F. 2000. Antinutritional factors and mycotoxins. In J.P.F. D'Mello, ed. Farm animal metabolism and nutrition. CAB International, 383. Reino Unido.
- Eastwood, M. and D. Kritchevsky. 2005. Dietary fiber: How did we get where we are?. Annu. Rev. Nutr. 25:1-8.

- Egbekun, M.K. and M.U. Ehieze. 1997. Proximate composition and functional properties of fullfat and defatted beniseed (*Sesamum indicum* L.) flour. *Plant Foods Human Nutr.* 51:35–41.
- Fan, M.Z. and W.C. Sauer. 1995. Determination of apparent ileal amino acid digestibility in barley and canola meal for pigs with the direct, difference, and regression methods. *J. Anim. Sci.* 73:2364-2374.
- FAO. 1995. Ubicado en: <http://www.fao.org/docrep/T0818S/T0818S0k.htm#Capitulo%206:%20Inhibidores%20nutricionales%20y%20factores%20tóxicos>
- FAO. 2006. AJONJOLÍ (*Sesamum indicum* L.). Ubicado en: [http://www.fao.org/inpho\\_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/pfrescos/AJONJOLI.HTM](http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/pfrescos/AJONJOLI.HTM)
- FAOSTAT. 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Ubicado en: <http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx>
- Fasina, Y.O., J.D. Garlich, H.L. Classen, P.R. Ferket, G.B. Havenstein, J.L. Grimes, M.A. Qureshi and V.L. Christensen. 2004. Response of turkey poult to soybean lectin levels typically encountered in commercial diets. 1. Effect on growth and nutrient digestibility. *Poult. Sci.* 83:1559-1571.
- Financiera Rural. 2011. Monografía de Colza/Canola. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial. México. Ubicada en: [http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADa%20Colza\\_Canola%20\(may%202011\)%20vf.pdf](http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADa%20Colza_Canola%20(may%202011)%20vf.pdf)
- Friedman, M. 1996. Nutritional value of proteins from different food sources. A review. *J. Agric. Food Chem.* 44:6-29.
- Gilani, G.S., C.W. Xiao and K.A. Cockell. 2012. Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality. *Br. J. Nutr.* 108:S315–S332.
- Gómez, R.S., L.G. Mariscal, G.C.A. Mejía, V.D. Braña, G.G. Salazar. 2007. Estrategias de alimentación y manejo del cerdo. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en fisiología y Mejoramiento Animal. INIFAP-SAGARPA. Publicación Técnica No. 3, Colón, Querétaro, México.



- Gómez, S.J. 2010. Efecto del nivel de taninos del sorgo "*Sorghum bicolor*" (L. Moench) sobre la dinámica de la digestión de las kafirinas y la función digestiva en lechones recién destetados. Tesis de Maestría en Recursos Bióticos. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. México.
- Grala, W., M.W.A. Verstegen, A.J.M. Jansman, J. Huisman and P. van Leeuwen. 1999. Apparent protein digestibility and recovery of endogenous nitrogen at the terminal ileum of pigs fed diets containing various soyabean products, peas or rapeseed hulls. *Anim. Feed Sci. Technol.* 80:231-245.
- Heo, J.M., Opapeju, F.O., Pluske, J.R., Kim, C., Hampson, D.J. and Nyachoti, C.M. 2013. Gastrointestinal health and function in weaned pigs: a review of feeding strategies to control post-weaning diarrhoea without using in-feed antimicrobial compounds. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 97:207–237.
- Hiremath, S.C., C.G. Patil, K.B. Patil and M.H. Nagasampige. 2007. Genetic diversity of seed lipid content and fatty acid composition in some species of *Sesamum* L. (Pedaliaceae). *Afr. J. Biotechnol.* 6:539-543.
- Högberg, A. and J.E. Lindberg. 2004. Influence of cereal non-starch polysaccharides on digestion site and gut environment in growing pigs. *Livest. Prod. Sci.* 87:121-130.
- Hossain, M.A. and K. Jauncey. 1990. Detoxification of linseed and sesame meal and evaluation of their nutritive value in the diet of common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Asian Fish. Sci.* 3:169-183.
- InfoRural. 2012a. México: Sexto lugar mundial en producción de alimento balanceado para animales. México. Ubicado en: <http://www.inforural.com.mx/spip.php?article99175>
- InfoRural. 2012b. Ajonjolí, producción nacional. México. Ubicado en: <http://www.inforural.com.mx/spip.php?article97155>
- Isaza, M.J.H. 2007. Taninos o polifenoles vegetales. *Scientia et Technica.* 13:13-18.
- Jannat, B., M.R. Oveisi, N. Sadeghi, M. Hajimahmoodi, M. Behzad, E. Choopankari and A.A. Behfar. 2010. Effects of roasting temperature and time on healthy nutraceuticals. *J. Environ. Health Sci. Eng.* 7:97-102.

- Jansman, A.J.M., H. Enting, M.W.A. Verstegen and J. Huisman. 1994. Effects of condensed tannins in hulls of faba beans (*Vicia faba* L.) on the activity of trypsin and chymotrypsin in digesta collected from the small intestine of pigs. *Br. J. Nutr.* 71:627-635.
- Jensen, M.S., S.K. Jensen and K. Jakobsen. 1997. Development of digestive enzymes in pigs with emphasis on lipolytic activity in the stomach and pancreas. *J. Anim. Sci.* 75:437-445.
- Jezierny, D., R. Mosenthin, N. Sauer, S. Roth, H.P. Piepho, M. Rademacher, and M. Eklund. 2011. Chemical composition and standardised ileal digestibilities of crude protein and amino acids in grain legumes for growing pigs. *Livest. Sci.* 138:229–243.
- Jimoh, W.A., O.A. Fagbenro and E.O. Adeparusi, 2011. Effect of processing on some minerals, anti-nutrients and nutritional composition of sesame (*Sesamum indicum*) seed meals. *Electronic J. Environ. Agric. Food Chem.* 10:1858-1864.
- Just, A., H. Jorgensen and J.A. Fernández. 1985. Correlation of protein deposited in growing female pigs to ileal and fecal digestible crude protein and amino acids. *Livest. Prod. Sci.* 12:145-159.
- Kavanagh, S., P.B. Lynch, F. O'mara and P.J. Caffrey. 2001. A comparison of total collection and marker technique for the measurement of apparent digestibility of diets for growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 89:49-58.
- Kemal, U.M. and H. Yalçin. 2008. Proximate composition of Turkish sesame seeds and characterization of their oils. *Grasas y aceites* 59:23-26.
- Kim, K.S., S.H. Park, M.G. Choung and Y.S. Jang, 2007. Use of Near-Infrared Spectroscopy for estimating fatty acid composition in intact seeds of rapeseed. *J. Crop Sci. Biotech.* 10:15-20.
- Kornegay, E.T. 2001. Digestion of Phosphorus and Other Nutrients: the Role of Phytases and Factors Influencing Their Activity. In: *Enzymes in Farm Animal Nutrition* Eds. Bedford M.R. and Partridge G.G. CAB International.
- Kubmarawa, D., I.F.H. Andenyang and A.M. Magomya. 2008. Amino acid profile of two non-conventional leafy vegetables, *Sesamum indicum* and *Balanites aegyptiaca*. *Afr. J. Biotechnol.* 7:3502-3504.

- Kumar, M.C., A.A.G. Rao and S.A. Singh. 2009. Effect of infrared heating on the formation of sesamol and quality of defatted flours from *Sesamum indicum* L. J. Food Sci. 74:105-111.
- Kurki, A., J. Bachmann, H. Hill, L. Ruffin and B. Lyons. 2008. Oilseed Processing for Small-Scale Producers. Michels H, Editor. ATTRA - National Sustainable Agriculture Information Service. Ubicado en: [www.attra.ncat.org/attra-pub/PDF/oilseed.pdf](http://www.attra.ncat.org/attra-pub/PDF/oilseed.pdf)
- Lallès, J.P., G. Boundry, C. Favier, N. Le Floc'h, I. Luron, L. Montagne, I.P. Oswald, S. Pié, C. Piel and B, Sève. 2004. Gut function and dysfunction in young pigs: Physiology. Anim. Res. 53:301–316.
- Lallès, J.P., P. Bosi, H. Smidt and C.R. Stokes. 2007. Nutritional management of gut health in pigs around weaning!. Proc. Nutr. Soc. 66:260–268.
- L'Hocine, L. and J.I. Boye. 2007. Allergenicity of soybean: New developments in identification of allergenic proteins, cross-reactivities and hypoallergenization technologies. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 47:127-143.
- Li, D., S.Y. Qiao, G.F. Yi, J.Y. Jiang, X.X. Xu, X.S. Piao, I.K. Han and P. Thacker. 2000. Performance of growing-finishing pigs fed sesame meal supplemented diets formulated using amino acid digestibilities determined by the regression technique. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 13:213-219.
- Liener, I.E. 1979. The nutritional significance of plant protease inhibitors. Proc. Nutr. Soc. 38:109-115.
- Lindemann, M.D., S.G. Cornelius, S.M. El Kandelgy, R.L. Moser and J.E. Pettigrew. 1986. Effect of age, weaning and diet on digestive enzyme levels in the piglet. J. Anim. Sci. 62:1298-1307.
- Liu, Z., N.M. Saarinen and L.U. Thompson. 2006. Sesamin is one of the major precursors of mammalian lignans in sesame seed (*Sesamum indicum*) as observed *in vitro* and in rats. J. Nutr. 136:906–912.
- Mahmood, S., M.A. Khan, M. Sarwar and M. Nisa. 2008. Use of chemical treatments to reduce antinutritional effects of tannins in salseed meal: effect on performance and digestive enzymes of broilers. Livest. Sci. 116:162-170.

- Makkink, C.A., G.P. Negulescu, Q. Guixin and M.W.A. Verstegen. 1994. Effect of dietary protein source on feed intake, growth, pancreatic enzyme activities and jejunal morphology in newly-weaned piglets. *Br. J. Nutr.* 72:353-368.
- Marion, J., M. Biernat, F. Thomas, G. Savary, Y. Le Breton, R. Zabielski, I. Le Huërou-Luron and J. Le Dividich. 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-Landín, G. and T.C. Reis de Souza. 2006. Endogenous ileal losses of nitrogen and amino acids in pigs and piglets fed graded levels of casein. *Arch. Anim. Nutr.* 60:454-466.
- Mariscal-Landín, G., T.C. Reis de Souza, J.E. Parra, A. Aguilera and B. Mar. 2008. Ileal digestibility of protein and amino acids from canola meal in weaned piglets and growing pigs. *Livest. Sci.* 116:53–62.
- Mateos, G.G., R. Lázaro, A.J.M. González, E. Jiménez and B. Vicente. 2006. Efectos de la fibra dietética en piensos de iniciación para pollitos y lechones. XXII Curso de Actualización FEDNA. Avances en Nutrición y Alimentación Animal. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Eds.: P.G<sup>a</sup>. Rebollar, C. de Blas y G.G. Mateos. Barcelona, España.
- McDonald, P., R.A. Edwards and J.F.D. Greenhalgh. 1976. *Nutrición Animal*. Ed. Acirbia. España.
- McKevith, B. 2005. Nutritional aspects of oil seeds. *British Foundation Nutrition. Nutrition Bulletin*, 30:13-26. Reino Unido. Ubicado en: <http://www.blackwell-synergy.com/doi/pdf/10.1111/j.1467-3010.2005.00472.x?cookieSet=138>.
- Metzler, B.U. and R. Mosenthin. 2008. A review of interactions between dietary fiber and the gastrointestinal microbiota and their consequences on intestinal phosphorus metabolism. In growing pigs. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 21:603-615.
- Moazzami, A.A., R.E Andersson and A. Kamal-Eldin. 2006. Characterization and analysis of sesamolol diglucoside in sesame seeds. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 70:1478-1481.

- Montagne, L., Toullec, R., Lallès, J.P. 2000. Quantitative and qualitative changes in endogenous nitrogen components along the small intestine of the calf. *J. Sci. Food Agric.* 80:2123–2134.
- Mosenthin, R. and M. Rademacher. 2003: Digestible amino acids in diet formulation for pigs. In: D’Mello, J.P.F. (Ed), *Amino acids in animal nutrition* (2<sup>nd</sup> Edition), CABI Publishing, Wallingford, UK, pp.169–186.
- Miyawaki, T., H. Aono, Y. Toyoda-Ono, H. Maeda, Y. Kiso and K. Moriyama. 2009. Anthypertensive effects of sesamin in humans. *J. Nutr. Sci. Vitam.* 55:87-91.
- Namiki M. 2007. Nutraceutical functions of sesame: A Review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 47:651-673.
- Newkirk, R.W. and H.L. Classen. 2002. The effects of toasting canola meal on body weight, feed conversion efficiency, and mortality in broiler chickens. *Poult. Sci.* 81:815–825.
- Newkirk, R. 2009. *Pasta de canola. Guía para la industria de forrajes.* 4<sup>a</sup> edición. Canadian International Grains Institute.
- Nieto, B.V.M. 1989. Fuentes no tradicionales de alimentos y su empleo en la alimentación de los caprinos de 1980 a 1987. Estudio recapitulativo. Tesis Licenciatura FMVZ. Universidad Nacional Autónoma de México.
- NRC. National Research Council. 1998. *Nutrients requirements of swine*, 10<sup>th</sup> Ed. Washington, DC. National Academy Press.
- Nyachoti, C.M., C.F.M.de Lange, B.W. McBride and H. Schulze. 1997. Significance of endogenous gut nitrogen losses in the nutrition of growing pigs: A review. *Can. J. Anim. Sci.* 77: 149–163.
- Oliver, C.H.M., L.D. Melton and R.A. Stanley. 2006. Creating Proteins with Novel Functionality via the Maillard Reaction: A Review. *Critical Rev. Food Sci. Nutr.* 46:337–350.
- Orruño, E. and M.R.A. Morgan. 2007. Purification and characterisation of the 7S globulin storage protein from sesame (*Sesamum indicum* L.). *Food Chem.* 100:926-934.
- Ortíz, M.B. 1982. Fuentes no tradicionales de alimentos y su empleo en la alimentación del cerdo. Estudio recapitulativo. Tesis Licenciatura FMVZ. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Ossa, B.F.J. 2012. Cultivos energéticos para biocombustibles. Instituto de Energía-Universidad Nacional de Cuyo. Argentina. Ubicado en: <http://www.imd.uncu.edu.ar/upload/cultivos-energeticos-final.pdf>
- Panhwar, F. 2005. Anti nutritional factors in oil seed as aflatoxin in groundnut. J. Chemlin Virtual Library Chem. 23: 1 – 8.
- Parra, S.J.E. 2003. Determinación del coeficiente de digestibilidad ileal aparente de pasta de canola y pasta de canola paletizada en lechones recién destetados y cerdos en crecimiento. Tesis de Maestría. UNAN. México.
- Pluske, J.R., I.H. Williams and F.X. Aheme. 1995. Nutrition of the neonatal pig. In: Varley, M.A. (Ed.), *The Neonatal Pig: Development and Survival*. CAB International, Wallingford, Oxon, UK, pp. 1X7-235.
- Reed, J.D. 1995. Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. J. Anim. Sci. 73:1516-1528.
- Reis de Souza, T.C. and G. Mariscal-Landín. 1997. El destete, la función digestiva y la digestibilidad de los alimentos en cerdos jóvenes. *Téc. Pecu. Méx.* 35:145-159.
- Reis de Souza, T.C., B.B. Mar and L.G. Mariscal. 2000. Canulación de cerdos posdestete para pruebas de digestibilidad ileal: Desarrollo de una metodología. *Téc. Pecu. Méx.* 38:143-150.
- Reis de Souza, T., M.A.B. Aguilera, A.B. Aguilera, G.L. Mariscal and M.J.G. Carrillo. 2007. Digestive tract morphology of piglets fed diets with isolated or concentrate soy protein. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 15:134-140.
- Reseland, J.E., H. Holm, M.B. Jacobsen, T.G. Jenssen and L.E. Hanssen. 1996. Proteinase inhibitors induce selective stimulation of human trypsin and chymotrypsin secretion. *J. Nutr.* 126:634-642.
- Robles, S.R. 1991. *Producción de oleaginosas y textiles*. 3ª Ed. Limusa. España.
- Rojo, G.A., M.V.G. Pérez, U.A. Bayardo, C.H.J. Correa and I.J.A. Cuarón. 2001. Pasta de canola como suplemento proteico en dietas para la finalización de cerdos. *Téc. Pecu. Méx.* 39:179–192.
- Sawyer, J.T., J.C. Woodworth, P.R. O'Quinn, J.L. Nelssen, M.D. Tokach, R.D. Goodband and S.S. Dritz. (Ed.). 1999. Effects of diet processing method on growth performance of segregated early-weaned pigs. *Kansas State*

- University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service  
Swine Day Report. Pp. 72-75.
- SENASICA. 2010. Información técnica de ajonjolí (*Sesamum ndicum*) en México. DGSV-CNRF-Departamento de análisis de riesgo de plagas. SAGARPA. México.
- Sève, B. 1986. Elévation et sevrage des porcelets. In: Le Porc et son élevage, bases scientifiques et techniques. Ed. Pérez JM, Mornet P y Rérat A. Ed. Maloine, France.
- Stein, H.H., B. Séve, M.F. Fuller, P.J. Moughan and C.F.M. de Lange. 2007. Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. J. Anim. Sci. 85:172–180.
- Urbaityte, R., R. Mosenthin, M. Eklund, H.P. Piepho and M. Rademacher. 2009b. Determination of standardized ileal crude protein and amino acid digestibilities in protein supplements for piglets. Animal 3:1696–1705.
- USDA Agricultural Projections to 2022. 2013. Office of the Chief Economist, World Agricultural Outlook Board, U.S. Department of Agriculture. Prepared by the Interagency Agricultural Projections Committee. Long-term Projections Report OCE. Pp.105. Ubicado en: [www.usda.gov/oce/commodity/projections/](http://www.usda.gov/oce/commodity/projections/)
- Vallardi, G.M. 2000. Efecto de la fitasa en dietas para gallina de postura como fuente de energía, aminoácidos y fósforo. Tesis de Maestría FMVZ. Universidad de Colima. México.
- van Kempen; T.A.T.G., E. Van Heugten, A.J. Moeser, N.S. Muley, and V.J.H. Sewalt. 2006. Selecting soybean meal characteristics preferred for swine nutrition. J. Anim. Sci. 84:1387-1395.
- van Leeuwen, P.V., A.J.M. Jansman, J. Wiebenga, J.F.J.G. Koninkx and J.M.V.M. Mouwen. 1995. Dietary effects of faba-bean (*Vicia faba* L.) tannins on the morphology and function of the small-intestinal mucosa of weaned pigs. Br. J. Nutr. 73:31-39 31.
- Vargas, E. y M. Lobo. 1992. Fósforo fítico en materias primas de origen vegetal usadas en la alimentación animal en Costa Rica. Agronomía Costarricense 16:139-143.

- Vasconcelos, I.M. and J.T.A. Oliveira. 2004. Antinutritional properties of plant lectins. *Toxicon*. 44:385-403.
- Vasconcelos, I. and J. Tadeu. 2004. Antinutritional properties of plant lectins. *Toxicon*. 44:385-403.
- Vente-Spreewenbergh, M.A.M., J.M.A.J. Verdonk, G.C.M. Bakker, A.C. Beynen and M.W.A. Verstegen. 2004 Effect of dietary protein source on feed intake and small intestinal morphology in newly weaned piglets. *Livest. Prod. Sci.* 86:169-177.
- Wang, W.N., X.M. Pan and Z.X. Wang. 2004. Kinetic analysis of zymogen autoactivation in the presence of a reverse inhibitor. *Eur. J. Biochem.* 271:4638-4645.
- Wolff, N., U. Cogan, A. Admon, I. Dalal, Y. Katz, N. Hodos, N. Karin and S. Yannai. 2003. Allergy to sesame in humans is associated primarily with IgE antibody to a 14 kDa 2S albumin precursor. *Food Chem. Toxicol.* 41:1165-1174.
- Woyengo, T.A., J. Cowieson, O. Adeola and C.M. Nyachoti. 2009. Ileal digestibility and endogenous flow of minerals and amino acids: responses to dietary phytic acid in piglets. *Br. J. Nutr.* 102:428-433.
- Yoo, S.S. 2007. Generation of sesame flavor by the thermal reaction technique. *Food Sci. Biotechnol.* 16:110-115.
- Yu, R., P.J. Moughant, T.N. Barry and W.C. McNabb. 1996. The effect of condensed tannins from heated and unheated cottonseed on the ileal digestibility of amino acids for the growing rat and pig. *Br. J. Nutr.* 76:359-371.
- Zijlstra, R.T., K.Y. Whang, R.A. Easter and J. Odle. 1996. Effect of feeding a milk replacer to early-weaned pigs on growth, body composition, and small intestinal morphology, compared with suckled littermates. *J. Anim. Sci.* 74:2948-2959



## V. METODOLOGÍA

El proyecto de tesis estuvo conformado por cuatro etapas experimentales, las cuales generaron cuatro capítulos planteados para resolver los objetivos particulares de la presente investigación. Los capítulos fueron preparados como manuscritos independientes, por lo que en cada uno se incluye la metodología, resultados, discusión, conclusiones y literatura particulares. Los capítulos son los siguientes:

**Capítulo 1.** Composición química y fracciones de proteínas de las pastas de ajonjolí, soya y canola.

**Capítulo 2:** Standardized ileal digestibility of proteins and amino acids in sesame expellers and soybean meals in weaning piglets.

**Capítulo 3:** Standardized ileal digestibility of proteins and amino acids in sesame expellers and soybean meals in finishing pigs.

**Capítulo 4:** Morphophysiological adaptations of the gastrointestinal tract in piglets fed a sesame expellers or soybean meal diet.

Al finalizar la presentación de los capítulos se hizo una conclusión general del trabajo de tesis.

## **CAPÍTULO 1**

### **COMPOSICIÓN QUÍMICA Y FRACCIONES DE PROTEÍNAS DE LAS PASTAS DE AJONJOLI, SOYA Y CANOLA**

# COMPOSICIÓN QUÍMICA Y FRACCIONES DE PROTEÍNAS DE LAS PASTAS DE AJONJOLI, SOYA Y CANOLA

Araceli Aguilera B.<sup>1</sup>, Tércia Reis de Souza<sup>1</sup>, Gerardo Mariscal-Landín<sup>2</sup>, Teresa García G.<sup>1</sup>, José Gómez S.<sup>1</sup>, María Guadalupe Bernal S.<sup>1</sup>, Konisgmar Escobar G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Doctorado en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México; <sup>2</sup>CENID Fisiología INIFAP. Querétaro, México

## RESUMEN

El presente trabajo evaluó la composición química y las fracciones proteicas de tres pastas de oleaginosas como fuentes de proteína vegetal para la alimentación de cerdos, pasta de ajonjolí sin tostar (PA) y tostada (PAT), pasta de soya (PS) y pasta de canola (PCA), a las que se les determinó el análisis químico proximal, fibra detergente neutro (FDN), fibra dietética total (FDT), energía bruta (EB), perfil de aminoácidos y ácidos grasos, actividad inhibitoria de tripsina (AIT), concentración de ácido fítico (AF) y fraccionamiento de proteínas (albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas básicas y ácidas). Las bandas de cada fracción de proteína (FP) obtenidas por electroforesis SDS-PAGE fueron determinadas en su peso molecular (PM), clasificándolas en 3 grupos: Chicas (< 20 Kda); medianas (20-60 Kda); y grandes (> 61 Kda). La PA mostró alto contenido en proteína cruda (PC), arginina, aminoácidos azufrados, extracto etéreo, EB, AF y ácidos grasos insaturados (AGIS). El tostado de la PA provocó un incremento en la FDN, FDT, AF y ácido palmítico, sin embargo, una disminución en la AIT y en el contenido de AGIS. El tostado de la PA duplicó el contenido de FDN y de ácido palmítico, disminuyó la AIT y produjo compuestos Maillard con la fibra soluble y las proteínas de la PA. La PS mostró alto contenido en PC, lisina, AIT y ácidos linoleico y linolénico. La PCA presentó alto contenido de FDN, FDT y AGIS. El perfil de las FP en diferentes solventes entre las pastas fue muy diferente: La PA mostró mayor cantidad de bandas de bajo y medio PM; la PS de medio y alto PM; y la PC de medio PM. La PA presentó porcentajes altos de globulinas y glutelinas básicas. Al tostarse la PA (PAT) el porcentaje de las globulinas disminuyó, mientras que las albúminas, las glutelinas básicas y ácidas se

incrementaron. La PCA está conformada principalmente por glutelinas básicas, seguida de albúminas y globulinas. La PS muestra una mayor cantidad de glutelinas básicas, seguida de albúminas y globulinas. Para todas las pastas la proporción de prolaminas y glutelinas ácidas fue baja, presentando el mayor contenido la PAT. Se concluye que la composición química de las pastas mostró una mayor variación en los niveles de FDN, arginina, lisina, metionina, ácido linoleico y FAN. El número y PM de las bandas proteicas, así como la solubilidad de las fracciones de proteína que conforman las pastas oleaginosas difieren entre ellas ( $P < 0.05$ ).

*Palabras clave:* fibra dietaria, ácido fólico, actividad inhibitoria de tripsina, aminoácidos, ácidos grasos, fracciones proteicas

## **INTRODUCCIÓN**

En México la mayoría de las dietas para cerdos se formulan con base en la combinación de sorgo y pasta de soya (PS). Como consecuencia de las presiones para satisfacer las necesidades nutrimentales de los humanos, así como el alto precio de la pasta de soya (ingrediente ampliamente utilizado en la nutrición animal), los porcicultores se ven obligados a buscar ingredientes alternativos para la alimentación de los cerdos. Además de la pasta de soya, existen otras pastas de oleaginosas ricas en energía y proteína que pueden reemplazarla, tales como la pasta de ajonjolí (PA) (Hiremath *et al.*, 2007) y la de canola (PCA) (Safari *et al.*, 2011). En la PS han sido bien caracterizados los tipos de FAN que contiene (Chen *et al.*, 2010), en la PCA se conoce bien la dominancia de los glucosinolatos, taninos y fitatos (Safari *et al.*, 2011), y en la PA no ha sido bien establecido el tipo de FAN que contiene, salvo el ácido fólico y oxálico (Hossain y Jauncey, 1990). La calidad de las pastas de oleaginosas como fuentes de proteína depende de diversos factores, principalmente de la variedad de la semilla de ajonjolí (Dashak y Fali, 1993), el método de extracción del aceite (mecánica o por solventes) (Kurki *et al.*, 2008) y del tratamiento de la semilla (integral, descortezada, cocida, tostada, etc.) (Kumar *et al.*, 2009), ya que puede alterar la pasta, generando un producto sobre o subcalentado. El proceso de extracción de aceite y por ende de la producción de las pasta es el siguiente: recepción, limpieza, preparación y condicionamiento de la semilla (Yoo,

2007). Durante el último paso del proceso se puede llevar a cabo en la semilla, un cocimiento (80 a 160°C durante 20 a 60 min) o un tostado (180 – 200 °C por 10 a 20 min), esto en función del sabor del aceite que se desee producir (Kurki *et al.*, 2008). Los compuestos volátiles formados en el ajonjolí son producidos por la interacción de carbohidratos y proteínas a través del proceso del tostado, formando compuestos Maillard (Bruggink, 1993). Además, el proceso térmico desnaturaliza las proteínas de la pasta. El sobrecalentamiento tiene un efecto negativo sobre el perfil de proteínas y la digestibilidad de los aminoácidos, y el subcalentamiento puede generar un efecto negativo en el aprovechamiento de los nutrientes en aquellas fuentes que contienen factores antinutricionales (FAN) termolábiles, afectando negativamente el crecimiento de los animales (de Lange *et al.*, 2000; D'Mello, 2000; Kumar *et al.*, 2009).

El conocimiento de la calidad proteica de las fuentes de proteína para la alimentación animal permite a los productores de alimento balanceado, así como a los productores pecuarios, contar con herramientas precisas para poder sustituir alimentos proteicos dentro de dietas alimenticias en las distintas especies y etapas productivas en épocas en que se coticen a altos precios, o cuando se encuentren poco disponibles en el mercado.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la composición química y las fracciones proteicas de tres pastas de oleaginosas como fuentes alternas de proteína vegetal para la alimentación animal.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se evaluaron 5 muestras de las siguientes pastas: de ajonjolí sin tostar (PA), de ajonjolí tostada (PAT), de soya (PS) y de canola (PCA) procedentes de la zona del Bajío.

Para determinar la composición química de las pastas de ajonjolí, soya y canola, se molieron a través de una malla de 0.5 mm. Las pastas se secaron en una estufa de recirculación de aire forzado a 60°C para determinar el contenido de materia seca. Se realizaron las determinaciones de proteína cruda (PC) por el método de Kjeldahl, cenizas y extracto etéreo (EE) (AOAC, 2002), fibra detergente neutro (FDN) (van Soest *et al.*, 1991), fibra dietaria total (FDT) (Prosky *et al.*, 1985),

energía bruta (EB) (Bateman, 1980), perfil de aminoácidos por HPLC (Henderson *et al.*, 2000) y perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases (Realini *et al.*, 2005), los cuales previamente fueron extraídos en frío con metanol-cloroformo (Folch *et al.*, 1957). En cuanto a los FAN se evaluó la actividad inhibitoria de tripsina empleando L-BAPNA como sustrato (Kakade *et al.*, 1974, con modificaciones de Smith *et al.*, 1980; Stauffer, 1990) y la concentración de fitatos (Vaintraub y Latpeua, 1988, con modificación de Gao *et al.*, 2002).

El fraccionamiento de las pastas en cuanto a su solubilidad se realizó siguiendo el protocolo propuesto por Youssef (1998) y Vasconcelos *et al.* (2010) (Figura 1). La muestra desengrasada en frío (Folch *et al.*, 1957) se agitó durante una hora con el extractante adecuado para cada fracción y posteriormente se centrifugó a 16,000 g durante 10 minutos a 4°C, la extracción se realizó 2 veces. Las proteínas se extrajeron de manera sucesiva de acuerdo a los siguientes solventes: albúminas (solubles en agua), globulinas (solubles en soluciones de NaCl 5%), prolaminas (solubles en butanol terciario al 60% conteniendo hidrocloreuro de guanidina 0.1%) y glutelinas (solubles en soluciones ácidas (HCl 0.1N) y básicas (NaOH 0.1N)). Exceptuando la fracción de agua (albúminas), los sobrenadantes conteniendo las otras fracciones de proteínas se dializaron con agua desionizada antes de liofilizarlas.

A la muestra original y a las fracciones de proteína liofilizadas se les determinó la concentración de proteína por el método de Bradford (1976) para que en la electroforesis de las fracciones proteicas de las pastas se pudiera utilizar la misma concentración de proteína (20 µg). Estas fracciones se desnaturalizaron con dodecilsulfato de sodio (SDS) contenido en el buffer de carga, calentándolas en un baño de agua a ebullición durante 5 min. Las fracciones de proteínas de cada pasta se separaron mediante una electroforesis SDS-PAGE (SDS-*polyacrylamide gel electrophoresis*) (Laemmli, 1970) a una concentración de acrilamida de 14% para poder evaluar las proteínas de alto y bajo peso molecular respectivamente. Las electroforesis se corrieron a 120 V. Los geles se tiñeron con azul Coomassie R-250 y se digitalizaron mediante un fotodocumentador Bio-Rad para analizar los geles por medio del programa Quantity One de Bio-Rad para estimar el peso molecular (PM) y la densidad de las proteínas que conforman cada fracción proteica en cada pasta,

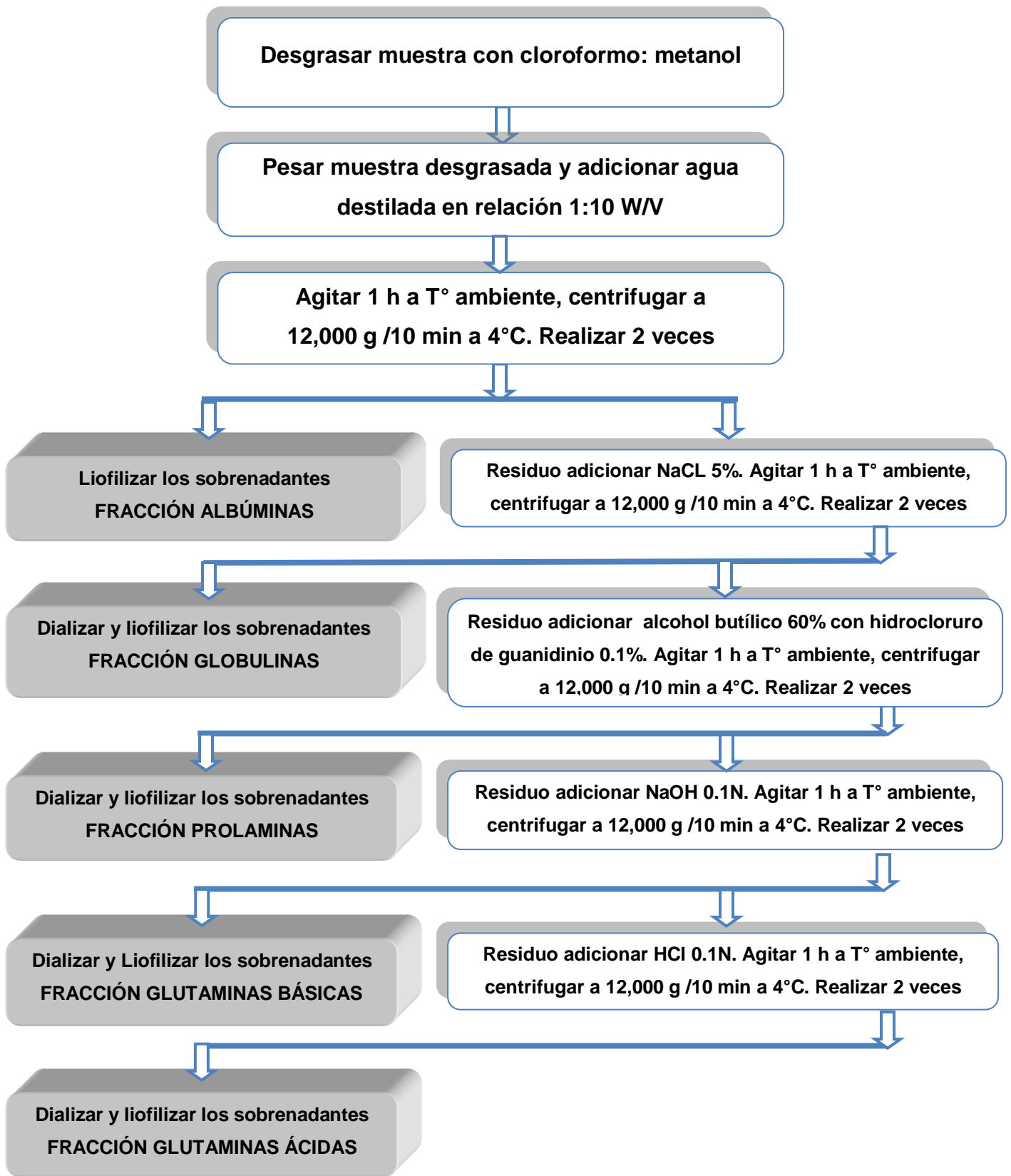
comparando su movilidad electroforética con la de un estándar de PM de proteínas de amplio espectro (161-0317 Bio-Rad): miosina (200 kDa),  $\beta$ -galactosidasa (116.25 kDa), fosforilasa b (97.4 kDa), albúmina sérica (66.2 kDa), Ovoalbúmina (45 kDa), anhidrasa carbónica (31 kDa), inhibidor de tripsina (21.5 kDa), lisozima (14.4 kDa) y aprotinina (6.5 kDa). Los PM de las bandas de las pastas, así como de cada fracción de proteína se agruparon en tres rangos: Chicas (< 20 Kda); medianas (20-60 Kda); y grandes (> 61 Kda).

### **Análisis estadístico**

Los resultados se analizaron con un análisis de varianza para un diseño completamente al azar, de acuerdo al modelo matemático:  $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$ , donde  $Y_{ij}$  = variable de respuesta;  $\mu$  = media de la población;  $\tau_i$  = efecto pasta; y  $\varepsilon_{ij}$  = error experimental, empleando el paquete estadístico SAS (SAS, 2008). Para comparar las medias se empleó la prueba de Tukey a un nivel de significancia del 5% (Steel y Torrie, 1980).

### **RESULTADOS**

La composición química y el contenido de factores antinutricionales se muestran en el Cuadro 1. El contenido de proteína cruda de la PA, PAT y PS fue bastante similar ( $P > 0.05$ ), mientras que la PCA presentó valores menores ( $P < 0.05$ ). El contenido de cenizas fue homogéneo entre las diferentes pastas de oleaginosas ( $P > 0.05$ ). El EE y la EB de la PA y PAT fueron superiores ( $P < 0.05$ ) a los encontrados en la PS y PCA. En el caso de la FDN fue igual ( $P > 0.05$ ) en la PCA y PAT, pero mayor ( $P < 0.05$ ) que en la PA y PS las que fueron iguales ( $P > 0.05$ ). La FDT fue mayor ( $P < 0.05$ ) en la PCA y PAT. La PA fue similar ( $P > 0.05$ ) a las otras pastas. El tostado de la PA no afectó ( $P > 0.05$ ) el contenido de PC, cenizas, EE, FD y EB, sin embargo, el contenido de FDN se duplicó ( $P < 0.05$ ).



**Figura 1.** Fraccionamiento de proteínas (Youssef, 1998 y Vasconcelos *et al.*, 2010)



En el Cuadro 1 se presentan los resultados del contenido de FAN en las pastas de oleaginosas. El mayor contenido de ácido fólico lo presentó la PA y PAT y el menor la PS, teniendo un contenido intermedio la PCA ( $P<0.05$ ). Contrariamente, la PS presentó la mayor ( $P<0.05$ ) actividad inhibitoria de tripsina (AIT), seguida de la PA ( $P<0.05$ ) y con una menor actividad la PCA y PAT, las cuales no presentaron diferencia entre ellas ( $P>0.05$ ).

**Cuadro 1.** Composición química de las pastas de oleaginosas

	PA	PAT	PS	PCA	P<	EEM
Materia seca, %	97.3 <sup>a</sup>	97.0 <sup>a</sup>	93.4 <sup>b</sup>	94.0 <sup>b</sup>	0.0001	0.23
Proteína cruda (%N x 6.25), %	51.8 <sup>a</sup>	51.8 <sup>a</sup>	49.7 <sup>a</sup>	38.1 <sup>b</sup>	0.001	0.89
Cenizas, %	6.4	7.1	6.9	7.0	NS	0.12
Extracto etéreo, %	15.5 <sup>a</sup>	16.4 <sup>a</sup>	1.4 <sup>b</sup>	1.4 <sup>b</sup>	0.001	1.05
FDN, %	13.6 <sup>b</sup>	26.2 <sup>a</sup>	12.5 <sup>b</sup>	27.9 <sup>a</sup>	0.0001	0.68
Fibra dietaria total, %	27.7 <sup>ab</sup>	32.2 <sup>a</sup>	24.9 <sup>b</sup>	34.9 <sup>a</sup>	0.01	0.86
Energía bruta, Kcal/Kg	5539 <sup>a</sup>	5649 <sup>a</sup>	4616 <sup>b</sup>	4506 <sup>b</sup>	0.0001	53.6
AIT, mg tripsina pura inhibida/g	1.14 <sup>b</sup>	0.36 <sup>d</sup>	6.0 <sup>a</sup>	0.4 <sup>c</sup>	0.0001	0.03
AF, g fitato de sodio/100g	4.3 <sup>b</sup>	5.1 <sup>a</sup>	2.6 <sup>d</sup>	3.7 <sup>c</sup>	0.0001	0.04

PA=pasta de ajonjolí sin tostar.

PAT=pasta de ajonjolí tostada.

PS=pasta de soya.

PCA=pasta de canola.

P=Probabilidad; EEM=Error estándar de la media.

<sup>a,b,c</sup>Literales diferentes en el mismo renglón son diferentes estadísticamente.

El perfil de ácidos grasos de las pastas de oleaginosas se muestra en el Cuadro 2. La PS y la PAT mostraron una mayor ( $P<0.05$ ) proporción de ácido palmítico que la PA; la PCA tuvo un valor intermedio. El contenido de ácido esteárico fue mayor en las pastas de ajonjolí (PA y PAT) que en la PS y PCA. De los ácidos grasos saturados el ácido palmítico es el que se presenta en mayor proporción en todas las pastas evaluadas. Para los ácidos grasos insaturados (ácido oleico, linoleico y linolénico) la mayor proporción ( $P<0.05$ ) las presentan la PA y la menor la PS, siendo intermedias la PAT y PCA. El ácido graso omega poliinsaturado linoleico

es el de mayor proporción ( $P < 0.05$ ) en la PS, mientras que para la PA, PAT y PCA fueron el ácido graso oleico y el linoleico. Para los ácidos grasos insaturados (AGIS) (ácido oleico, linoleico y linolénico) las mayores proporciones ( $P < 0.05$ ) las presentaron la PA, PAT y PCA. El ácido graso omega poliinsaturado linoleico es el de mayor proporción ( $P < 0.05$ ) en la PS, mientras que para la PA, PAT y PCA fueron el ácido graso oleico y el linoleico.

**Cuadro 2.** Perfil de ácidos grasos de pastas de oleaginosas (g/100 g MS)

	PA	PAT	PS	PCA	P<	EEM
Ácido palmítico (16:0)	7.3 <sup>b</sup>	14.2 <sup>a</sup>	15.9 <sup>a</sup>	11.4 <sup>ab</sup>	0.005	0.6
Ácido esteárico (18:0)	5.1 <sup>a</sup>	6.7 <sup>a</sup>	4.2 <sup>b</sup>	2.7 <sup>b</sup>	0.005	0.3
<b>Total de ácidos grasos saturados</b>	12.4 <sup>b</sup>	20.9 <sup>a</sup>	20.1 <sup>a</sup>	15.1 <sup>ab</sup>	0.005	1.8
Ácido oleico (18:1)	39.8 <sup>a</sup>	37.0 <sup>a</sup>	15.2 <sup>b</sup>	39.4 <sup>a</sup>	0.0005	1.4
Ácido linoleico (18:2) $\omega$ 6	47.6 <sup>ab</sup>	43.9 <sup>b</sup>	56.9 <sup>a</sup>	38.8 <sup>b</sup>	0.005	0.2
Ácido linolénico (18:3) $\omega$ 3	0.3 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	7.8 <sup>a</sup>	6.7 <sup>a</sup>	0.0001	0.7
<b>Total de ácidos grasos insaturados</b>	87.6 <sup>a</sup>	80.9 <sup>ab</sup>	79.9 <sup>b</sup>	84.9 <sup>ab</sup>	0.05	0.8

PA=pasta de ajonjolí sin tostar.

PAT=pasta de ajonjolí tostada.

PS=pasta de soya.

PCA=pasta de canola.

P=Probabilidad; EEM=Error estándar de la media.

<sup>a,b</sup>Literales diferentes en el mismo renglón son diferentes estadísticamente.

En cuanto al contenido de aminoácidos esenciales (Cuadro 3), la PA difiere de la PS en un mayor ( $P < 0.05$ ) contenido de aminoácidos azufrados y arginina. La PS supera a la PA y PAT en el contenido de lisina y la PCA muestra valores intermedios de lisina y muy bajos de arginina y metionina.

**Cuadro 3.** Perfil de aminoácidos de pastas de oleaginosas (g/100 g MS)

Aminoácido	PA	PAT	PS	PCA	P<	EEM
<b><i>Aminoácidos esenciales</i></b>						
Arginina	5.10 <sup>a</sup>	4.93 <sup>a</sup>	3.39 <sup>b</sup>	1.90 <sup>c</sup>	0.0001	0.17
Lisina	1.10 <sup>c</sup>	0.88 <sup>c</sup>	2.81 <sup>a</sup>	1.93 <sup>b</sup>	0.0001	0.06
Histidina	1.22 <sup>ab</sup>	1.52 <sup>a</sup>	1.24 <sup>ab</sup>	0.94 <sup>b</sup>	0.05	0.06
Leucina	2.78 <sup>b</sup>	2.97 <sup>ab</sup>	3.38 <sup>a</sup>	2.62 <sup>b</sup>	0.005	0.07
Isoleucina	1.57 <sup>b</sup>	1.71 <sup>b</sup>	2.15 <sup>a</sup>	1.43 <sup>b</sup>	0.001	0.05
Valina	1.84 <sup>ab</sup>	1.99 <sup>ab</sup>	2.21 <sup>a</sup>	1.78 <sup>b</sup>	0.05	0.05
Fenilalanina	1.89 <sup>b</sup>	2.19 <sup>b</sup>	2.37 <sup>a</sup>	1.39 <sup>c</sup>	0.0001	0.05
Metionina	1.20 <sup>a</sup>	ND	0.70 <sup>b</sup>	0.72 <sup>b</sup>	0.0001	0.02
Treonina	1.57	1.62	1.78	1.57	NS	0.04
<b><i>Aminoácidos no esenciales</i></b>						
Ácido aspártico	3.39 <sup>b</sup>	3.11 <sup>bc</sup>	5.61 <sup>a</sup>	2.33 <sup>c</sup>	0.0001	0.10
Ácido glutámico	8.23 <sup>a</sup>	9.10 <sup>a</sup>	9.28 <sup>a</sup>	6.20 <sup>b</sup>	0.001	0.20
Serina	1.91 <sup>a</sup>	1.50 <sup>b</sup>	2.29 <sup>a</sup>	1.43 <sup>b</sup>	0.0001	0.05
Glicina	2.19	2.56	2.22	2.01	NS	0.07
Alanina	1.89	ND	1.95	1.74	NS	0.06
Tirosina	1.60 <sup>a</sup>	1.90 <sup>a</sup>	1.68 <sup>a</sup>	1.02 <sup>b</sup>	0.0001	0.05
Cisteina	0.87 <sup>ab</sup>	ND	0.66 <sup>b</sup>	0.98 <sup>a</sup>	0.005	0.03
Prolina	1.57 <sup>c</sup>	ND	3.74 <sup>a</sup>	1.81 <sup>b</sup>	0.0001	0.02

PA=pasta de ajonjolí sin tostar.

PAT=pasta de ajonjolí tostada.

PS=pasta de soya.

PCA=pasta de canola.

P=Probabilidad; EEM=Error estándar de la media.

<sup>a,b,c</sup>Literales diferentes en el mismo renglón son diferentes estadísticamente.

En el Cuadro 4 se presentan las fracciones de proteína de las pastas oleaginosas. La PA presenta porcentajes altos de globulinas y glutelinas básicas. Al tostarse la PA (PAT) el porcentaje de las globulinas disminuyó un 80%, mientras que las albúminas, las glutelinas básicas y ácidas se incrementaron un 213, 44 y 2950%, respectivamente en relación a la PA. La PCA está conformada principalmente por

glutelinas básicas, seguida de albúminas y globulinas. La PS muestra una mayor cantidad de glutelinas básicas, seguida de albúminas y globulinas. Para todas las pastas la proporción de prolaminas y glutelinas ácidas fue bajo, presentando el mayor ( $P < 0.05$ ) contenido la PAT.

En la Figura 2 se muestra el perfil electroforético de las bandas proteicas presentes en la PA, PCA y PS. En la PAT no se pudo observar el perfil electroforético de proteínas, posiblemente por desnaturalización y formación de productos Maillard. Los PM de las bandas proteicas de las pastas difirieron entre sí en magnitud, teniendo un mayor rango la PA (2 a 120 kDa), seguido de la PS (11 a >120 kDa) y la PCA con el menor rango (11 a 88 kDa). Entre las muestras evaluadas de cada pasta existió una alta repetitividad en cuanto a determinación del PM.

**Cuadro 4.** Fracciones de proteína de pastas de oleaginosas (g/100 g de proteína soluble)

	PA	PAT	PS	PCA	P<	EEM
Albúminas	2.3 <sup>d</sup>	7.2 <sup>c</sup>	11.5 <sup>b</sup>	23.3 <sup>a</sup>	0.0001	0.46
Globulinas	45.7 <sup>a</sup>	9.2 <sup>b</sup>	9.2 <sup>b</sup>	14.9 <sup>b</sup>	0.0001	1.59
Prolaminas	0.7 <sup>b</sup>	4.1 <sup>a</sup>	0.5 <sup>b</sup>	1.4 <sup>b</sup>	0.01	0.33
Glutelinas básicas	51.0 <sup>b</sup>	73.4 <sup>a</sup>	78.1 <sup>a</sup>	59.9 <sup>b</sup>	0.0001	1.24
Glutelinas ácidas	0.2 <sup>b</sup>	6.1 <sup>a</sup>	0.7 <sup>b</sup>	0.5 <sup>b</sup>	0.05	0.77

PA=pasta de ajonjolí sin tostar.

PAT=pasta de ajonjolí tostada.

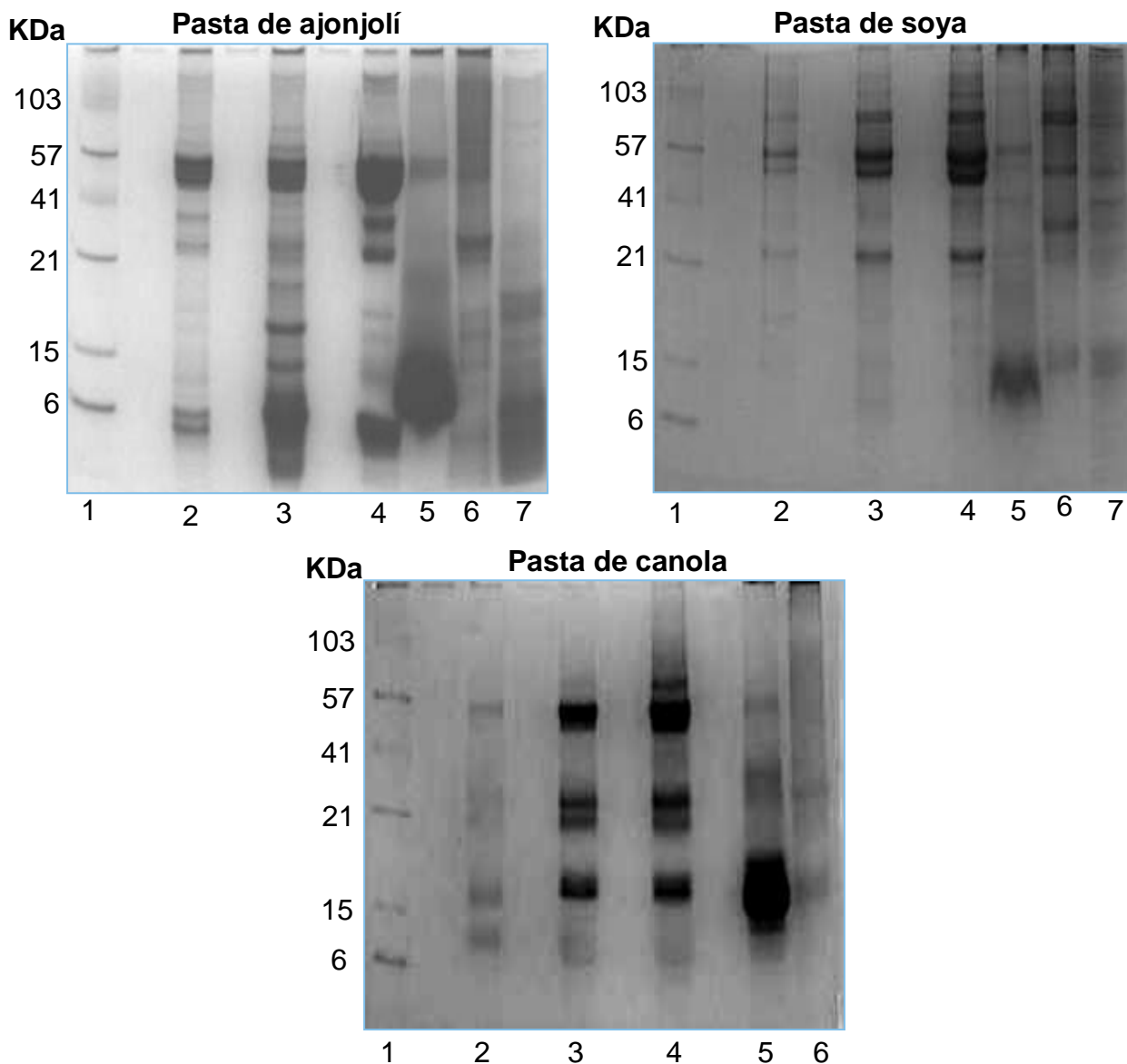
PS=pasta de soya.

PCA=pasta de canola.

P=Probabilidad; EEM=Error estándar de la media.

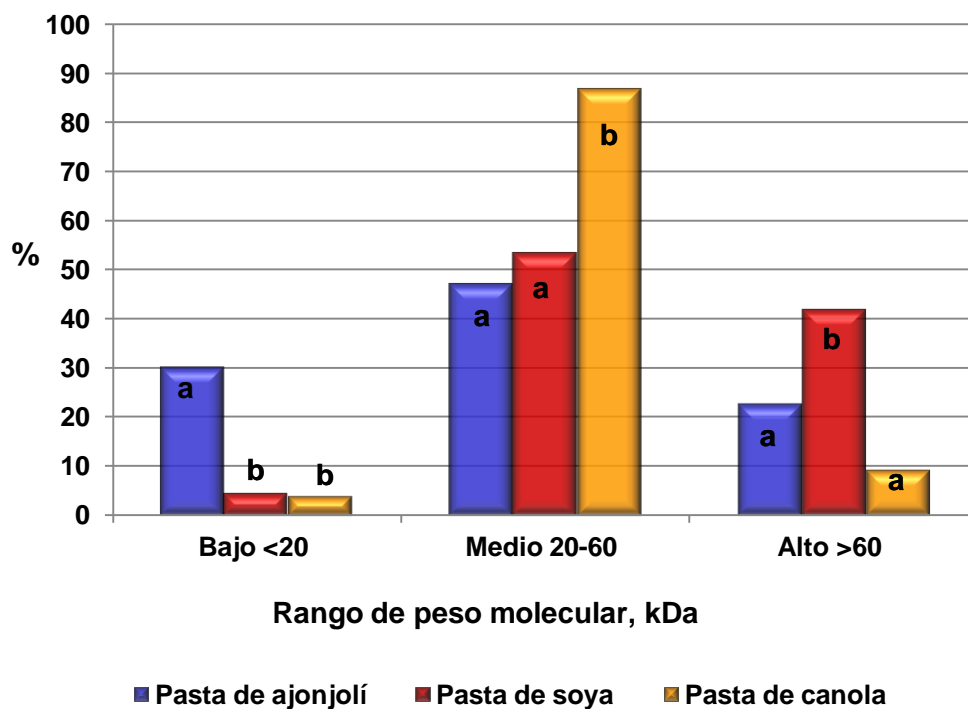
<sup>a,b,c</sup>Literales diferentes en la misma fracción de proteína son diferentes estadísticamente.

En la Figura 3 se presenta la distribución de las proteínas de las PA, PS y PCA desengrasadas sin fraccionar en función del rango del PM. La PA presentó una mayor ( $P < 0.05$ ) proporción de proteínas de bajo PM (<20 kDa) que la PS y PCA. La PCA contó con la mayor proporción ( $P < 0.05$ ) de proteínas de medio PM (20-60 kDa) que la PA y PS, las que fueron iguales. La PS mostró una mayor proporción de proteínas de alto PM (>60 kDa) que la PA y PCA, las que fueron similares.



**Figura 2.** Perfil electroforético de fracciones de proteína de pastas de oleaginosas. Carril 1, marcador de PM; 2, pasta desengrasada completa, 3, albúminas; 4, globulinas; 5, prolaminas; 6, glutelinas básicas; y 7, glutelinas ácidas.

La PA mostró una mayor distribución de proteínas de bajo (30.2%) y medio (47%) PM; la PS mayor distribución de bandas de medio (53.4%) PM seguida de alto (41.9%) PM y la PCA mayor distribución de bandas de medio (86.7%) PM.



**Figura 3.** Distribución de fracciones de proteína (%) de pastas de oleaginosas sin fraccionar por rangos de peso molecular

<sup>a,b</sup>Literales diferentes de cada rango de peso molecular entre las pastas son diferentes estadísticamente ( $P < 0.05$ ).

Las fracciones de proteína albúminas, globulinas, prolaminas, glutelinas ácidas y básicas de las tres pastas evaluadas se presentan en el Cuadro 5. La PA presentó los mayores ( $P < 0.05$ ) porcentajes de albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas básicas y ácidas con PM bajos (<20 kDa) comparativamente a los de la PS y PCA, los que presentaron cantidades similares ( $P > 0.05$ ). La PCA mostró los mayores ( $P < 0.05$ ) porcentajes de albúminas y globulinas con PM medios (20 a 60 kDa), pero cantidades similares ( $P < 0.05$ ) a los observados en la PS de glutelinas básicas y ácidas. La PS presentó los mayores ( $P < 0.05$ ) porcentajes de albúminas y globulinas con PM altos (>60 kDa), comparativamente a los de la PA y PCA, los que presentaron cantidades similares ( $P > 0.05$ ).

La proporción de prolaminas de medio y alto PM, así como de las glutelinas básicas y ácidas de alto PM no mostraron diferencias ( $P > 0.05$ ) entre las 3 pastas de oleaginosas.

**Cuadro 5** Fracciones de proteína (%) por rangos de peso molecular de pastas de oleaginosas

	PA	PS	PCA	P<	EEM
<b>Bajo &lt;20 kDa</b>					
<b>Albúminas</b>	35.2 <sup>a</sup>	15.1 <sup>b</sup>	8.4 <sup>b</sup>	0.001	1.78
<b>Globulinas</b>	28.0 <sup>a</sup>	5.4 <sup>b</sup>	10.7 <sup>b</sup>	0.01	1.87
<b>Prolaminas</b>	41.7 <sup>a</sup>	12.3 <sup>b</sup>	15.4 <sup>b</sup>	0.05	4.12
<b>Glutelinas básicas</b>	43.2 <sup>a</sup>	3.3 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0001	2.77
<b>Glutelinas ácidas</b>	64.5 <sup>a</sup>	19.1 <sup>b</sup>	9.7 <sup>b</sup>	0.01	4.47
<b>Medio 20 – 60 kDa</b>					
<b>Albúminas</b>	51.4 <sup>d</sup>	43.7 <sup>d</sup>	76.0 <sup>c</sup>	0.001	2.69
<b>Globulinas</b>	46.4 <sup>d</sup>	53.4 <sup>d</sup>	76.7 <sup>c</sup>	0.01	2.58
<b>Prolaminas</b>	53.3	62.0	62.9	NS	3.63
<b>Glutelinas básicas</b>	35.5 <sup>d</sup>	68.1 <sup>c</sup>	84.3 <sup>c</sup>	0.01	4.55
<b>Glutelinas ácidas</b>	17.4 <sup>d</sup>	67.2 <sup>c</sup>	84.7 <sup>c</sup>	0.01	4.19
<b>Alto &gt;60 kDa</b>					
<b>Albúminas</b>	13.5 <sup>f</sup>	41.3 <sup>e</sup>	15.6 <sup>f</sup>	0.01	2.47
<b>Globulinas</b>	25.7 <sup>f</sup>	41.2 <sup>e</sup>	12.7 <sup>f</sup>	0.001	1.93
<b>Prolaminas</b>	5.1	25.7	21.7	NS	3.54
<b>Glutelinas básicas</b>	21.4	28.6	15.7	NS	5.05
<b>Glutelinas ácidas</b>	18.1	13.7	5.6	NS	4.62

PA=pasta de ajonjolí sin tostar; PAT=pasta de ajonjolí tostada; PS=pasta de soya; PCA=pasta de canola.

P=Probabilidad; EEM=Error estándar de la media.

<sup>a,b</sup>Literales diferentes de la misma fracción de proteína de bajo PM (<20 kDa) son diferentes estadísticamente.

<sup>c,d</sup>Literales diferentes de la misma fracción de proteína de medio PM (20-60 kDa) son diferentes estadísticamente.

<sup>e,f</sup>Literales diferentes de la misma fracción de proteína de alto PM (>60 kDa) son diferentes estadísticamente.

Las fracciones de proteínas de la PA mostraron una mayor distribución de proteínas de bajo (28 – 65%) y medio (17 – 53 %) PM; las fracciones de proteína de la PS exhibieron una mayor distribución de bandas de medio PM (44 – 68%) seguida

de alto PM (14 – 41%); y las fracciones de proteína de la PCA presentaron mayor distribución de bandas de medio PM (63 - 85%).

## DISCUSIÓN

Los contenidos de PC de las pastas son comparables a los presentados en la literatura, para PA (Sastry *et al.*, 1973; Johnson *et al.*, 1979; Egbekun y Ehieze, 1997; Jimoh *et al.*, 2011); PS (Urbaityte *et al.*, 2009; Jezierny *et al.*, 2011; Landero *et al.*, 2013; Baker *et al.*, 2014) y PCA (Mariscal-Landín *et al.*, 2008; Safari *et al.*, 2011; Landero *et al.*, 2013; Zhou *et al.*, 2013).

El mayor contenido de EE y de EB de la PA y PAT respecto a los encontrados en la PS y PCA, probablemente se debió al tipo de oleaginosa y al método de extracción del aceite a la que fue sometida la semilla, el cual en el caso de la PA y PAT fue mecánico y en las otras pastas fue mediante solventes haciendo más eficiente su extracción (Egbekun y Ehieze, 1997; Spragg y Mailer, 2007; Cervantes-Pahm y Stein, 2008; de Coca-Sinova *et al.*, 2008; Nzikou *et al.*, 2010; Jimoh *et al.*, 2011).

El contenido de EE y cenizas de las PA es similar a lo reportado por Egbekun y Ehieze (1997) y Jimoh *et al.* (2011). Hay autores que reportan en PAT y PA concentraciones de PC y EE menores y de cenizas mayores (36.7, 2.5 y 13.2%, respectivamente) a las obtenidas en el presente trabajo (Hossain y Jauncey, 1990). La EB obtenida por Thu *et al.* (2011) es similar a la encontrada en la presente investigación. Según Marty *et al.* (1994) el tostado decrece la EB de la PS de 3580 a 3382 kcal/kg, situación que en el presente trabajo no se observó.

El contenido de EE de la PS y PCA concuerda con los porcentajes presentados por otras investigaciones (Cervantes-Pahm y Stein, 2008; de Coca-Sinova *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2011; Landero *et al.*, 2013; Zhou *et al.*, 2013). Otros autores han encontrado porcentajes de EE ligeramente mayores en la PS (Urbaityte *et al.*, 2009; Jezierny *et al.*, 2011) y en la PCA [Landero *et al.*, 2012 (extracción con presión), Safari *et al.*, 2011]. La EB de PS y PCA obtenida por González y Stein (2012) fue muy similar a la obtenida en el presente trabajo. Sin embargo, de Coca-



Sinova *et al.* (2008) reportaron valores de EB menores a los de la presente investigación.

El contenido de cenizas de la PS y PCA entra dentro de los porcentajes reportados por otras investigaciones (Jeziorny *et al.*, 2011; Landero *et al.*, 2013; y Safari *et al.*, 2011; Landero *et al.*, 2012; Zhou *et al.*, 2013).

En general el contenido de FDN y EB está en función de la presencia o ausencia de cascarilla (NRC, 1998). La alta concentración de FDN en PCA y PAT limita su empleo en dietas para lechones (Mariscal-Landín *et al.*, 2008), pudiéndose emplear en la alimentación de cerdas (Avilés *et al.*, 2009) y de rumiantes (Obeidat *et al.*, 2009; Theodoridou y Yu, 2013). En el caso de PCA los valores de FDN reportados en la literatura varían de 20 a 35% dependiendo del origen, estando nuestros datos dentro de estos rangos (Mariscal-Landín *et al.*, 2008; Safari *et al.*, 2011; Landero *et al.*, 2012, 2013; Zhou *et al.*, 2013). Escobar (2008) mostró contenidos de FDN de la PA y PAT similares a los encontrados en el presente trabajo, incrementándose en la PAT por efecto del tratamiento térmico. En el caso de PCA los valores de FDN reportados en la literatura varían de 20 a 35% dependiendo del origen, estando nuestros datos dentro de estos rangos (Mariscal-Landín *et al.*, 2008; Safari *et al.*, 2011; Landero *et al.*, 2012, 2013; Zhou *et al.*, 2013). Bigoniya *et al.* (2012) y Costa do Nascimento *et al.* (2012) reportaron porcentajes de FDT en pasta de ajonjolí similares a los encontrados en el presente trabajo. La diferencia entre FDN y FDT de la PA y PAT es de 14.1 y 6.0 unidades porcentuales, observándose que en la PAT ambas determinaciones son muy similares, lo que indica que la porción de fibra soluble contenida en la PA se insolubilizó por el proceso de tostado. Sin embargo, la FDT de la PA y PAT no mostró cambios con el tratamiento térmico, a diferencia de lo reportado por González (2000), quien observó que el tratamiento térmico en leguminosas incrementó la FDT y disminuyó la FD soluble. El alto porcentaje de FDN de la PAT puede indicar que el proceso del tostado provoca, por la reacción de Maillard, una mayor insolubilidad de algunos carbohidratos por enlaces covalentes con proteínas. Esta condición es la que más ha afectado su empleo y su aceptación en la alimentación animal (pues se habla de que se adultera con alimentos fibrosos), pues se ve comprometida negativamente la

digestibilidad de la proteína, disminuye su palatabilidad por tener un mal sabor y produce un obscurecimiento no deseado (Oliver *et al.*, 2006).

El contenido de FDN de la PS en el presente trabajo es similar a lo reportado por otros autores (Cervantes-Pahm y Stein, 2008; de Coca-Sinova *et al.*, 2008; Mateos *et al.*, 2009; Jezierny *et al.*, 2010, 2011). Otros investigadores han reportado valores de FDN menores (Landro *et al.*, 2013; Baker *et al.*, 2014).

El contenido de FDT de la PS mencionada por Karr-Lilienthal *et al.* (2004), Redondo *et al.* (2006) y Landro *et al.* (2013) es bastante cercano a lo encontrado en el presente trabajo; sin embargo, van Kempen *et al.* (2002) y Carbonaro (2011) observaron valores menores. Knudsen (2001) indicó valores de FDT de la PS y PCA muy similares a los obtenidos en la presente investigación. La FDT de la PCA reportada por Landro *et al.* (2012) es bastante cercano a la de este estudio, aunque, en otro trabajo de Landro *et al.* (2013) informaron valores menores.

En cuanto a la concentración de FAN reportadas en pastas oleaginosas existe una gran variabilidad, entre los factores responsables de esta heterogeneidad están la técnica empleada en su determinación, la variedad de la semilla, clima, condiciones ambientales de crecimiento, el estado de madurez de la semilla, así como al tratamiento térmico aplicado para su obtención. La presencia de FAN reduce la disponibilidad biológica y la digestibilidad de uno o más nutrientes, ocasionando disminución del consumo de alimento, de la función digestiva, eficiencia productiva y respuesta inmune. Muchos de estos factores antimetabólicos pueden ser inactivados mediante una adecuada aplicación de diversos tratamientos tecnológicos (efecto mecánico, hidrotérmico y térmico) (de Lange *et al.*, 2000; D'Mello, 2000; Schlemmer *et al.*, 2009).

El ácido fítico (conocido como hexafosfato de inositol (IP6), o fitato cuando forma sal) es la principal forma de almacenamiento de fósforo en muchos tejidos vegetales. El fitato se forma durante la maduración de la semilla de la planta representando un 60-90% del fósforo total. El fósforo en esta forma, no es empleado por los humanos; sin embargo en los cerdos existe una fitasa intestinal (Kumar *et al.*, 2010). El fitato a pH fisiológico presenta una gran carga negativa, por lo que se asume que no puede atravesar la bicapa lipídica de las membranas plasmáticas y en

consecuencia, su absorción en el TGI es muy baja (Schlemmer *et al.*, 2009; Kumar *et al.*, 2010). El fitato forma complejos entre sus cargas negativas y las positivas de iones minerales di y trivalentes como el  $Zn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}/^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  and  $Cu^{2+}$ , decreciendo su biodisponibilidad. Forma complejos con las proteínas a pH bajos y altos, alterando la estructura de la proteína y decreciendo su solubilidad, la actividad enzimática y la digestibilidad proteolítica. También forma complejos con los carbohidratos (fitato-carbohidrato) y lípidos (lipo-fitato) haciendo a éstos menos degradables. Por estas razones se le ha denominado FAN (Johnson *et al.*, 1979; Schlemmer *et al.*, 2009; Kumar *et al.*, 2010).

En el TGI existe interacción del fitato con minerales y otros nutrientes dietarios dependiente del pH. La digesta pasa de un pH bajo en el estómago a uno neutro en el intestino delgado. Durante el movimiento de la digesta, los complejos dietarios fitato-minerales pueden disociarse y pueden formar otros complejos a través del TGI.

Para la PA se han reportado concentraciones de AF de 0.5 a 5 % (Johnson *et al.*, 1979; Hossain y Jauncey, 1990; Li *et al.*, 2000; Jimoh *et al.*, 2011), para PS de 1.3 – 4.1 %, respectivamente (Latta y Eskin, 1980; Anderson y Wolf, 1995; van Kempen *et al.*, 2002; Gilani *et al.*, 2012), y para PCA de 3 a 6 (Latta y Eskin, 1980; Aider y Barbana, 2011; Safari *et al.*, 2011; Gilani *et al.*, 2012). Las concentraciones de AF obtenidas en el presente trabajo entran dentro de los intervalos antes mencionados en las pastas de las oleaginosas evaluadas.

El contenido del AF de la PAT fue estable al tratamiento térmico, tal y como lo observaron Bruggink (1993) y Kumar *et al.* (2010), pues aunque fue diferente a la concentración de AF de la PA, la concentración no disminuyó, sino se concentró ligeramente. Otros autores como Hossain y Jauncey (1990) han reportado una reducción del AF hasta del 74% con tratamientos térmicos.

El grado de destrucción del inhibidor de tripsina depende de la temperatura, duración del calentamiento, tamaño de la partícula y condiciones de humedad. En general, la reducción de la AIT mejora el valor nutritivo de la fuente proteica (Hossain y Jauncey, 1990).

En los valores de AIT de las pastas oleaginosas también existe mucha variabilidad en lo reportado en la literatura, en PA de 0.29 mg/g (Jimoh *et al.*, 2011);

en PS de 0.2 a 6.5 mg/g (de Coca-Sinova *et al.*, 2008; Urbaityte *et al.*, 2009; Gilani *et al.*, 2010; Jezierny *et al.*, 2010, 2011), y en PCA de 0% y no detectado (Fan *et al.*, 1995 y Grala *et al.*, 1998).

El proceso de tostado disminuyó la AIT en un 68.4% en la PAT, con respecto a la PA por desnaturalización del inhibidor proteico, dato comparable a lo reportado por Jimoh *et al.* (2011) en PA y Anderson y Wolf (1995) en soya. La disminución en la inhibición de la tripsina es una ventaja para la PAT, sin embargo, al igual que se desnaturalizó este inhibidor, también se desnaturalizaron otras proteínas contenidas en la PAT, disminuyendo su funcionalidad y/o digestibilidad.

El tostado de la PA no afectó el contenido de PC, EE, cenizas, FC y AA (Hossain y Jauncey, 1990; Kumar *et al.*, 2009). El tostado y el tiempo (180°C por 5, 10 y 15 min) disminuye la actividad de la AIT y AF del ajonjolí (Jimoh *et al.*, 2011). En la soya disminuye la AIT, pero también decrece la solubilidad de la proteína y la disponibilidad de lisina (Anderson-Hafermann *et al.*, 1992; Kumar *et al.*, 2009).

Los perfiles de AG del aceite de ajonjolí sin tratar térmicamente reportados por Sato *et al.* (2003), Im *et al.* (2004), Kang (2004), Aued-Pimentel *et al.* (2006), Elleuch *et al.* (2007), Kanu *et al.* (2007), Nzikou *et al.* (2009, 2010), Anilakumar *et al.* (2010), Latif y Anwar (2011) fueron similares a los obtenidos en el presente trabajo. El ácido graso saturado con mayor concentración es el palmítico (7.4-11.7%), seguido del esteárico (4-6.6%). Los ácidos grasos insaturados predominantes son el oleico (33.5-49.4%), linoleico (35.6-49.6%) y linolénico (0.3-3.5-%) por lo que el aceite de ajonjolí es clasificado como del grupo de ácidos oleico-linoleico. El ácido linoleico es uno de los más importantes ácidos poliinsaturados en la alimentación tanto humana como animal, ya que previene distintas enfermedades vasculares del corazón.

Los perfiles de ácidos grasos de PS reportados en la literatura indican diferencias pequeñas en relación a los resultados obtenidos en el presente trabajo (Mateos *et al.*, 2009; Elwakeel *et al.*, 2012). Sin embargo, para la PCA Downey (1990), Muñoz *et al.* (2002) y Newkirk (2009), reportaron porcentajes menores de ácido palmítico (4.7 %), esteárico (1.8 %) y linoleico (20 - 21 %), y porcentajes mayores para oleico (63 %) y linolénico (8.6 - 12 %).

El tratamiento térmico es uno de los métodos más utilizados en la industria, sin embargo, el calentamiento prolongado del aceite causa cambios en sus propiedades físicas y químicas. En la PA el tratamiento térmico provocó que el contenido de ácidos grasos saturados se incrementara y por ende los insaturados se redujeran. Lo cual indica que el calor provoca una saturación de los ácidos grasos insaturados como lo demostró Nzikou *et al.* (2010) que al realizar un tratamiento térmico al aceite de ajonjolí de 200°C por un periodo de 0-240 min, observaron que el índice de iodo decreció con el tiempo de calentamiento, indicando un decremento de insaturaciones en los ácidos grasos de los triglicéridos. Por otro lado, Biglar *et al.* (2012) reportaron que el proceso de tostado de la semilla de ajonjolí a diferentes tiempos y temperaturas no afecta el perfil de ácidos grasos, presentando un contenido de ácidos grasos insaturados (oleico y linoleico) de 80 – 85% y de saturados (palmítico y esteárico) de 12 – 15%.

La PA a pesar de ser deficiente en lisina, el alto contenido de aminoácidos azufrados, conjuntamente con el de arginina en la PA y PAT representa una ventaja de esta fuente proteica. Los aminoácidos azufrados, principalmente la metionina es un aminoácido esencial en las dietas para aves de corral, ya que siempre las dietas se suplementan con metionina sintética, incrementando el costo de producción, haciendo a la PA una fuente proteica alterna rica en metionina para la alimentación de las mismas (Fuentes *et al.*, 2005; Diarra y Usman, 2008; Cevallos *et al.*, 2009; Yasothai *et al.*, 2009). La arginina se ha considerado un aminoácido esencial, pues mejora la función inmune, el crecimiento y el desarrollo intestinal de los cerdos en la fase fetal, en los neonatos y en el periodo posdestete (Wu *et al.*, 2007; Zhan *et al.*, 2008; Huang *et al.*, 2011; Anilakumar *et al.*, 2010; Latif y Anwar, 2011).

Hossain y Jauncey (1990) al tostar PA no observaron cambios en el perfil de aminoácidos, ni en la disponibilidad de lisina; sin embargo, Kumar *et al.* (2009) y González *et al.* (2011) reportaron que el tostado de oleaginosas disminuye la disponibilidad de la lisina por la reacción de Maillard.

En general, el perfil de aminoácidos de la PS estuvo dentro del rango reportado en la literatura, inclusive PS de diferente origen (Estados Unidos, Brasil e India) (Urbaityte *et al.*, 2009; Cervantes-Pahm y Stein, 2008, 2010; Jezierny *et al.*,

2011; Wang *et al.*, 2011)), pero la variabilidad es grande, especialmente para lisina (2.49 a 3.04%). Concentraciones mayores de lisina en PS han sido reportadas por Baker *et al.*, 2014 (3.1-3.6%) y por van Kempen *et al.*, 2002 (3.2-3.5%) de PS de diferentes partes de Estados Unidos.

La PCA tiene un buen perfil de aminoácidos, ya que se localiza entre el de la PS y PA. Es limitante en lisina y presenta valores de metionina similares a los de la PS (Chen *et al.*, 2011). Los perfiles de aminoácidos reportados por Mariscal-Landín *et al.* (2008) y González y Stein (2012) son muy similares a los obtenidos en el presente trabajo. Otros reportes de la literatura mencionan porcentajes de arginina que van de 0.7 a 3.25%, lisina de 0.45 a 2.81%, metionina de 0.32 a 0.85%, cisteína de 0.2 a 1.7, leucina de 1.1 a 3.6, prolina de 0.5 a 3.6% entre otros (Chen *et al.*, 2011; Landeros *et al.*, 2012, 2013; Zhou *et al.*, 2013).

La eficiencia de extracción de proteínas está influenciada por factores tales como: el tamaño de partícula de la fuente de proteína, la fuerza de agitación, la relación harina-disolvente, el solvente y pH, el tiempo y la temperatura, el número de extracciones por etapa, el estado fisiológico de la semilla, así como la familia y variedad a la que pertenece la semilla de dónde provino la pasta (Gandhi y Srivastava, 2007). Gandhi *et al.* (2000) y Gandhi y Srivastava (2007) determinaron que la máxima extracción de proteínas de la semilla de ajonjolí (30.1%) y de soya fue empleando NaOH durante 1 hora a temperatura ambiente, mostrando que las condiciones alcalinas solubilizan las proteínas.

Tan *et al.* (2011b) mencionaron que los procesos de extracción de aceites en las semillas oleaginosas provocó una disminución en la solubilidad de la proteína en agua y en sales diluidas, lo cual está asociado a un decremento en el contenido de FAN de origen proteico. En este estudio se obtuvieron porcentajes menores de albúminas y globulinas que de glutelinas básicas, así como valores bajos de actividad inhibitoria de tripsina (AIT), lo que pudiera promover una mayor digestibilidad de la proteína, ya que para el caso de la semilla entera de soya la AIT es de alrededor de 114 mg/g. Algunos autores refieren que las altas temperaturas empleadas en la extracción del aceite de semillas oleaginosas, provocan una disminución en la eficiencia de extracción de las proteínas, así como de su

desnaturalización, causando un incremento en la fracción de glutelinas básicas y un decremento en las fracciones de albúminas y globulinas (L'Hocine y Boye, 2007; Orruño y Morgan, 2007; Tan *et al.* 2011b). El proceso de tostado de la semilla de ajonjolí previo a la extracción del aceite provocó un incremento en las fracciones de: albúminas, de prolaminas, de glutelinas básicas y de glutelinas ácidas, así como un decremento considerable en la fracción de globulinas. Esto causó desnaturalización de las proteínas de ajonjolí, observándose un pronunciado decremento en la intensidad de las bandas al separarse por electroforesis, no pudiéndose observar con claridad (Achiouri *et al.*, 2012; Achouri y Boye, 2013).

La diferencia en magnitud de PM entre las pastas oleaginosas evaluadas en la presente investigación puede estar influenciada por la familia y especie a la que pertenecen (Gandhi y Srivastava, 2007). Algunos autores reportan rangos de PM de proteínas contenidas en PA similares a los que se obtuvieron en la presente investigación de <8 a 126 kDa (Orruño y Morgan, 2006) y de 9 a 100 kDa (Achouri *et al.*, 2012); en PS de 14.4 a 91 kDa (Liu *et al.*, 2007); y en PCA de 12 a 80 kDa (Aluko y McIntosh, 2001; Aider y Barbana, 2011; Tan *et al.*, 2011a).

Latif y Anwar (2011), Orruño y Morgan (2011) y Achouri *et al.* (2012) mencionan que mucha de la proteína presente en las semillas de ajonjolí son de reserva, compuestas de albúminas (8.6%), globulinas (67.3%), glutelinas (7%) y prolaminas (1.4%), proporciones similares en algunas fracciones a las obtenidas en el presente trabajo. La mayor fracción proteica del ajonjolí son las globulinas, que contiene cerca del 95% de la globulina 13S, la que es muy susceptible a la desnaturalización por calor y es una estructura muy similar a la globulina 11S de la soya (Anilakumar *et al.*, 2010). Las proteínas presentes en la PA son la  $\alpha$ -globulina y la  $\beta$ -globulina. La PA contiene cuatro veces más  $\alpha$ -globulina que  $\beta$ -globulina. La proteína  $\alpha$ -globulina comprende del 65-70% del total de la proteína de la semilla. La proteína  $\alpha$ -globulina consiste de 12 diferentes subunidades con rangos de PM de 8 a 85 kDa, las cuales están predominantemente asociadas por interacciones hidrofóbicas (Johnson *et al.*, 1979).

En un trabajo realizado por Achouri *et al.*, 2012, encontraron que las proteínas de las semillas de ajonjolí extraídas con agua revelaron bandas que comprendían de

9 a 100 kDa de PM. Las globulinas 2S (13 kDa) y 7S (45-50 kDa) fueron las más abundantes, principalmente la primera. Estas bandas de polipéptidos corresponden a oleosinas. Al extraer las proteínas con NaCl (0.2 – 1M) mostraron perfiles de elusión similares entre sí, presentaron bandas de subunidades ácidas (30-35 kDa) y de subunidades básicas (20-25 kDa) de globulinas 11S. También mostraron altas proporciones de proteínas 2S y 7S. El perfil de las fracciones de proteína de la PA en el presente trabajo fue muy similar al obtenido por estos autores, tanto en agua como en NaCl.

Aproximadamente 90% de las proteínas de reserva de las semillas de soya son las globulinas, seguidas de las albúminas. Estas proteínas están constituidas por cuatro fracciones: 2S (contiene del 8 al 22% de las proteínas extraídas e incluye el inhibidor de tripsina), 7S (comprende alrededor del 35% de las proteínas solubles, contiene a la proteína de reserva más abundante la  $\beta$ -conglucina, también se encuentra la lectina), 11S (comprende del 31 al 52% de la proteína soluble e incluye a la glicinina) y 15S (comprende cerca del 5% del total de proteína extraíble e incluye polímeros proteicos) (L'Hocine y Boye, 2007). La  $\beta$ -conglucina (126 – 171 kDa) está conformada por 3 subunidades:  $\alpha'$  (80-93 kDa),  $\alpha$  (71.5 – 75 kDa) y  $\beta$  (48 – 55 kDa). La glicinina está conformada por 2 subunidades: la ácida (34 -38.9 kDa) y la básica (15-20.7 kDa) (Sadeghi *et al.*, 2006; Zheng *et al.*, 2009). Urbaityte *et al.* (2009) reportan en PS contenidos de globulinas del 60-90% (constituidas principalmente por lisina, arginina, glutámico y aspártico) y albúminas de 10-20% (constituidas principalmente por treonina y triptófano).

El perfil de proteínas de la PS fue muy similar al obtenido por Deak *et al.* (2006) en semilla de soya. Chen *et al.* (2010) reportaron en PS una distribución de proteínas de bajo PM (<16 kDa), mediano (16-55 kDa) y alto (>55 kDa) de 7.2, 54 y 38.8%, respectivamente, distribuciones muy semejantes a las obtenidas en nuestra investigación para el caso de la PS. Por otro lado, Cervantes y Stein (2010) observaron en PS distribuciones de proteína de bajo PM <20 kDa = 29.82%, mediano 20-60 kDa = 48.2% y alto >60 kDa = 27%.

Los pesos moleculares de las proteínas extraídas con NaCl separadas por SDS-PAGE en la PCA tuvieron pesos moleculares de 14, 18-20, 20-22, 34 and 55



kDa (Ratanapariyanuch *et al.*, 2012) y de 16, 18, 30 y 53 kDa (Aluko y McIntosh, 2001; Aider y Barbana, 2011; Tan *et al.*, 2011a), perfiles muy similares a los obtenidos en el presente trabajo en PCA.

## **CONCLUSIONES**

La composición química de las pastas mostró una mayor variación en los niveles de PC, EE, FDN, FDT, EB, arginina, lisina, metionina. Todas las pastas son excelentes fuentes de ácidos grasos insaturados, principalmente oleico y linoléico. El FAN dominante en la PA, PAT y PCA fue el ácido fólico y en la PS la AIT. Las diferencias entre las proteínas presentes en las PA, PCA y PS están en los rangos de pesos moleculares, así como en la distribución de las fracciones de proteína según su solubilidad. Con base en lo anterior, queda claro que el proceso de tostado de la semilla de ajonjolí solo beneficia a la calidad del aceite, mientras que la calidad nutritiva de la pasta residual se ve afectada por las altas temperaturas que se emplean, causando una modificación adversa en el perfil de las proteínas y un incremento en el contenido de FDN y FDT. La única ventaja en la composición de la pasta tostada es que se reduce la inhibición de la tripsina por desnaturalización de su inhibidor.

## **LITERATURA CITADA**

- Achouri, A. and J.I. Boye. 2013. Thermal processing, salt and high pressure treatment effects on molecular structure and antigenicity of sesame protein isolate. *Food Res. Int.* 53:240–251.
- Achouri, A., V. Nail and J.I. Boye. 2012. Sesame protein isolate: Fractionation, secondary structure and functional properties. *Food Res. Int.* 46:360–369.
- Aider M. and C. Barbana. 2011. Canola proteins: composition, extraction, functional properties, bioactivity, applications as a food ingredient and allergenicity. A practical and critical review. *Trends Food Sci. Technol.* 22:21-39.
- Aluko, R.E. and T. McIntosh. 2001. Polypeptide profile and functional properties of defatted meals and protein isolates of canola seeds. *J. Sci. Food Agric.* 81:391-396.

- Anderson-Hafermann, J.C., Y. Zhang and C.M. Parsons. 1992. Effect of heating on nutritional quality of conventional and Kunitz trypsin inhibitor-free soybeans. *Poult. Sci.* 71:1700-1709.
- Anderson, R.L. and J. Wolf. 1995. Compositional changes in trypsin inhibitors, phytic acid, saponins and isoflavones related to soybean processing. *J. Nutr.* 125:581S-588S.
- Anilakumar K.R., A. Pal, F. Khanum and A.S. Bawa. 2010. Nutritional, medicinal and industrial uses of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds - An Overview. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 75:159-168.
- AOAC. 2012. Official Methods of Analysis. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Aued-Pimentel, S., E. Takemoto, R. Antoniassi and B.E.S. Gastaldo. 2006. Composition of tocopherols in sesame seed oil: an indicative of adulteration. *Grasas y aceites* 57:205-210.
- Avilés, R.E.D., G.J.A. Espinosa, F.J.A. Rentería, G.C.A. Mejía, L.G. Mariscal e I.J.A. Cuarón. 2009. Disponibilidad de ingredientes no tradicionales con potencial de ser usados en la alimentación de cerdas gestantes en el Bajío mexicano. *Vet. Méx.* 40:357-370.
- Baker, K.M., Y. Liu and H.H. Stein. 2014. Nutritional value of soybean meal produced from highprotein, low oligosaccharide, or conventional varieties of soybeans and fed to weanling pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 188:64–73.
- Bateman, J.V. 1980. *Nutrición animal. Manual de métodos analíticos.* Herrero Hnos. y Sucesores. México.
- Biglar, M., G. Moghaddam, N. Sadeghi, M.O. Reza, B. Jannat, Z. Kaboli, S. Hassani and M. Hajimahmoodi. 2012. Profiling of major fatty acids in different raw and roasted sesame seeds cultivars. *Afr. J. Biotech.* 11:6619-6623.
- Bigoniya, P., R. Nishad and C.S. Singh. 2012. Preventive effect of sesame seed cake on hyperglycemia and obesity against high fructose-diet induced Type 2 diabetes in rats. *Food Chem.* 133:1355–1361.

- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72:248-254.
- Bruggink, J. 1993. Utilización de concentrados de proteína de soja en dietas de animales jóvenes. Ubicado en: [http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/93CAP\\_10.pdf](http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/93CAP_10.pdf).
- Carbonaro, M. 2011. Role of pulses in nutraceuticals. Cap 14. In: *Pulse Foods: Processing, Quality and Nutraceutical Applications*. Ed. Tiwari, B.K., A. Gowen and B. McKenna. Academic Press, USA.
- Cervantes-Pahm S.K. and H.H. Stein. 2008. Effect of dietary soybean oil and soybean protein concentration on the concentration of digestible amino acids in soybean products fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 86:1841–1849.
- Cervantes-Pahm, S.K. and H.H. Stein. 2010. Ileal digestibility of amino acids in conventional, fermented, and enzyme treated soybean meal and in soy protein isolate, fishmeal, and casein fed to weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 88:2674-2683.
- Cevallos, G.A.L., B.M. Fuente, A.C. Cortés y E.G. Ávila. 2009. Nivel óptimo de lisina digestible en dietas para gallinas de postura de primer ciclo. *Téc. Pecu. Méx.* 47:215-222.
- Costa do Nascimento, E.M.G., C.W.P. Carvalho, C.Y. Takeiti, F.D.G. Castro and A.L. Ramírez. 2012. Use of sesame oil cake (*Sesamum indicum* L.) on corn expanded extrudates. *Food Res. Int.* 45:434–443.
- Chen, C.C., Y.C. Shih, P.W.S. Chiou and B. Yu. 2010. Evaluating nutritional quality of single stage- and two stage-fermented soybean meal. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 23:598 – 606.
- Chen, G.L., B. Zhang, J.G. Wu and C.H. Shi. 2011. Nondestructive assessment of amino acid composition in rapeseed meal based on intact seeds by near-infrared reflectance spectroscopy. *Anim. Feed Sci. Technol.* 165:111–119.
- Dashak, D.A. and C.N. Fali. 1993. Chemical composition of four varieties of Nigerian Benniseed (*Sesamun indicum*). *Food Chem.* 47:253-255.
- Deak, N.A., P.A. Murphy and L.A. Johnson. 2006. Fractionating soybean storage proteins using  $Ca_2+$  and  $NaHSO_3$ . *J. Food Sci.* 71:413-424.

- de Coca-Sinova, A., D.G. Valencia, E. Jimenez-Moreno, R. Lazaro and G.G.Mateos. 2008. Apparent ileal digestibility of energy, nitrogen, and amino acids of soybean meals of different origin in broilers. *Poult. Sci.* 87:2613–2623.
- de Lange, C., C. Nyachoti and M. Verstegen. 2000. The significance of antinutritional factors in feedstuffs for monogastric animals. In: *Feed evaluation, principles and practice*. P.J. Moughan, M.W.A. Verstegen, M.I. Visser-Reyneveld. Wageningen: Wageningen Pers, 2000 - pp. 169 - 188
- Diarra, S.S. and B.A. Usman. 2008. Performance of laying hens fed graded levels of soaked sesame (*Sesamum indicum*) seed meal as a source of methionine. *Int. J. Poult. Sci.* 7:323-327.
- D'Mello, J.P.F. 2000. Antinutritional factors and mycotoxins. In J.P.F. D'Mello, ed. *Farm animal metabolism and nutrition*. CAB International, 383. Reino Unido.
- Downey, R.K. 1990. Canola: A quality brassica oilseed. In: J. Janick and J.E. Simon (eds.), *Advances in new crops*. Timber Press, Portland, OR. pp. 211-217
- Egbekun, M.K. and M.U. Ehieze. 1997. Proximate composition and functional properties of fullfat and defatted beniseed (*Sesamum indicum* L.) flour. *Plant Foods Hum. Nutr.* 51:35–41.
- Elleuch, M., S. Besbes, O. Roiseux, C. Blecker and H. Attia. 2007. Quality characteristics of sesame seeds and by-products. *Food Chem.* 103:641–650.
- Elwakeel, E.A., E.C. Titgemeyer, Z.J. Cheng, A.M. Nour and M.E.A. Nasser. 2012. In Vitro assessment of the nutritive value of expanded soybean meal for dairy cattle. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 3:10-17.
- Escobar, G.K. 2008. Pasta de ajonjolí y pasta de soya: Fuentes de proteína de calidad para la alimentación de lechones recién destetados. Tesis Maestría en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal. UNAM. México.
- Fan, M.Z., W.C. Sauer and C.F.M. de Lange. 1995. Amino acid digestibility in soybean meal, extruded soybean and full-fat canola for early-weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 52:189-203.
- Folch, J., M. Lees and G.H.S. Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226:497-509.

- Fuentes, M.B., A.C. Díaz, J.L. Lecumberri y E.G. Ávila. 2005. Necesidades de lisina y aminoácidos azufrados digestibles en gallinas Leghorn Blancas. *Vet. Méx.* 36:135-145.
- Gandhi, A.P., S.K. Khare and K. Jha. 2000. Preparation of protein isolates from soy meal. *J. Food Sci. Technol.* 37: 624-626.
- Gandhi, A.P. and J. Srivastava. 2007. Studies on the production of protein isolates from defatted sesame seed (*Sesamum indicum*) flour and their nutritional profile. *ASEAN Food J.* 14:175-180.
- Gao, Y., C. Shang, Saghai Maroof MA, R.M. Biyashev, E.A. Grabau, P. Kwanyuen, J.W. Burton and G.R. Buss. 2007. A modified colorimetric method for phytic acid analysis in soybean. *Crop Sci.* 47:1797-1803.
- Gilani, G.S., C.W. Xiao and K.A. Cockell. 2012. Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality. *Br. J. Nutr.* 108:S315–S332.
- González, G.C.A. 2000. Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de fibra dietética total, soluble e insoluble en algunas leguminosas. *Arch. Latinoamer. Nutr.* 50:281-285.
- González, V.J.C., B.G. Kim, J.K. Htoo, A. Lemme and H.H. Stein. 2011. Amino acid digestibility in heated soybean meal fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 89:3617–3625.
- González, V.J.C. and H.H. Stein. 2012. Amino acid digestibility in canola, cottonseed, and sunflower products fed to finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:4391–4400.
- Grala, W., M.W.A. Verstegen, A.J.M. Jansman, J. Huisman, and P. van Leeusen. 1998. Ileal apparent protein and amino acid digestibilities and endogenous nitrogen losses in pigs fed soybean and rapeseed products. *J. Anim. Sci.* 76:557–568.
- Henderson, J.H., R.D. Ricker, B.A. Bidlingmeyer and C. Woodward. 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.

- Hiremath, S.C., C.G. Patil, K.B. Patil and M.H. Nagasampige. 2007. Genetic diversity of seed lipid content and fatty acid composition in some species of *Sesamum* L. (Pedaliaceae). *Afr. J. Biotechnol.* 6:539-543.
- Hossain, M.A. and K. Jauncey. 1990. Detoxification of linseed and sesame meal and evaluation of their nutritive value in the diet of common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Asian Fish. Sci.* 3:169-183.
- Huang, L., Z. Jiang, Y. Lin, C. Zheng, S. Wang, X. Yang and G. Wu. 2011. Effects of L-arginine on intestinal development and endogenous arginine-synthesizing enzymes in neonatal pigs. *Afr. J. Biotechnol.* 10:7915-7925.
- Im, H.J., S.M. Ahn, S.J. You, Y.R. Kim, B.K. Ahn and C.W. Kang. 2004. Evaluation of the feeding value of sesame oil meal and effects of its dietary supplementation on the performance of laying hens. *Korean J. Poult. Sci.* 31:255-263.
- Jezierny, D., R. Mosenthin and E. Bauer. 2010. The use of grain legumes as a protein source in pig nutrition: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 157:111–128.
- Jezierny, D., R. Mosenthin, N. Sauer, S. Roth, H.P. Piepho, M. Rademacher and M. Eklund. 2011. Chemical composition and standardised ileal digestibilities of crude protein and amino acids in grain legumes for growing pigs. *Livest. Sci.* 138:229–243.
- Jimoh, W.A., O.A. Fagbenro and E.O. Adeparusi. 2011. Effect of processing on some minerals, anti-nutrients and nutritional composition of sesame (*Sesamum indicum*) seed meals. *EJEAFChe* 10:1858-1864.
- Johnson, L.A., T.M. Suleiman and E.W. Lusas. 1979. Sesame Protein: A review and prospectus. *J. Am. Oil Chemists' Soc.* 56:463-468.
- Kakade, M.L., J.J. Rackis, J.E. McGhee and G. Puski. 1974. Determination of trypsin inhibitor activity of soy products: A collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal Chem.* 51:376-382.
- Kang, M.H. 2004. Evaluation of chemical properties of white sesame produced from different origin. *J. East Asian Soc. Dietary Life* 14:348-354.

- Kanu, P.J., K. Zhu, J.B. Kanu, H. Zhou, H. Qian and K. Zhu. 2007. Biologically active components and nutraceuticals in sesame and related products: a review and prospect. *Trends Food Sci. Technol.* 18:599-608.
- Karr-Lilienthal, L.K., C.M. Grieshop, N.R. Merchen, D.C. Mahan and G.C. Fahey. 2004. Chemical composition and protein quality comparisons of soybeans and soybean meals from five leading soybean-producing countries. *J. Agric. Food Chem.* 52:6193-6199.
- Knudsen, K.E.B. 2001. The nutritional significance of “dietary fibre” analysis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 90:3-20.
- Kumar, M.C., A.A.G. Rao and S.A. Singh. 2009. Effect of infrared heating on the formation of sesamol and quality of defatted flours from *Sesamum indicum* L. *J. Food Sci.* 74:105-111.
- Kumar, V., A.K. Sinha, H.P.S. Makkar and K. Becker. 2010. Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition: A review. *Food Chem.* 120:945–959.
- Kurki, A., J. Bachmann, H. Hill, L. Ruffine, B. Lyons, and M. Rudolf. 2008. Oilseed processing for small-scale producers. A publication of ATTRA” - National Sustainable Agricultura Information Service, pp. 1-16. Ubicado en : [www.attra.ncat.org/attra-pub/oilseed.html](http://www.attra.ncat.org/attra-pub/oilseed.html)
- Laemmli, H.K. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of Bacteriophage T4. *Nature* 227:680-685.
- Landero, J.L., E. Beltranena, M. Cervantes, A.B. Araiza and R.T. Zijlstra. 2012. The effect of feeding expeller-pressed canola meal on growth performance and diet nutrient digestibility in weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 171:240–245
- Landero, J.L., E. Beltranena and R.T. Zijlstra. 2013. Diet nutrient digestibility and growth performance of weaned pigs fed solvent-extracted *Brassica juncea* canola meal. *Anim. Feed Sci. Technol.* 180:64– 72.
- Latta, M, and M. Eskin. 1980. A simple and rapid colorimetric method for phytate determination. *J. Agric. Food Chem.* 28:1315-1317.
- Latif, S. and F. Anwar. 2011. Aqueous enzymatic sesame oil and protein extraction. *Food Chemistry* 125:679–684.

- L'Hocine, L. and J.I. Boye. 2007. Allergenicity of soybean: New developments in identification of allergenic proteins, cross-reactivities and hypoallergenization technologies. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 47:127–143.
- Li, D., S.Y. Qiao, G.F. Yi, J.Y. Jiang, X.X. Xu, X.S. Piao, I.K. Han and P. Thacker. 2000. Performance of growing-finishing pigs fed sesame meal supplemented diets formulated using amino acid digestibilities determined by the regression technique. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 13:213-219.
- Liu, S., R. Zhou, S. Tian and E.J. Gai- 2007. A study on subunit groups of soybean protein extracts under SDS-PAGE. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 84:793–801.
- Mariscal-Landín, G., T.C. Reis de Souza, J.E. Parra, A. Aguilera and B. Mar. 2008. Ileal digestibility of protein and amino acids from canola meal in weaned piglets and growing pigs. *Livest. Sci.* 116:53–62.
- Marty, B.J., E.R. Chavez and C.F.M. de Langei. 1994. Recovery of amino acids at the distal ileum for determining apparent and true ileal amino acid digestibilities in growing pigs fed various heat-processed full-fat soybean products. *J. Anim. Sci.* 72:2029-2037.
- Mateos, G.C., M. Hermida, P.M. Serrano y R.P. Lázaro. 2009. Evaluación de la calidad de las harinas de soya disponible en el mercado europeo para la producción de piensos. XXV Curso de Especialización FEDNA. Madrid, España.
- Muñoz, V.S., G. Buzza and P.R. Avalos. 2002. Performance of Canola in Southern Sonora, México. En *New crops and new uses*. J. Janick and A. Whipkey (eds.). ASHS Press, Alexandria, VA.
- NRC. National Research Council. 1998. *Nutrients requirements of swine*, 10<sup>th</sup> Ed. Washington, DC. National Academy Press.
- Newkirk, R. 2009. *Pasta de canola. Guía para la industria de forrajes*. 4a edición. Canola Council.
- Nzikou, J.M., L. Matos, G. Bouanga-Kalou, C.B. Ndangui, N.P.G. Pambou-Tobi, A. Kimbonguila, Th. Silou, M. Linder and S. Desobry. 2009. Chemical composition on the seeds and oil of sesame (*Sesamum indicum* L.) grown in Congo-Brazzaville. *Adv. J. Food Sci. Technol.* 1: 6-11.



- Nzikou, J.M., M. Mvoula-tsiéri, C.B. Ndangui, N.P.G. Pambou-Tobi, A. Kimbonguila, B. Loumouamou, Th. Silou and S. Desobry. 2010. Characterization of seeds and oil of sesame (*Sesamum indicum* L.) and the kinetics of degradation of the oil during heating. *Research J. Appl. Sci. Engineering Technol.* 2:227-232.
- Obeidat, B.S., A.Y. Abdullah, K.Z. Mahmoud, M.S. Awawdeh and N.Z. Al-beitawi. 2009. Effects of feeding sesame meal on growth performance, nutrient digestibility, and carcass characteristics of Awassi lambs. *Small Rum. Res.* 82:13-17.
- Oliver, C.H.M., L.D. Melton and R.A. Stanley. 2006. Creating proteins with novel functionality via the Maillard reaction: a review. *Critical Rev. Food Sci. Nutr.* 46:337–350.
- Orruño, E. and M.R.A. Morgan. 2006. IgE binding to proteins from sesame and assessment of allergenicity: implications for biotechnology?. *Biotechnol. Lett.* 28:1877–1888.
- Orruño, E. and M.R.A. Morgan. 2007. Purification and characterization of the 7S globulin storage protein from sesame (*Sesamum indicum* L.). *Food Chem.* 100:926-934.
- Orruño, E. and M.R.A. Morgan. 2011. Resistance of purified seed storage proteins from sesame (*Sesamum indicum* L.) to proteolytic digestive enzymes. *Food Chem.* 128:923–929.
- Prosky, L., N.G. Asp, I. Furda, J.W. de Vries, T.F. Schweizer and B. Harland. 1985. The determination of total dietary fiber in food, and food products: Collaborative study. *J. Assoc. Anal. Chem.* 68:677-679.
- Ratanapariyanuch, K., R.T. Tyler, Y.Y. Shim and M.J.T. Reaney. 2012. Biorefinery process for protein extraction from oriental mustard (*Brassica juncea* (L.) Czern.) using ethanol stillage. *AMB Express* 2:5-13. Ubicada en: <http://www.amb-express.com/content/2/1/5>
- Realini, C.E., S.K. Duckett, N.S. Hill, C.S. Hoveland, B.G. Lyon, J.R. Sackmann and M.H. Gillis. 2005. Effect of endophyte type on carcass traits, meat quality, and fatty acid composition of beef cattle grazing tall fescue. *J. Anim. Sci.* 83: 430-439.

- Redondo, C.A., S.M.J. Villanueva, S.M.D. Rodríguez and A.I. Mateos. 2006. Chemical composition and dietary fibre of yellow and green commercial soybeans (*Glycine max*). Chemical composition and dietary fibre of yellow and green commercial soybeans (*Glycine max*). Food Chem. 101:1216–1222.
- Sadeghi, A.A., A. Nikkhah, P. Shawrang and M.M. Shahrebabak. 2006. Protein degradation kinetics of untreated and treated soybean meal using SDS-PAGE. Anim. Feed Sci. Technol. 126:121–133.
- Safari, O., M. Farhangi, C.G. Carter, B. Yakhchali and P. Shawrang. 2011. Effect of sieve size on chemical composition and functional properties of canola meal (*Brassica napus*) protein fractions as fishmeal replacement. Afr. J. Biotechnol. 10:11764-11771.
- SAS, 2008. SAS/STAT® 9.2 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Sastry, M.C.S, N. Subramanian and H.A.B. Parpia. 1973. Effect of dehulling and heat processing on nutritional value of sesame proteins. Am. Oil Chem. Soc. 51:115-118.
- Sato T., A.A. Maw and M. Katsuta. 2003. NIR reflectance spectroscopic analysis of the FA composition in sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds. J. Amer. Oil Chem. Soc. 80:1157- 1161.
- Schlemmer, U., W. Frølich, R.M. Prieto and F. Grases. 2009. Phytate in foods and significance for humans: Food sources, intake, processing, bioavailability, protective role and analysis. Mol. Nutr. Food Res. 53:S330 –S375.
- Smith, C., W.V. Megen, L. Twaalfhoven and C. Hitchcock. 1980. The determination of trypsin inhibitor levels in foodstuffs. J. Sci. Food Agric. 31:341-350.
- Spragg, J. and R. Mailer. 2007. Canola meal value chain quality improvement. A final report prepared for AOF and Pork CRC. Project Code: 1B-103-0506. [http://www.australianoilseeds.com/\\_\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0006/2589/AOF\\_Protein\\_Meal\\_Final\\_Report.pdf](http://www.australianoilseeds.com/___data/assets/pdf_file/0006/2589/AOF_Protein_Meal_Final_Report.pdf)
- Stauffer, CE. 1990. Measuring trypsin inhibitor in soy meal: Suggested improvements in the standard method. Cereal Chem. 67:296-302.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1986. Principles and Procedures of Statistical Biometrical Approach. Second edition. Mc Grw-Hill, Inc, New York.

- Tan S.H., R.J. Mailer, C.L. Blanchard and S.O. Agboola. 2011a. Canola proteins for human consumption: extraction, profile, and functional properties. *J. Food Sci.* 76:16-28.
- Tan S.H., R.J. Mailer, C.L. Blanchard and S.O. Agboola. 2011b. Extraction and residual antinutritional components in protein fractions of *Sinapis alba* and *Brassica napus* oil-free meals. 17th Australian Research Assembly on Brassicas (ARAB), Wagga Wagga NSW. Pp. 107-114. Ubicado en:[http://www.australianoilseeds.com/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0013/8320/S5-P3-Tan.pdf](http://www.australianoilseeds.com/__data/assets/pdf_file/0013/8320/S5-P3-Tan.pdf)
- Theodoridou, K. and P. Yu. 2013. Effect of processing conditions on the nutritive value of canola meal and presscake. Comparison of the yellow and brown-seeded canola meal with the brown-seeded canola presscake. *J. Sci. Food Agricul.* 93:1986–1995.
- Thu, T.T.N., N. Bodin, S. de Saeger, Y. Larondelle and X. Rollin. 2011. Substitution of fish meal by sesame oil cake (*Sesasum indicum* L.) in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.). *Aquaculture Nutr.* 17:80-89.
- Urbaityte, R., R. Mosenthin and M. Eklund. 2009. The concept of standardized ileal amino acid digestibilities: Principles and application in feed ingredients for piglets. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 22:1209-1223.
- Vaintraub, I.A. and N.A. Lapteva. 1988. Colorimetric determination of phytate in unpurified extracts of seeds and the products of their processing. *Anal. Biochem.* 15:227-230.
- van Kempen, T.A.T.G., I.B. Kim, A.J.M. Jansman, M.W.A. Verstegen, J. Hancock, DJ. Lee, V.M. Gabert, D.M. Albin, G.C. Fahey, C.M. Grieshop and D. Mahan. 2002. Regional and processor variation in the ileal digestible amino acid content of soybean meals measured in growing swine. *J. Anim. Sci.* 80:429–439.
- van Soest, P.J., J. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3594.

- Vasconcelos, I.M., M.F.M. Machado, D.F. Farias, C.C. Campello, C.A.F. Urano, M.R. de Azevedo and O.J.T. Abreu. 2010. Protein fractions, amino acid composition and antinutritional constituents of high-yielding cowpea cultivars. *J. Food Comp. Anal.* 23:54-60.
- Wang, J.P., S.M. Hong, L. Yan, J.H. Cho, H.S. Lee, and I.H. Kim. 2011. The evaluation of soybean meals from 3 major soybean-producing countries on productive performance and feeding value of pig diets. *J. Anim. Sci.* 89:2768–2773.
- Wu, W., F.W. Bazer, T.A. Davis, L.A. Jaeger, G.A. Johnson, S.W. Kim, D.A. Knabe, C.J. Meininger, T.E. Spencer and Y.L. Yin. 2007. Important roles for the arginine family of amino acids in swine nutrition and production. *Livest. Sci.* 112: 8-22.
- Yasothai, R. B. Mohan and R. Ravi. 2009: Effect of feeding sesame oil cake (*Sesamum indicum* L.) on tibia and breast meat composition in broilers. *Tamilnadu J. Vet. Anim. Sci.* 5:9-16.
- Yoo, S.S. 2007. Generation of sesame flavor by the thermal reaction technique. *Food Sci. Biotechnol.* 16:110-115.
- Youssef, A.M. 1998. Extractability, fractionation and nutritional value of low and high tannin sorghum proteins. *Food Chem.* 63:325-329.
- Zhan. Z.F., D.Y. Ou, X.S. Piao, S.W. Kim, Y.H. Liu and J.J. Wang. 2008. Dietary arginine supplementation affects microvascular development in the small intestine of early-weaned pigs. *J. Nutr.* 138:1304-1309.
- Zheng, H.G., X.Q. Yang, I. Ahmad, W. Min, J.H. Zhu and D.B. Yuan. 2009. Soybean  $\beta$ -conglycinin constituent subunits: Isolation, solubility and amino acid composition. *Food Res. Int.* 42:998–1003.
- Zhou, X., M.A. Oryschak, R.T. Zijlstra and E. Beltranena. 2013. Effects of feeding high- and low-fibre fractions of air-classified, solvent-extracted canola meal on diet nutrient digestibility and growth performance of weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 179:112– 120

## **CAPÍTULO 2**

### **STANDARDIZED ILEAL DIGESTIBILITY OF PROTEINS AND AMINO ACIDS IN SESAME EXPELLERS AND SOYBEAN MEALS IN WEANING PIGLETS**

## **Standardized ileal digestibility of proteins and amino acids in sesame expellers and soybean meals in weaning piglets**

### **ABSTRACT**

Apparent ileal digestibility (AID) of diets containing sesame expellers (SE) and soybean meal (SBM) was determined using 15 piglets (*Genetiporc*® Fertilis 20 x G Performance), weaned at  $17 \pm 0.4$  d with average body weight of  $6.4 \pm 0.7$  kg. Piglets were randomly assigned to three treatments: (1) a reference diet with casein as the sole protein source; (2) a mixed diet of casein-SE; and (3) a mixed diet of casein-SBM. The chemical composition of SE and SBM was determined, and AID and standardized ileal digestibility (SID) of crude protein (CP) and amino acids (AAs) were determined for each protein source. SE contained greater quantities of ether extract, neutral detergent fibre, phytic acid, methionine, and arginine than SBM. Lysine and proline contents and trypsin inhibitor activity were higher in SBM than in SE. The AID and SID of CP were not different between SE (81.4% and 91.5%, respectively) and SBM (85.4% and 95.9%, respectively). The AID and SID of AAs did not differ between the seed meals, with the exception of lysine (AID 63.4 and 76.9%) and proline (AID, 63.2% and 75.5%; SID, 104.3 and 88.6%, for SE and SBM, respectively). All other AAs and CP show similar AID and SID values for SE that were not different from values in SBM. These findings indicate that SE is an appropriate alternative protein source for early-weaned pigs.

## **INTRODUCTION**

The primary use of sesame seed is to produce oil for human consumption. The by-product of these processing, sesame expellers (SE), is used in animal nutrition. SE is rich in protein and low in antinutritional factors (ANFs), except for its high content of phytic acid (Hossain and Jauncey, 1990; Jimoh et al., 2011). Compared to the amino acid (AA) profile of soybean meal (SBM), the AA profile of SE is low in lysine and rich in methionine, cysteine, arginine, and leucine (Diarra and Usman, 2008; Kubmarawa et al., 2008). SE has been used in feeds for broilers (Yasothei et al., 2009), laying hens (Diarra and Usman, 2008), goats (Hirano et al., 2005), sheep (Obeidat et al., 2009), fish (Jimoh and Aroyehun, 2011), and growing and finishing pigs (Li et al., 2000). Estimates of standardized ileal digestibility (SID) for most feed ingredients have been generated in growing-finishing pigs and few SID values are available for piglets. Piglets have a limited capacity for protein digestion and AA absorption (Urbaityte et al., 2009b), mainly in the firsts postweaning weeks (Cera et al, 1988; Aguilera et al, 2006), and feed ingredients differs for weanling piglets and growing pigs. Therefore, it is important to know SID values of ingredients used in piglets nutrition for a better formulation. The objective of this study was to determine the AID and SID of protein and AA of SE and SBM in weaned piglets.

## **MATERIALS AND METHODS**

The experiment was performed at the experimental farm of CENID-Fisiología of the Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria, Ajuchitlán, Querétaro, México. The chemical analyses were performed at the Animal Nutrition Laboratory of Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México. Animal care was conducted in accordance with the guidelines issued by the Mexican Official Standard for the Production, Protection and Use of Lab Animals (Diario Oficial de la Federación, 2001) and the guidelines of the International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals (CIOMS, 1985).

## Animals and management

Fifteen piglets (Fertilis 20 x G Performance, *Genetiporc*®) weaned at  $17 \pm 0.4$  d with an average body weight (BW) of  $6.4 \pm 0.7$  were randomly distributed among experimental treatments. The piglets were placed in individual metabolism cages equipped with a self-feeder and a low-pressure drinking nipple, in a temperature-controlled room ( $26 \pm 3$  °C).

From weaning through the following 5 d, the piglets were fed a mixture of milk powder and corn starch (800 and 200 g/Kg, respectively), with the goal of preserving their suckling profile. When piglets were 22 d of age, a 'T' cannula was fitted at the terminal ileum (Reis de Souza et al., 2000). After surgery, therapeutic treatment (600,000 IU penicillin; 750 mg streptomycin; 500 mg oxytetracycline) was administered for 3 d, and the piglets received a casein diet containing 20% of crude protein (CP) for 5 d.

Piglets had 27 d of the age and an average BW of  $10.9 \pm 2.3$  kg at the start of experimental period of 7 d. Piglets were allowed to adapt to their diet during the initial 5 d of the period. On d 6 and 7, ileal digesta were collected continuously for 12 h in plastic bags (7 × 12 cm) containing an acid solution (2 mL of 0.2 M HCl) to minimize further bacterial activity. The bags were removed and replaced every 30 min and the digesta were immediately frozen at  $-20$  °C until lyophilisation. During the experimental period daily feed intake was maintained at a constant level (30 g/kg BW) for all animals. Piglets were fed 4 times each day (at 0800, 1200, 1600, and 1900) and were provided free access to water at all times.

## Experimental diets

Three semi purified diets were formulated: (1) a reference diet using casein as the sole protein source (C); (2) an experimental diet using a casein-SE mixture (CSE); and (3) an experimental diet using a casein-SBM mixture (CSBM) (Tables 1 and 2). The diets were isoproteic (20% CP) (NRC, 1998) and did not contain antibiotics. Casein was added to SE and SBM experimental diets to obtain the quantities of proteins and AAs recommended by NRC (1998), and vitamins and minerals were added to meet NRC requirements (Table 1). Chromic oxide ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )



was added as an inert marker at a rate of 3 g/kg feed. Casein was used as the reference protein because of its high digestibility in piglets (Mariscal-Landín and Reis de Souza, 2006). SE was obtained from a local seed-oil processing plant that extracts oil from sesame by pressing and without the use of solvents.

**Table 1.** Ingredient composition of experimental diets (as DM %)

Ingredient	Experimental diet		
	C	CSE	CSBM
Corn starch	54.0	48.0	46.2
Soybean meal	-	-	14.5
Sesame expellers	-	14.5	-
Casein	21.5	12.9	14.8
CFC <sup>1</sup>	3.86	3.86	3.86
Lactose	12.1	12.1	12.1
Corn oil	3.86	3.86	3.86
Salt	0.48	0.48	0.48
Calcium carbonate	0.38	0.38	0.38
Dicalcium phosphate	3.38	3.38	3.4
Mineral premix <sup>2</sup>	0.1	0.1	0.1
Vitamin premix <sup>3</sup>	0.4	0.4	0.4
Chromium oxide	0.3	0.3	0.3

C=Casein diet (reference diet); CSE=Casein-sesame expellers diet; CSBM=Casein-soybean meal diet; <sup>1</sup>CFC=Crude fiber concentrate, Arbocel®.

<sup>2</sup>Mineral premix, provides per kg of feed: 0.72 mg cobalt, 14.4 mg copper, 120 mg iron, 36 mg manganese, 0.30 mg selenium, 0.96 mg iodine, 144 mg zinc.

<sup>3</sup>Vitamin premix, provides per kg of feed: 10,200 IU vitamin A, 1980 IU vitamin D, 60 UI vitamin E, 1.2 mg vitamin K, 7.2 mg riboflavin, 0.04 mg cyanocobalamin, 36 mg niacin, 16.55 mg pantothenic acid, 0.30 mg thiamine, 0.31 mg piridoxine, 0.08 mg biotin0.75 mg, folic acid.

**Table 2.** Chemical composition of the ingredients and experimental diets (as DM %)

Item	Ingredients			Experimental diets		
	CA	SE	SBM	C	CSE	CSBM
Crude protein	90.3	53.5	47.2	20.1	19.9	19.6
Ether extract	-	11.1	1.20	4.7	5.3	4.6
NDF	-	17.5	14.5	2.7	5.6	5.3
TIA, mg TIA/g		1.0	4.8	-	0.15	0.7
PA, g sodium phytate/100 g	-	4.0	2.4	-	0.58	0.35
Indispensable AA						
Arg	3.2	4.9	3.3	0.83	1.21	1.0
His	2.2	1.0	1.2	0.48	0.44	0.54
Ile	4.9	1.5	2.1	1.12	0.90	1.14
Leu	8.4	2.8	3.3	1.95	1.60	1.88
Lys	6.1	1.0	2.7	1.38	1.01	1.40
Met + Cys	3.0	2.1	1.3	0.67	0.76	0.70
Phe	4.4	1.8	2.3	1.01	0.89	1.08
Thr	4.2	1.5	1.7	0.95	0.82	0.95
Val	6.5	1.9	2.1	1.48	1.18	1.39
Dispensable AA						
Ala	2.6	1.9	1.9	0.58	0.65	0.71
Asp	6.4	3.6	5.9	1.48	1.45	1.87
Glu	20.8	7.5	9.5	4.84	4.09	4.80
Gly	1.5	2.1	2.2	0.33	0.52	0.55
Pro	9.2	1.6	3.8	2.13	1.52	2.06
Ser	4.8	1.9	2.2	1.09	0.96	1.12
Tyr	4.8	1.6	1.6	1.11	0.90	1.03

CA=Casein; SE=Sesame expellers; SBM=Soybean meal; C=Casein diet (reference diet); CSE=Casein-sesame expellers diet; CSBM=Casein-soybean meal diet. TIA=Trypsin inhibitor activity. For experimental diets calculated from diet ingredient composition; PA=Phytic acid. For experimental diets calculated from diet ingredient composition.

## Chemical analyses

Ileal digesta were lyophilised and ground in a laboratory mill (1-mm mesh). Raw materials (casein, SE, and SBM), diets, and ileal digesta were analysed for dry matter (DM), and CP (N x 6.25) (methods 934.01 and 976.05, AOAC, 2002); AA profiles were analysed using high-performance liquid chromatography (HPLC) (Henderson et al., 2000). Ether extract (EE) of SE and SBM was analysed according to the method 920.39 (AOAC, 2002). Trypsin inhibitory activity (TIA) of raw materials and experimental diets was determined according to the method described by Kakade et al. (1974); phytic acid was analysed according to the method reported by Vaintraub and Lapteva (1988); and neutral detergent fibre (NDF) was analysed according to the method reported by van Soest et al. (1991). Chromic oxide was determined in each diet and in ileal digesta, according to the method by Fenton and Fenton (1979).

## Estimation of apparent ileal digestibility

The AID of proteins and amino acids in the experimental diets was calculated using Equation (1), proposed by Fan and Sauer (1995):

$$AID_D = 1 - [(I_D \times A_{Ci}) / (A_D \times I_{Ci})] \times 100\% \quad (1)$$

Where  $AID_D$  is apparent ileal digestibility of DM, CP, or AA in the diets (%);  $I_D$  is the marker concentration in the experimental diet (mg/kg DM);  $A_{Ci}$  is DM, CP, or AA concentration in ileal digesta (mg/kg DM);  $A_D$  is the DM, CP, or AA concentration in the experimental diet (mg/kg DM); and  $I_{Ci}$  is the marker concentration in ileal digesta (mg/kg DM).

## Estimation of standardized ileal digestibility

The SID of CP and AAs in the experimental diets was calculated by correcting the AID for the basal ileal endogenous loss of protein and amino acids, according to equation (2) (Urbaityte et al., 2009a):

$$SID_D = [(AID_D/100) + (IL_{AA}/A_D)] \times 100\% \quad (2)$$

Where  $SID_D$  is the standardized ileal digestibility of CP or AA in the diets (%);  $AID_D$  is the digestibility of CP or AA (%);  $IL_{AA}$  is the basal ileal endogenous loss of CP or AA

(mg/kg DM); and  $A_D$  is the CP or AA concentration in the diets (mg/kg DM). Values for basal ileal endogenous loss of CP and AA were previously estimated by Mariscal-Landín and Reis de Souza (2006).

#### Estimation of ileal digestibility of raw materials

The AID and SID of CP and AA in raw materials (SE and SBM) were calculated using the difference method proposed by Fan and Sauer (1995), with casein as a basal ingredient and experimental diets consisting of a mixture of the basal diet and raw assayed material (SE or SBM). The following equations (3, 4) were used:

$$AID_{RM} = [(AID_D - (AID_B \times S_B)]/S_A \quad (3)$$

$$SID_{RM} = [SID_D - (SID_B \times S_B)]/S_A \quad (4)$$

Where  $AID_{RM}$  and  $SID_{RM}$  are apparent and standardized ileal digestibility, respectively, of CP or AA in the raw material evaluated;  $AID_D$  and  $SID_D$  are the apparent and standardized ileal digestibility, respectively, of CP or AA in the experimental diet;  $AID_B$  and  $SID_B$  are the digestibility of CP or AA in the basal ingredient;  $S_B$  is the contribution or proportion of CP or AA from the basal ingredient to the experimental diet, and  $S_A$  is the contribution or proportion of CP or AA from the raw material to the diet.

#### Statistical analysis

Data were analysed according to a completely randomised design using the general linear model (GLM) procedure in SAS (2008). Treatment means were compared using Tukey's tests, and  $\alpha$  values  $P \leq 0.05$  were considered significant (Steel and Torrie, 1986).

## RESULTS

EE and NDF contents of SE were greater than those of SBM (Table 2). The phytic acid content of SE was greater than that of SBM; the TIA was higher in SBM than in SE. SE was richer in methionine, cysteine and arginine, while SBM was richer in lysine and proline.

Protein AID and SID were similar between the CSE and CSBM diets, and the CSE digestibility was lower ( $P < 0.05$ ) than that of the C diet (Table 3). AID and SID of the most AA were similar between the CSE and CSBM diets, and their digestibility was statistically lower than that of the C diet. Proline SID was higher ( $P < 0.01$ ) in CSE than in CSBM diet and was similar ( $P > 0.05$ ) to C diet.

Protein and AA AID and SID were similar between SE and SBM, with the exception of lysine and proline (Table 4). SBM had higher AID of lysine and proline ( $P < 0.05$ ) than SE. In the case of SID, proline was more digestible ( $P < 0.05$ ) in SE than in SBM.

## **DISCUSIÓN**

Gut structure changes after weaning reducing digestive and absorptive ability of the small intestine (Cera et al., 1988). However, during the post-weaning period, pigs go through a transition period and gradually develop the capacity to synthesize the enzymes needed to digest an all-vegetable diet (Makkink et al., 1994). CP and AA AID and SID of protein sources rise with increasing age of life or with higher body weight of pigs (Stein et al., 2005; Aguilera et al., 2006; Mariscal-Landín et al., 2008, 2010; Goebel and Stein, 2011; Jezierny et al., 2011).

Besides, ileal digestibility of CP and AA also is affected by the variation in quality of feed proteins between different feedstuffs and within same feedstuff (Lewis, 2001). The difference AID or SID of AA between feedstuffs has been reported to be due to variations in processing conditions, inherent dietary factors, variety of grain, fertilizer application, and environmental conditions (Sauer and Ozimek, 1986; van Kempen *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2011).

All these aforementioned factors should be taken into account when ingredients composition and digestibility values obtained in different studies are compared.

**Table 3.** Apparent ileal digestibility and standardized ileal digestibility of protein and amino acids of experimental diets (% of DM)

	AID experimental diets			P <	SEM	SID experimental diets			P <	SEM
	C	CSE	CSBM			C	CSE	CSBM		
Crude protein	87.4 <sup>a</sup>	85.0 <sup>b</sup>	86.7 <sup>ab</sup>	0.05	0.43	97.3 <sup>a</sup>	95.0 <sup>b</sup>	96.8 <sup>ab</sup>	0.05	0.66
<b>Indispensable AA</b>										
Arg	89.5 <sup>a</sup>	85.4 <sup>b</sup>	85.6 <sup>b</sup>	0.01	0.42	102.5 <sup>a</sup>	94.2 <sup>b</sup>	95.9 <sup>b</sup>	0.001	0.41
His	89.5 <sup>a</sup>	85.5 <sup>b</sup>	85.7 <sup>b</sup>	0.01	0.45	93.0 <sup>a</sup>	89.3 <sup>b</sup>	88.8 <sup>b</sup>	0.01	0.43
Ile	89.6 <sup>a</sup>	85.4 <sup>b</sup>	85.6 <sup>b</sup>	0.01	0.40	95.7 <sup>a</sup>	92.8 <sup>ab</sup>	91.7 <sup>b</sup>	0.05	0.40
Leu	89.5 <sup>a</sup>	85.3 <sup>b</sup>	85.7 <sup>b</sup>	0.01	0.42	93.7 <sup>a</sup>	90.4 <sup>b</sup>	89.8 <sup>b</sup>	0.05	0.42
Lys	89.5 <sup>a</sup>	85.3 <sup>b</sup>	85.6 <sup>b</sup>	0.01	0.41	91.9 <sup>a</sup>	88.7 <sup>ab</sup>	88.0 <sup>b</sup>	0.05	0.45
Met	89.7 <sup>a</sup>	85.4 <sup>b</sup>	85.8 <sup>b</sup>	0.01	0.42	93.3 <sup>a</sup>	89.1 <sup>b</sup>	89.6 <sup>b</sup>	0.01	0.42
Phe	89.4 <sup>a</sup>	85.4 <sup>b</sup>	85.6 <sup>b</sup>	0.01	0.43	94.2 <sup>a</sup>	90.7 <sup>b</sup>	90.0 <sup>b</sup>	0.05	0.43
Thr	89.6 <sup>a</sup>	85.3 <sup>b</sup>	85.6 <sup>b</sup>	0.01	0.42	98.6 <sup>a</sup>	96.0 <sup>b</sup>	94.8 <sup>b</sup>	0.05	0.44
Val	89.6 <sup>a</sup>	85.4 <sup>b</sup>	85.6 <sup>b</sup>	0.01	0.42	94.7	92.3	90.6	NS	0.63
<b>Dispensable AA</b>										
Ala	89.5 <sup>a</sup>	85.4 <sup>b</sup>	85.6 <sup>b</sup>	0.01	0.41	103.9 <sup>a</sup>	97.9 <sup>b</sup>	97.4 <sup>b</sup>	0.001	0.43
Asp	89.6 <sup>a</sup>	85.5 <sup>b</sup>	85.7 <sup>b</sup>	0.01	0.44	95.5	93.3	93.2	NS	0.66
Cys	89.3	85.3	84.8	NS	0.64	102.1 <sup>a</sup>	92.7 <sup>b</sup>	93.4 <sup>b</sup>	0.001	0.42
Glu	89.6 <sup>a</sup>	85.4 <sup>b</sup>	85.6 <sup>b</sup>	0.01	0.42	93.4 <sup>a</sup>	89.9 <sup>b</sup>	89.5 <sup>b</sup>	0.05	0.42
Gly	89.8 <sup>a</sup>	85.3 <sup>b</sup>	85.7 <sup>b</sup>	0.01	0.44	127.7 <sup>a</sup>	109.3 <sup>b</sup>	108.4 <sup>b</sup>	0.001	0.42
Pro	89.6 <sup>a</sup>	85.4 <sup>b</sup>	85.6 <sup>b</sup>	0.01	0.42	101.4 <sup>a</sup>	101.8 <sup>a</sup>	97.7 <sup>b</sup>	0.01	0.42
Ser	89.5 <sup>a</sup>	85.4 <sup>b</sup>	85.7 <sup>b</sup>	0.01	0.42	98.7 <sup>a</sup>	95.7 <sup>ab</sup>	94.5 <sup>b</sup>	0.05	0.42
Tyr	89.5 <sup>a</sup>	85.4 <sup>b</sup>	85.6 <sup>b</sup>	0.01	0.42	93.1 <sup>a</sup>	89.8 <sup>b</sup>	89.6 <sup>b</sup>	0.05	0.43

C=Casein diet (reference diet).

CSE=Casein-sesame expellers diet.

CSBM=Casein-soybean meal diet.

P=Probability.

SEM=Standard error of the mean.

<sup>a,b</sup>Values with different letters in the same digestibility type and row differ significantly

**Table 4.** Apparent ileal digestibility and standardized ileal digestibility of protein and amino acids of raw material (% of DM)

	AID Raw		P <	SEM	SID Raw		P <	SEM
	material				material			
	SE	SBM			SE	SBM		
Crude protein	81.4	85.4	NS	2.3	91.5	95.9	NS	2.3
Indispensable AA								
Arg	82.9	81.9	NS	1.0	89.4	89.7	NS	1.0
His	77.8	78.6	NS	1.6	82.3	81.1	NS	1.6
Ile	72.7	76.1	NS	1.9	84.1	81.5	NS	1.9
Leu	74.1	75.8	NS	1.9	81.3	80.3	NS	1.9
Lys	63.4 <sup>a</sup>	76.9 <sup>b</sup>	0.05	2.2	71.5	79.2	NS	2.2
Met	77.1	69.0	NS	2.3	81.0	75.0	NS	2.3
Phe	76.6	78.2	NS	1.6	83.1	81.9	NS	1.6
Thr	74.9	75.9	NS	1.8	89.1	84.9	NS	1.8
Val	72.5	73.8	NS	2.1	84.9	80.6	NS	2.1
Dispensable AA								
Ala	80.4	80.3	NS	1.2	90.7	87.9	NS	1.2
Asp	79.6	81.3	NS	1.4	91.0	88.3	NS	1.4
Cys	83.2	81.1	NS	1.4	87.6	84.7	NS	1.4
Glu	75.0	76.7	NS	1.8	81.4	80.7	NS	1.8
Gly	82.5	83.1	NS	0.9	98.0	95.8	NS	0.9
Pro	63.2	75.5	0.05	2.5	104.3 <sup>a</sup>	88.6 <sup>b</sup>	<0.05	2.5
Ser	75.8	77.1	NS	1.7	89.2	85.5	NS	1.7
Tyr	73.9	73.9	NS	2.1	80.5	78.5	NS	2.1

SE=Sesame expellers; SBM=Soybean meal; SEM=Standard error of the mean.

<sup>a,b</sup>Values with different letters in the same digestibility type and row differ significantly.

## Chemical composition

Because of the differences in families (Sesame, Pedaliaceae; Soybean, Fabaceae) and different processing methods for oil extraction (mechanical vs. solvent-based, respectively), the nutrient composition of the oilseed meals differed considerably (Table 2). The CP content of raw materials observed here was similar to that reported by others for SE (Egbekun and Ehieze, 1997; Li et al., 2000) and for SBM (Cervantes-Pahm and Stein, 2010; Wang et al., 2011). SE had more EE than SBM because of the mechanical extraction used for SE processing (Egbekun and Ehieze, 1997; Jimoh et al., 2011). Solvent extraction, as performed for SBM, is more efficient, and therefore the EE content of SBM was low. EE content of SBM is consistent with observations from Cervantes-Pahm and Stein (2008). Concentration of NDF in SBM was higher than the values reported by van Kempen et al., 2006 and Cervantes-Pahm and Stein, 2008, however was similar to that described by NRC (1998). Considerable variation in the content of NDF and crude fiber has been observed among SBM from soybean cultivated in different countries or areas of the world (van Kempen et al., 2006; Wang et al., 2011). In Mexico, SBM from different provenance may be mixed by the suppliers promoting large variations in its chemical composition.

Phytic acid content in SE and SBM was within the range reported by other studies for SE (2.4–5%) (Hossain and Jauncey, 1990; Li et al., 2000) and SBM (1.0–2.3%) (Gilani et al., 2012). The TIA in SE (1 mg/g) was greater than that reported by Jimoh et al. (2011) (0.29 mg TIA/g), while TIA in SBM was within the range (1.8–6.5 mg/g) reported by Grala et al. (1999), Urbaityte et al. (2009b), and Jezierny et al. (2011).

The higher content of lysine in SBM is essential for growth performance of the weaned pigs, because lysine is the first limiting amino acid in swine diets (Baker, 2007).

However, the higher content of arginine in SE (Li et al., 2000) indicates that SE is an advantageous protein source, because arginine is essential for intestinal growth and as an immune modulator in foetal, newborn, and weaning piglets (Huang et al., 2011). Arginine also plays an important role as a substrate for protein



synthesis and as a precursor of nitric oxide, polyamines, creatine, and proline (Huang et al., 2011).

## Digestibility of raw material

### *Apparent ileal digestibility*

Protein AID of SBM observed in this study was higher than other reports that have indicated that the AID of SBM protein varies between 70% and 80% in weanling pigs with a similar age to those used in the present study (Walker et al., 1986; Chae et al., 1999).

The AID of AAs values in SBM observed in this study are in agreement with values reported by Yang et al. (2007), but lower than values reported for piglets by Chae et al. (1999).

There are no data for compare the AID of the SE in weanling pigs, but the fact that it is similar to the AID of SBM suggest that SE is a good protein source for piglets. The low AID of lysine in SE could be explained in part by its low concentration, which would result in a smaller proportional contribution of this AA to the experimental diets when the difference method is used to estimate the digestibility (Jezierny et al., 2011). On the other hand, phytic acid content in SE appears to decrease the digestibility of lysine, because it is a chelator of basic AAs (Adeola and Sands, 2003). In addition, dietary NDF has negative impact on the AID and true digestibility of AA and is main factor affecting endogenous nitrogen losses, however, the magnitude of this reducing effects is depending on the NDF source (Jondreville et al., 2000; Dégen et al., 2011; Wang et al., 2011).

The low AID of proline in SE compared to SBM can be explained by NDF and phytic acid concentration in SE, which results in an increased production of mucin in the small intestine (Piel et al., 2007; Onyango and Adeola, 2012). Mucin is rich in proline and is poorly digested in the small intestine representing an important proportion of the endogenous protein (Montagne et al., 2004), reducing AID of proline in SE. Available information about AID of protein sources in piglets is scarce, mainly in SE. The AID of nutrients reported in SE in growing pigs (NRC, 1998 and AmiPig, 2000) is higher than values reported in this study.

Protein AID values of casein range from 81 to 89% in different studies (Walker et al., 1986; Mariscal-Landín et al., 2006, 2008; Cervantes-Pahm and Stein, 2010; Reis de Souza et al., 2013). Protein AID value observed in the present study is within this range.

Average of indispensable AA AID of casein reported in the literature varies from 85.8 to 91.2%, while dispensable AA AID values range from 80.2 to 88.1% (Walker et al., 1986; Mariscal-Landín et al., 2006, 2008; Cervantes-Pahm and Stein, 2010). Average of AID of indispensable AA observed in the present study was within this range. However, the average of dispensable AA AID reported in the present study (89.5%) was higher than maximum average reported by those authors (88.1%).

Protein and AA AID of casein

#### *Standardized ileal digestibility*

Protein SID of SBM observed in this study was higher than other reports that have indicated that the SID of SBM protein varies between 80% and 94% (Walker et al., 1986; Urbaityte et al., 2009b; Cervantes-Pahm and Stein, 2010).

Indispensable AAs SID of SBM observed in the present study was lower than values reported by Cervantes-Pahm and Stein (2010) in weanling pigs. SID AAs of SBM observed in this study is in good agreement with the results reported in weanling pig by Yang et al. (2007) and by Urbaityte et al. (2009b), except for lysine and methionine, which were lower.

The low SID of lysine in soybeans may be, at least in part, a result of the presence of TIA in the soybeans or of damage caused by heat treatment to produce the Maillard reaction (Cervantes-Pahm and Stein, 2010). When TIA reaches 4.3 mg/g, there is an incremental loss of endogenous ileal N, and higher levels of TIA (2.5 mg/g) in the diet negatively affect protein ileal digestibility in piglets (Grala et al., 1999). The low content TIA content in CSBM diet (0.7 mg/g) may not have affected the SID of lysine in SBM. The Maillard reaction involves condensation of the NH<sub>2</sub> group of an AA with a reducing sugar, and among all AAs, lysine is the most susceptible to this reaction because it contains an exposed ε-NH<sub>2</sub> group that reacts with the carbonyl group of a reducing sugar (Cervantes-Pahm and Stein, 2010).

There is little documentation of SID of AA in SE to pigs. Li et al. (2000) reported similar values of amino acids SID for growing pigs (20 kg BW) to those observed here, except for lysine and phenylalanine, which were lower. Values reported in growing pigs by the NRC (1998) and AmiPig (2000) were higher than those reported in the present study.

Protein and AA SID of casein observed in this study was similar to others studies with weanling pigs (Walker et al., 1986) and slightly lower than the values reported in older and heavier piglets by Cervantes-Pahm and Stein (2010). Casein CP SID was similar to true ileal digestibility (TID) values estimated by regression in piglets at the same age reported by Reis de Souza et al. (2013). Some AA SID values mainly indispensable AA were slightly lower than the AA TID values reported by these authors.

## **CONCLUSION**

Sesame expellers and soybean meals differ in their crude protein, ether extract, neutral detergent fibre, lysine, arginine, methionine and cysteine content. However, our results showed that the digestibility of proteins and most amino acids was not different for sesame expellers and soybean meal. Consequently, sesame expeller is an appropriate alternative protein source for early-weaned pigs.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

The authors gratefully acknowledge Dipasa Internacional de México, S.A. de C.V. for his help in providing the sesame expellers for the experiment. This study was partially supported by the Programa Integral de Fortalecimiento Institucional, of the Mexican Ministry of Public Education (SEP) and the Fondo de Fortalecimiento para la Investigación (FOFI) of Autonomous University of Queretaro (UAQ).

## **REFERENCES**

Adeola, O. and J.S. Sands. 2003. Does supplemental microbial phytase improve amino acid utilization? A perspective that it does not. *J. Anim. Sci.* 81:E77-E85.

- Aguilera, B.M.A., T.C.R eis de Souza, G. Mariscal-Landín, S.A.G. Borbolla and B.A. Aguilera. 2006. Digestibilidad de nutrimentos en lechones alimentados con dietas con aislado o concentrado de proteína de soya. *Téc. Pec. Méx.* 44:301-311.
- AmiPig. 2000. Ileal standardized digestibility of amino acids in feedstuffs for pigs. AFZ, Ajinomoto Eurolysine, Aventis Animal Nutrition, INRA and ITCF, Paris. Ubicado en: <http://www.feedbase.com/amipig.php?Lang=E>
- AOAC. 2002. Official Methods of Analysis, 17th ed. Association Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia.
- Baker, D.H. 2007. Lysine, arginine, and related amino acids: An introduction to the 6th amino acid assessment workshop. *J. Nutr.* 137 .1599S–1601S.
- Cera, K.R., D.C. Mahan, R.F Cross, A. Reinhart and R.E. Whitmoyer. 1988. Effect of age, weaning and postweaning diet on small intestinal growth and jejunal morphology in young swine. *J. Anim. Sci.* 66:574-584.
- Cervantes, P.S. and H.H. Stein. 2008. Effect of dietary soybean oil and soybean protein concentrate on the concentration of digestible amino acids in soybean products fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 86:1841-1849.
- Cervantes, P.S. and H.H. Stein. 2010. Ileal digestibility of amino acids in conventional, fermented, and enzyme treated soybean meal and in soy protein isolate, fishmeal, and casein fed to weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 88:2674-2683.
- Chae, B.J., I.K. Han, J.H. Kim, C.J. Yang, J.D. Hancock, I.H. Kim and D.A. Anderson. 1999. Effects of dietary protein sources on ileal digestibility and growth performance for early-weaned pigs. *Livest. Prod. Sci.* 58:45–54.
- CIOMS. 1985. International guiding principles for biomedical research involving animals. The development of science-based guidelines for laboratory animal care - NCBI Bookshelf. Ubicado en: [http://cioms.ch/publications/guidelines/1985\\_texts\\_of\\_guidelines.htm](http://cioms.ch/publications/guidelines/1985_texts_of_guidelines.htm).
- Dégen, L., V. Halas, J. Tossenberger and L. Babinszky. 2011. Dietary impact of NDF from different sources on the apparent ileal digestibility of amino acids. *Acta Agr. Kaposváriensis* 15:1-11.

- 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. México, D.F.
- Diarra, S.S. and B.A. Usman. 2008. Performance of laying hens fed graded levels of soaked sesame (*Sesamum indicum*) seed meal as a source of methionine. Int. J. Poult. Sci. 7:323-327.
- Egbekun, M.K. and M.U. Ehieze. 1997. Proximate composition and functional properties of fullfat and defatted beniseed (*Sesamum indicum* L.) flour. Plant Foods Hum. Nutr. 51:35-41.
- Fan, M.Z. and W.C. Sauer. 1995. Determination of apparent ileal amino acid digestibility in barley and canola meal for pigs with the direct, difference, and regression methods. J. Anim. Sci. 73:2364-2374.
- Fenton, T.W. and M. Fenton. 1979: An improved procedure for the determination of chromic oxide in feed and faces. Can. J. Anim. Sci. 59:631-634.
- Gilani, G.S., C.W. Xiao and K.A. Cockell. 2012. Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality. Br. J. Nutr. 108:S315-S332.
- Goebel, K.P. and H.H. Stein. 2011. Ileal digestibility of amino acids in conventional and low-Kunitz soybean products fed to weanling pigs. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 24:88-95.
- Grala, W., M.W.A. Verstegen, A.J.M. Jansman, J. Huisman and P. van Leeuwen. 1999. Apparent protein digestibility and recovery of endogenous nitrogen at the terminal ileum of pigs fed diets containing various soyabean products, peas or rapeseed hulls. Anim. Feed Sci. Technol. 80:231-245.
- Henderson, J.H., R.D. Ricker, B.A. Bidlingmeyer and C. Woodward. 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.
- Hirano, Y., Y. Ito, N. Inagaki, K. Yamasaki, H. Yokota and K. Kita. 2005. Effect of sesame meal supplemented in Sudangrass silage on fermentation quality and feed intake in goats. J. Applied Anim. Res. 28:85-88.

- Hossain, MA and K. Jauncey. 1990. Detoxification of linseed and sesame meal and evaluation of their nutritive value in the diet of common carp (*Cyprinus carpio* L.). Asian Fish. Sci. 3:169-183.
- Huang, L., Z.Y. Jiang, Y.C. Lin, C.T. Zheng, S.K. Wang, X.F. Yang and G.Y. Wu. 2011. Effects of L-arginine on intestinal development and endogenous arginine-synthesizing enzymes in neonatal pigs. Afr. J. Biotechnol. 10:7915-7925.
- Jezierny, D., R. Mosenthin, N. Sauer, S. Roth, H.P. Piepho, M. Rademacher and M. Eklund. 2011. Chemical composition and standardised ileal digestibilities of crude protein and amino acids in grain legumes for growing pigs. Livest. Sci. 138:229–243.
- Jimoh, W.A. and H.T. Aroyehun. 2011. Evaluation of cooked and mechanically defatted sesame (*Sesamum indicum*) seed meal as a replacer for soybean meal in the diet of African Catfish (*Clarias gariepinus*). Turk. J. Fish. Aquat. Sci. 11:185-190.
- Jimoh, W.A., O.A. Fagbenro and E.O. Adeparusi. 2011. Effect of processing on some minerals, anti-nutrients and nutritional composition of sesame (*Sesamum indicum*) seed meals. Electronic J. Environ. Agric. Food Chem. 10:1858-1864.
- Jondreville, C., J. van den Broecke, F. Gâtel, F. Grosjean, S. van Cauwenberghe and B. Sève. 2000. Ileal amino acid digestibility and estimates of endogenous amino acid losses in pigs fed rapeseed meal, sunflower meal and soybean meal. Can J. Anim. Sci. 80:495–506.
- Kakade, M.L., J.J. Rackis, J.E. McGhee and G. Puski. 1974. Determination of trypsin inhibitor activity of soy products: A collaborative analysis of an improved procedure. Cereal Chem. 51:376-382.
- Kubmarawa, D., I.F.H. Andenyang and A.M. Magomya. 2008. Amino acid profile of two non-conventional leafy vegetables, *Sesamum indicum* and *Balanites aegyptiaca*. Afr. J. Biotechnol. 7:3502-3504.
- Lewis, A.J. 2001. Amino acids in swine nutrition, In Swine Nutrition. By Lewis, A.J. and Southern, L. L. ed, 2nd ed. CRC Press. Boca Raton. NY.

- Li, D., S.Y. Qiao, G.F. Yi, J.Y. Jiang, X.X. Xu, X.S. Piao, I.K. Han and P. Thacker. 2000. Performance of growing-finishing pigs fed sesame meal supplemented diets formulated using amino acid digestibilities determined by the regression technique. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 13:213-219.
- Makkink, C.A., G.P. Negulescu, Q. Guixin and M.W.A. Verstegen. 1994. Effect of dietary protein source on feed intake, growth, pancreatic enzyme activities and jejunal morphology in newly-weaned piglets. *Br. J. Nutr.* 72:353-368.
- Mariscal-Landín, G. and T.C. Reis de Souza. 2006. Endogenous ileal losses of nitrogen and amino acids in pigs and piglets fed graded levels of casein. *Archives Anim. Nutr.* 60:454-466.
- Mariscal-Landín, G., T.C. Reis de Souza and M.A. Avalos. 2010. Ileal amino acids digestibility of sorghum in weaned piglets and growing pigs. *Animal* 4:1341–1348.
- Mariscal-Landín, G., T.C. Reis de Souza, J.E.S. Parra, A.B. Aguilera and B.B. Mar. 2008. Ileal digestibility of protein and amino acids from canola meal in weaned piglets and growing pigs. *Livest. Sci.* 116:53–62.
- Montagne, L., C. Piel and J.P. Lallès. 2004. Effect of diet on mucin kinetics and composition: nutrition and health implications. *Nutr. Rev.* 62:105–114.
- NRC. National Research Council. 1998. Nutrients requirements of swine, 10<sup>th</sup> Ed. Washington, DC. National Academy Press.
- Obeidat, B.S., A.Y. Abdullah, K.Z. Mahmoud, M.S. Awawdeh and N.Z. Al-beitawi. 2009. Effects of feeding sesame meal on growth performance, nutrient digestibility, and carcass characteristics of Awassi lambs. *Small Rum. Res.* 82:13-17.
- Onyango, E.M. and O. Adeola. 2012. Inositol hexaphosphate increases mucin loss from the digestive tract of ducks. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 96:416–420.
- Piel, C., L. Montagne, B. Sève and J.P. Lallès. 2007. Dietary fibre and indigestible protein increase ileal glycoprotein output without impacting colonic crypt goblet cells in weaned piglets. *Livest. Sci.* 108:106-108.

- Reis de Souza, T.C., B.B. Mar and L.G. Mariscal. 2000. Canulación de cerdos posdestete para pruebas de digestibilidad ileal: desarrollo de una metodología. *Téc. Pec. Méx.* 38:143-150.
- Reis de Souza, T.C; B.A. Aguilera and G. Mariscal-Landín. 2013. Estimation of endogenous protein and amino acid ileal losses in weaned piglets by regression analysis using diets with graded levels of casein. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 4:36-41.
- SAS. 2008. Statistical Analysis System, User's guide, SAS/ETS® 9.2. Cary, NC: SAS Institute, Inc.USA.
- Sauer, W.C. and L. Ozimek. 1986. Digestibility of amino acids in swine: results and their practical applications. A Review. *Livest. Prod. Sci.* 15: 367–388.
- van Kempen T.A.T.G., I.B. Kim, A.J.M. Jansman, M.W.A. Verstegen, J.D. Hancock, D.J. Lee, V.M. Gabert, D.M. Albin, G.C. Fahey, Jr., C.M. Grieshop and D. Mahan. 2002. Regional and processor variation in the ileal digestible amino acid content of soybean meals measured in growing swine. *J. Anim. Sci.* 80:429–439.
- van Kempen, T.A.T.G., E. Van Heugten, A.J. Moeser, N.S. Muley and V.J.H. Sewalt. 2006. Selecting soybean meal characteristics preferred for swine nutrition. *J. Anim. Sci.* 84:1387-1395.
- van Soest, P.J., J. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fibre neutral detergent fibre and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3594.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1986. Principles and Procedures of Statistical Biometrical Approach, 2a edn. Mc Grw-Hill, Inc, New York.
- Stein, H.H., C. Pedersen, A.R. Wirt and R.A. Bohlke. 2005. Additivity of values for apparent and standardized ileal digestibility of amino acids in mixed diets fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 83:2387–2395.
- Urbaitye, R., R. Mosenthin and M. Eklund. 2009a. The concept of standardized ileal amino acid digestibilities: principles and application in feed ingredients for piglets. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 22:1209–1223.



- Urbaityte, R., R. Mosenthin, M. Eklund, H.P. Piepho and M. Rademacher. 2009b. Determination of standardized ileal crude protein and amino acid digestibilities in protein supplements for piglets. *Animal* 3:1696–1705.
- Vaintraub, I.A. and N.A. Lapteva. 1988. Colorimetric determination of phytate in unpurified extracts of seeds and the products of their processing. *Anal. Biochem.* 15:227-230.
- Walker, W. R., C.V. Maxwell, F.N. Owens and D.S. Buchanan. 1986. Milk versus soybean protein sources for pigs: II. Effects on amino acid availability. *J. Anim. Sci.* 63:513-524.
- Wang, J.P., S.M. Hong, L. Yan, J.H. Cho, H.S. Lee, and I.H. Kim. 2011. The evaluation of soybean meals from 3 major soybean-producing countries on productive performance and feeding value of pig diets. *J. Anim. Sci.* 89:2768–2773.
- Yang, Y.X., Y.G. Kim, J.D. Lohakare, J.H. Yun, J.K. M.S. Lee, J.I.K. Park, J.Y. Choi and B.J. Chae. 2007. Comparative efficacy of different soy protein sources on growth performance, nutrient digestibility and intestinal morphology in weaned pigs. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 20, 775 – 783.
- Yasothei, R. B. Mohan and R. Ravi. 2009: Effect of feeding sesame oil cake (*Sesamum indicum* L.) on tibia and breast meat composition in broilers. *Tamilnadu J. Vet. Anim. Sci.* 5:9-16.

## **CAPÍTULO 3**

### **STANDARDIZED ILEAL DIGESTIBILITY OF PROTEINS AND AMINO ACIDS IN SESAME EXPELLERS AND SOYBEAN MEALS IN FINISHING PIGS**

## Standardized ileal digestibility of sesame expellers and soybean meals in finishing pigs

### ABSTRACT

Apparent and Standardized ileal digestibility (AID, SID) of sesame expellers (SE) and soybean meal (SBM) was determined using ten growing-finishing weighing  $79 \pm 5$  kg. Pigs were randomly assigned to two treatments: 1) sesame expellers diet and 2) soybean meal diet. The chemical composition of SE and SBM was determined, and AID and SID of crude protein and amino acids were determined for each protein source. The SE contained greater quantities of ether extract, neutral detergent fibre, phytic acid, methionine, and arginine than SBM. The content of Lysine, proline and trypsin inhibitor activity were higher in SBM than in SE. The AID and SID of crude protein were greater ( $P < 0.05$ ) in SE (83.8 and 91.6%, respectively) than in SBM (78.2 and 86.1%, respectively). The AID of the Arg, His, Met, Val, Ala, Cys, Glu and Gly were superior ( $P < 0.05$ ) in SE than in SBM diets. However, the AID of the Leu, Lys and Pro were greater ( $P < 0.05$ ) in SBM than SE diets. The SID of Arg, His, Val, Ala, Glu, Gly, Ile, Thr, and Tyr were higher ( $P < 0.05$ ) in SE than in SBM diets. The SID of Leu and Pro were greater ( $P < 0.05$ ) in SBM than in SE diets. All other AAs showed similar AID and SID in SE and SBM. These results indicate that sesame expellers is good alternative protein source to soybean meal for growing-finishing pigs.

### INTRODUCTION

Feed is the most important factor that affects pig production because it represents about 75% of production costs. Soybean and canola meals represent about two thirds of protein sources used in pig production (Bajjalieh, 2004; Gilbert, 2004); therefore, there have been efforts to diversify the use of protein sources. Sesame meal is one that can replace (partially or totally) soybean meal (Li *et al.*, 2000).

Sesame protein is rich in essential amino acids which include leucine, arginine and methionine, but is low in lysine (Hossain and Jauncey, 1990). Due to its high

methionine content and low cost, the use of sesame expellers in pigs can reduce the inclusion of synthetic methionine (Diarra and Usman, 2008; Agbulu *et al.*, 2010; Yakubu and Alfred, 2014). There is a large number of articles showing the use of SE in broilers (Yasothai *et al.* 2009), laying hens (Diarra and Usman, 2008), goats (Hirano *et al.*, 2005), sheep (Obeidat *et al.*, 2009.), and fish (Jimoh and Aroyehun, 2011; Nang *et al.*, 2011); but it is scarce in growing and finishing pigs (Squibb and Salazar, 1951; Gallo and Maner, 1970). There is not enough information in the literature related to apparent and standardized ileal digestibilities in growing–finishing pigs (Li *et al.*, 2000), but there are some values reported in AmiPig (2000), NRC (2012) and EvaPig (2014). Thus, the aim of this study was to determine the standardized ileal digestibility of protein and amino acids of sesame expellers in finishing pigs and to compare them to SBM.

## **MATERIALS AND METHODS**

The experiment was performed at the experimental farm of CENID-Physiology of INIFAP, México. The chemical analyses were performed at the Laboratory of Animal Nutrition of University of Querétaro, México. Animal care was conducted in accordance with the guidelines issued by the Mexican Official Standard for the Production, Protection and Use of Lab Animals (Diario Oficial de la Federación, 2001) and the guidelines of the International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals (CIOMS, 1985).

### **Animals**

Ten castrated finishing pigs (Landrace x Duroc) weighing  $79 \pm 5$  kg were randomly distributed among experimental treatments. A simple “T” cannula was fitted at the terminal ileum (Reis de Souza *et al.*, 2000). After surgery, the pigs were placed individually in metabolism cages equipped with a self-feeder and a low-pressure drinking nipple. The post-surgery period lasted 14 days, during which pigs received a diet providing 160 g of CP/kg of feed twice a day (0800 and 1800 h). The amount fed was increased daily until pigs reached the intake level observed prior to surgery.

### **Experimental diets**

Two semi purified diets were formulated: 1) a sesame expellers diet (SED) and 2) a soybean meal diet (SBMD) (Table 1). The diets were isoproteic (160 g CP/kg) and isoenergetic (3.5 Mcal ME/kg) and did not include antibiotics. The diets were based on maize starch, and included fixed amounts of corn oil, sucrose, salt, and a vitamin and mineral premix. Calcium carbonate and dicalcium phosphate were used to adjust the Ca and P levels, while vitamin and trace elements premix were added to furnish or exceed recommended daily allowances (NRC, 1998); chromic oxide was included at 3 g/kg as a digestibility marker. Sesame expellers was obtained from a local seed-oil processing plant that extracts oil from sesame by mechanical process and without the use of solvents.

#### Sample collection

The experimental period lasted seven days; five days for adaptation to the experimental diets and the remaining 2 days for ileal digesta collection. Pigs were fed at 2.5 times their digestible energy (DE) requirement for maintenance  $460 \text{ kJ/kg BW}^{0.75}$  (INRA, 1984), two times a day (at 0800 and 1800 h) and they had free access to water all time. On d 6 and 7, ileal digesta were collected continuously for 12 h in plastic bags containing an acid solution (10 ml of 0.2 M HCl ) to stop bacterial activity; then ileal digesta were immediately frozen at  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  until freeze-dried.

#### Chemical analyses

Ileal digesta samples were freeze-dried and ground in a laboratory mill (1-mm mesh) (Arthur H. Thomas Co. Philadelphia, PA). Raw materials (sesame expellers and soybean meals), experimental diets, and ileal digesta were analysed for dry matter (DM), and crude protein (CP) according to AOAC (2002) methods 934.01 and 976.05 respectively. Samples from the raw materials, diets, and digesta were hydrolyzed at  $110^\circ\text{C}$  for 24 h in 6 M HCl to use in AA analysis method 994.12 (AOAC, 2002). For methionine and cystine analyses, oxidation with performic acid was carried out before acid hydrolysis (AOAC 2002). Tryptophan was not estimated. AA analysis was performed using reverse phase HPLC (1,100 HPLC Hewlett

Packard), according to Henderson *et al.*, (2000). Ether extract (EE) of SE and SBM was analysed according to the method 920.39 (AOAC, 2002).

**Table 1.** Composition of experimental diets for finishing pigs (% DM)

Ingredient	Experimental diet	
	SED	SBMD
Corn starch	53.7	46.4
Soybean meal	-	36.4
Sesame expellers	30.0	-
Sucrose	6.5	6.5
CFC <sup>1</sup>	4.0	4.0
Corn oil	3.0	3.0
Salt	0.4	0.4
Calcium carbonate	0.0	1.1
Dicalcium phosphate	1.9	1.7
Mineral premix <sup>2</sup>	0.07	0.07
Vitamin premix <sup>3</sup>	0.16	0.16
Chromium oxide	0.3	0.3

SED=Sesame expellers diet; SBMD=Soybean meal diet; <sup>1</sup>CFC=Crude fiber concentrate= Arbocel®; <sup>2</sup>Mineral premix, provides per kg of feed: Cu 8.4 mg, I 0.56 mg, Fe 70 mg, Mn 21 mg, Se 0.18 mg, Zn 84.0 mg, carbadox 50 mg;

<sup>3</sup>Vitamin premix, provides per kg of feed: Vitamin A 6400 IU, D 1280 IU, E 30 IU, K 0.8 mg, Choline 375 mg, Niacin 24 mg, Pantothenic Acid 11 mg, Riboflavin 4.8 mg, Vitamin B12 30 µg.

Trypsin inhibitory activity (TIA) of raw materials and experimental diets was determined according to the method described by Kakade et al. (1974); phytic acid was analysed according to the method reported by Vaintraub and Lapteva (1988); and neutral detergent fibre (NDF) was analysed according to the method reported by van Soest et al. (1991). Chromic oxide was determined in experimental diets and in ileal digesta according to the method reported by Fenton and Fenton (1979).

#### Estimation of apparent ileal digestibility

The AID of proteins and amino acids in the experimental diets was calculated using Equation (1), proposed by Fan and Sauer (1995):

$$AID_D = 1 - [(I_D \times A_{Ci}) / (A_D \times I_{Ci})] \times 100\% \quad (1)$$

Where  $AID_D$  is apparent ileal digestibility of DM, CP, or AA in the diets (%);  $I_D$  is the marker concentration in the experimental diet (mg/kg DM);  $A_{Ci}$  is DM, CP, or AA concentration in ileal digesta (mg/kg DM);  $A_D$  is the DM, CP, or AA concentration in the experimental diet (mg/kg DM); and  $I_{Ci}$  is the marker concentration in ileal digesta (mg/kg DM).

#### Estimation of standardized ileal digestibility

The SID of CP and AAs in the experimental diets was calculated by correcting the AID for the basal ileal endogenous loss of protein and amino acids, according to equation (2) (Urbaityte *et al.*, 2009a):

$$SID_D = [(AID_D/100) + (I_{LAA}/A_D)] \times 100\% \quad (2)$$

Where  $SID_D$  is the standardized ileal digestibility of CP or AA in the diets (%);  $AID_D$  is the digestibility of CP or AA (%);  $I_{LAA}$  is the basal ileal endogenous loss of CP or AA (mg/kg DM); and  $A_D$  is the CP or AA concentration in the diets (mg/kg DM). Values for basal ileal endogenous loss of CP and AA were previously estimated by Mariscal-Landín and Reis de Souza (2006).

#### Statistical analysis

Data were analysed according to a completely randomised design using the general linear model (GLM) procedure in SAS (2008). Treatment means were

compared using Tukey's tests, and  $\alpha$  value  $P \leq 0.05$  were considered significant (Steel and Torrie, 1986).

## RESULTS

The EE and NDF contents of SE were greater than those of SBM (Table 2). Also SE has a higher content of phytic acid ( $P < 0.05$ ) than SBM; conversely the TIA was higher ( $P < 0.05$ ) in SBM than in SE. The protein of SE was richer ( $P < 0.05$ ) in methionine, cysteine and arginine, while the protein of SBM was richer ( $P < 0.05$ ) in lysine and proline.

The apparent and standardized ileal digestibility of protein was greater ( $P < 0.05$ ) in SE than in SBM (Tables 3 and 4). The AID of arginine, histidine, methionine, valine, alanine, cysteine, glutamic acid and glycine were higher ( $P < 0.05$ ) in SE than in SBM. The AID of leucine, lysine and proline were greater ( $P < 0.05$ ) in SBM than in SE (Table 3). The SID of arginine, histidine, valine, alanine, glutamic acid, glycine, isoleucine, threonine, and tyrosine were higher ( $P < 0.05$ ) in SE than in SBM; however the SID of the leucine and proline were greater ( $P < 0.05$ ) in SBM than SE diets (Table 4).

AIDPC and SIDPC were greater ( $P < 0.05$ ) in SE than SBM diets (Table 3 and 4). AID of the arginine, histidine, methionine, valine, alanine, cysteine, glutamic acid and glycine were better ( $P < 0.05$ ) in SE than SBM diets; however AID of the leucine, lysine and proline were greater ( $P < 0.05$ ) in SBM than SE diets (Table 3). SID of the arginine, histidine, valine, alanine, glutamic acid, glycine, isoleucine, threonine, and tyrosine were better ( $P < 0.05$ ) in SE than SBM diets; however SID of the leucine and proline were greater ( $P < 0.05$ ) in SBM than SE diets (Table 4).



**Table 2.** Chemical composition of the ingredients and experimental diets (as DM %)

Item	Ingredients		Experimental diets	
	SE	SBM	SED	SBMD
Crude protein	53.5	50.1	16.3	16.1
Ether extract	11.1	1.3	6.0	3.9
NDF	17.5	13.8	8.8	11.9
TIA, mg TIA/g	1.0	6.0	0.3	2.18
PA, g sodium phytate/100g	4.0	2.8	1.2	1.02
Indispensable AA				
Arg	4.9	3.4	1.85	1.02
His	1.0	1.2	0.47	0.47
Ile	1.5	2.2	0.61	0.67
Leu	2.8	3.4	1.02	1.01
Lys	1.0	2.8	0.57	0.90
Met + Cys	2.1	1.4	0.76	0.70
Phe	1.8	2.5	0.72	0.69
Thr	1.5	1.9	0.52	0.48
Val	1.9	2.3	0.65	0.60
Dispensable AA				
Ala	1.9	2.0	0.73	0.60
Asp	3.6	5.4	1.29	1.56
Glu	7.5	9.3	3.20	2.60
Gly	2.1	2.2	0.77	0.62
Pro	1.6	3.7	1.52	2.06
Ser	1.9	2.3	0.69	0.69
Tyr	1.6	1.8	0.56	0.52

SE=Sesame expellers; SBM=Soybean meal; SED=Sesame expellers diet; SBMD=Soybean meal diet; TIA=Trypsin inhibitor activity. For experimental diets calculated from diet ingredient composition; PA=Phytic acid. For experimental diets calculated from diet ingredient composition.

**Table 3.** Apparent ileal digestibility of protein and amino acids of experimental diets (% of DM)

	AID		P <	SEM
	SED	SBMD		
Crude protein	83.8 <sup>a</sup>	78.2 <sup>b</sup>	0.01	0.8
Indispensable AA				
Arg	92.9 <sup>a</sup>	85.6 <sup>b</sup>	0.0001	0.4
His	90.8 <sup>a</sup>	87.1 <sup>b</sup>	0.05	0.7
Ile	82.8	81.4	NS	0.5
Leu	84.4 <sup>a</sup>	87.2 <sup>b</sup>	0.01	0.4
Lys	91.6 <sup>a</sup>	94.1 <sup>b</sup>	0.05	0.4
Met	83.4 <sup>a</sup>	72.4 <sup>b</sup>	0.01	1.3
Phe	82.2	81.2	NS	0.5
Thr	76.9	76.0	NS	0.4
Val	78.5 <sup>a</sup>	72.0 <sup>b</sup>	0.01	0.7
Dispensable AA				
Ala	76.1 <sup>a</sup>	67.8 <sup>b</sup>	0.01	0.8
Asp	83.6	85.3	NS	0.4
Cys	72.9 <sup>a</sup>	61.6 <sup>b</sup>	0.05	2.3
Glu	90.5 <sup>a</sup>	87.1 <sup>a</sup>	0.01	0.4
Gly	82.1 <sup>a</sup>	77.0 <sup>b</sup>	0.01	0.6
Pro	59.6 <sup>a</sup>	81.5 <sup>b</sup>	0.0001	0.5
Ser	84.1	83.6	NS	1.0
Tyr	76.2	72.9	NS	0.7

SED=Sesame expellers diet.

SBMD=Soybean meal diet.

SEM=Standard error of the mean.

<sup>a,b</sup>Values in the same row with different superscripts are significantly different.

**Table 4.** Standardized ileal digestibility of protein and amino acids of experimental diets (% of DM)

	SID		P <	SEM
	SED	SBMD		
Crude protein	91.6 <sup>a</sup>	86.1 <sup>b</sup>	0.01	0.8
Indispensable AA				
Arg	95.8 <sup>a</sup>	89.8 <sup>b</sup>	0.0001	0.4
His	93.8 <sup>a</sup>	90.2 <sup>b</sup>	0.05	0.7
Ile	90.5 <sup>a</sup>	87.3 <sup>b</sup>	0.05	0.5
Leu	89.4 <sup>a</sup>	91.3 <sup>b</sup>	0.05	0.4
Lys	95.5	96.2	NS	0.4
Met	86.3	76.2	NS	1.3
Phe	86.0	84.2	NS	0.5
Thr	88.2 <sup>a</sup>	84.5 <sup>b</sup>	0.01	0.4
Val	86.7 <sup>a</sup>	78.4 <sup>b</sup>	0.001	0.7
Dispensable AA				
Ala	83.4 <sup>a</sup>	75.2 <sup>b</sup>	0.01	0.8
Asp	88.3	88.4	NS	0.4
Cys	75.9 <sup>a</sup>	65.0 <sup>b</sup>	0.05	2.3
Glu	94.2 <sup>a</sup>	90.5 <sup>b</sup>	0.01	0.4
Gly	88.8 <sup>a</sup>	83.5 <sup>b</sup>	0.01	0.6
Pro	86.3 <sup>a</sup>	90.6 <sup>b</sup>	0.01	0.5
Ser	94.0	91.5	NS	1.0
Tyr	81.6 <sup>a</sup>	77.6 <sup>a</sup>	0.05	0.7

SED=Sesame expellers diet;

SBMD=Soybean meal diet;

SEM=Standard error of the mean.

<sup>a,b</sup>Values in the same row with different superscripts are significantly different.

Values for the basal endogenous losses (mg/kg DM) for growing pigs: Nitrogen 2812; Arg, 623; His, 156; Ile, 669; Leu, 757; Lys, 307; Met, 171; Phe, 411; Thr, 876; Val, 855; Ala, 823; Asp, 1103; Cys, 112; Glu, 2002; Gly, 858; Pro, 1306; Ser, 938; Tyr, 330 (Mariscal-Landín y Reis de Souza, 2006).

## DISCUSSION

### Chemical composition

Sesame and soybean are included in two different families (*Pedaliaceae* and *Fabaceae*, respectively) and their meals obtained by two different processing methods (mechanic and mechanic plus solvents, respectively). Consequently SE and SBM used in present study differ considerably in nutrient composition in agree with Asghar and Majeed (2013). SM and SBM found in the Mexican market showed a similar CP concentration to that produced in different countries, because their values were similar to those reported for SE (Egbekun and Ehieze, 1997) and for SBM (de Coca-Sinova *et al.*, 2008; Urbaityte *et al.*, 2009a; Jezierny *et al.*, 2011; Baker *et al.*, 2014). With respect to amino acid contents, it is noticeable that SBM has a greater content of lysine and proline than SE, and were similar to those reported by Cervantes and Stein (2008, 2010). Lysine is an essential amino acid for swine protein synthesis, and explains why SBM is the main protein source used in feed formulation around the world (Boisen, 2003). The higher content of sulfur AA and arginine in SE (Hossain and Jauncey, 1990; Li *et al.*, 2000) represents an advantage for this protein source to be employed in non-ruminant nutrition. Sulfur AA is the first limiting amino acid for poultry and the second limiting amino acid for pigs (Lewis, 2003; Baker, 2009). Arginine is an essential amino acid for the first phase of development in animal's life (Baker, 2007).

The difference in EE concentration between SE and SBM, can be due to the processing for the oil extraction. In SE it is by mechanical extraction (Egbekun and Ehieze, 1997; de Coca-Sinova *et al.*, 2008; Jimoh *et al.*, 2011), while in SBM it is by solvent promoting a more efficient oil extract on, and therefore the EE in SBM is lower (Cervantes and Stein, 2008, 2010).

SE had a greater content of NDF than SBM, both contents are similar to values reported previously (Escobar, 2008 for SE; and Cervantes and Stein, 2008; de Coca-Sinova *et al.*, 2008 and Jezierny *et al.*, 2011 for SBM).

Values of phytic acid in SE and SBM is within the ranges reported of 1.44 to 5.4 % for SE (Hossain and Jauncey, 1990; Li *et al.*, 2000; Schlemmer *et al.*, 2009) and 1.3 to 4.1 % in SBM (Anderson and Wolf, 1995; Gilani *et al.*, 2012). The TIA value of 1

mg/g of SE was greater than that reported by Jimoh *et al.* (2011) (0.29 mg TIA/g); while the value found for SBM 6 mg/g, was within the range (0.20 to 6.5 mg/g) reported by de Coca-Sinova *et al.* (2008), Urbaityte *et al.* (2009b), Jezierny *et al.* (2011) and Baker *et al.* (2014). The nutritional value of SBM could be improved through a wide range of processes (cooking, autoclaving, roasting, extrusion, rolling) in order to reduce its heat labile anti-nutritional factors particularly trypsin inhibitor and lectins (Mikic *et al.*, 2009). Trypsin inhibitor and phytic acid reduce protein and amino acids availability, principally basic amino acids; phytic acid also decreases mineral availability, reduces feed intake, digestion, feed efficiency and immune response (Friesen *et al.*, 1993; Schlemmer *et al.*, 2009).

### Digestibility

The digestibility and bioavailability of protein and amino acids in pigs can be influenced by the characteristics of the feed (chemical composition and processing), by animal factors (body weight, sex, physiological stage and genotype), by the experimental procedures (method of measurement and feeding level) and different infrastructure and environmental conditions (Nitrayová *et al.*, 2006; Mosenthin *et al.*, 2003; Urbaityte *et al.*, 2009a). These explain the variation on digestibility reported in the literature.

Mucin endogenous protein has a large amount of proline (Stein *et al.*, 1999), which possibly is increased by the inclusion of SED, resulting in a reduced AID. Apparently, phytic acid in SE negatively influences the AID and SID of lysine because phytate chelates AA, mainly the basic ones (Adeola and Sands, 2003).

The AID of protein and amino acids in SBM was similar or greater than those reported elsewhere (Chang *et al.*, 1987; Sauer *et al.*, 1991; Stein *et al.*, 2005; Pomar *et al.* 2008; Baker and Stein, 2009). The AID of arginine, isoleucine, phenylalanine, valine, methionine, alanine, cysteine and tyrosine were lower in the present experiment than in other reports (Sauer *et al.*, 1991; Woodworth *et al.*, 2001; Baker and Stein, 2009). Conversely the AID of lysine was higher in the present experiment than other elsewhere (Sauer *et al.*, 1991; Stein *et al.*, 2005; Pomar *et al.* 2008; Baker and Stein, 2009).

There is very little information about the AID and SID of SE. Among the studies that evaluated the SIDAA of SE in pigs, Li *et al.* (2000) reported digestibility values very similar to those in the present study, except for lysine and phenylalanine which were lower. Also the AID and SID of AA reported by NRC (1998) and AMIPig (2000) are greater than values in the present study.

The SID of CP in SBM was similar than those reported in other research and literature reviews (Stein *et al.*, 2001; Baker and Stein, 2009; Jezierny *et al.*, 2011), but lower than those observed by de Lange *et al.* (1990) and Sauer *et al.* (1991). The SID of arginine, histidine, isoleucine, leucine and threonine of SBM were within the range of previously published values (de Lange *et al.*, 1990; Sauer *et al.*, 1991; Stein *et al.*, 2001; Baker and Stein, 2009; Jezierny *et al.*, 2011). The SID of arginine lysine, leucine, methionine, phenylalanine, valine, alanine, cysteine and tyrosine was higher in the present experiment than in other researches (de Lange *et al.*, 1990; Sauer *et al.*, 1991; Stein *et al.*, 2001; Baker and Stein, 2009; Jezierny *et al.*, 2011).

Differences in SID values within feed ingredients may, at least in part, be attributed to different processing conditions (temperature, time, and moisture content), inherent differences of the assay feed ingredients (variety, place of production, soil conditions, fertilizer levels) (Stein *et al.*, 2001; van Kempen *et al.*, 2002; Urbaityte *et al.*, 2009a, Wang *et al.*, 2011).

## **CONCLUSION**

The oilseed meals used in the present study were different in their content of crude protein, ether extract, neutral detergent fiber, lysine, arginine and sulfur amino acids. Nevertheless, protein and amino acids ileal digestibilities were similar in sesame expellers and soybean meal. For this reason, sesame expellers can be an alternative protein sources for finishing pigs.

## **REFERENCES**

Adeola, O. and J.S. Sands. 2003. Does supplemental microbial phytase improve amino acid utilization? A perspective that it does not. *J. Anim. Sci.* 81:E77-E85.

- Agbulu, O., A.M. Gyau and J.B. Abakura. 2010. Effect of the replacement of sesame seed for methionine in broiler production in middle belt region – Nigeria. *JETERAPS* 1:16-21.
- AmiPig. 2000. Ileal standardized digestibility of amino acids in feedstuffs for pigs. AFZ, Ajinomoto Eurolysine, Aventis Animal Nutrition, INRA and ITCF, Paris. Ubicado en: <http://www.feedbase.com/amipig.php?Lang=E>
- Anderson, R.L. and W.J. Wolf. 1995. Compositional changes in trypsin inhibitors, phytic acid, saponins and isoflavones related to soybean processing. *J. Nutr.* 125:581S-588S.
- AOAC. 2002. Official Methods of Analysis, 17th ed. Association Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia.
- Asghar, A. and M.N. Majeed. 2013. Chemical characterization and fatty acid profile of different sesame varieties in Pakistan. *Am. J. Sci. Ind. Res.*, 4:540-545
- Bajjalieh, N. 2004. Proteins from oilseeds. In: Protein Sources for the Animal Feed Industry. FAO Animal Production and Health. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Baker, D.H. 2007. Lysine, Arginine, and Related Amino Acids: An Introduction to the 6th Amino Acid Assessment Workshop1–3. *J. Nutr.* 137: 1599S–1601S.
- Baker, D.H. 2009. Advances in protein–amino acid nutrition of poultry. *Amino Acids* 37:29–41.
- Baker, K.M. and H.H. Stein. 2009. Amino acid digestibility and concentration of digestible and metabolizable energy in soybean meal produced from conventional, high-protein, or low-oligosaccharide varieties of soybeans and fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 87:2282–2290.
- Baker, K.M., Y. Liu and H.H. Stein. 2014. Nutritional value of soybean meal produced from high protein, low oligosaccharide, or conventional varieties of soybeans and fed to weanling pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 188:64– 73.
- Boisen, S. 2003. Ideal dietary amino acids profiles for pig. In: Amino acids in animal Nutrition. Ed. D’Mello I. and J.P. Felix. 2<sup>nd</sup>. Ed. CABI Publishing. London, UK.

- Cervantes, P.S. and H.H. Stein. 2008. Effect of dietary soybean oil and soybean protein concentrate on the concentration of digestible amino acids in soybean products fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 86:1841-1849.
- Cervantes, P.S. and H.H. Stein. 2010. Ileal digestibility of amino acids in conventional, fermented, and enzyme treated soybean meal and in soy protein isolate, fishmeal, and casein fed to weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 88:2674-2683.
- Chang, C.J., T.D. Tanksley, D.A. Knabe and T. Zebrowska. 1987. Effects of different heat treatments during processing on nutrient digestibility of soybean meal in growing swine. *J. Anim. Sci.* 65:1273-1282.
- CIOMS. 1985. International guiding principles for biomedical research involving animals. The development of science-based guidelines for laboratory animal care - NCBI Bookshelf. Ubicado en: [http://cioms.ch/publications/guidelines/1985\\_texts\\_of\\_guidelines.htm](http://cioms.ch/publications/guidelines/1985_texts_of_guidelines.htm).
- de Coca-Sinova, A., D.G. Valencia, E. Jimenez-Moreno, R. Lazaro and G.G.Mateos. 2008. Apparent ileal digestibility of energy, nitrogen, and amino acids of soybean meals of different origin in broilers. *Poult. Sci.* 87:2613–2623.
- de Lange, C.F.M., W.B. Souffrant and W.C. Sauer. 1990. Real ileal protein and amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs as determined with the <sup>15</sup>N-isotope dilution technique. *J. Anim. Sci.* 68:409-418.
- 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. México, D.F.
- Diarra, S.S. and B.A. Usman. 2008. Performance of laying hens fed graded levels of soaked sesame (*Sesamum indicum*) seed meal as a source of methionine. *Int. J. Poult. Sci.* 7:323-327.
- Egbekun, M.K. and M.U. Ehieze. 1997. Proximate composition and functional properties of fullfat and defatted beniseed (*Sesamum indicum* L.) flour. *Plant Foods Hum. Nutr.* 51:35–41.
- Escobar, G.K. 2008. Pasta de ajonjolí y pasta de soya: Fuentes de proteínas de calidad para la alimentación de lechones recién destetados. Tesis de Maestría en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal. UNAM. México.



- EvaPig. 2014. INRA, AFZ and Ajinomoto Eurolysine S.A.S. Version 1.3.1.5. Ubicado en: <http://www.evapig.com/>
- Fan, M.Z. and W.C. Sauer. 1995. Determination of apparent ileal amino acid digestibility in barley and canola meal for pigs with the direct, difference, and regression methods. *J. Anim. Sci.* 73:2364-2374.
- Fenton, T.W. and M. Fenton. 1979. An improved procedure for the determination of chromic oxide in feed and feces. *Can. J. Anim. Sci.* 59:631-634.
- Friesen, K.G., R.D. Goodband, J.L. Nelssen, F. Blecha, D.N. Reddy, P.G. Reddy and L.J. Kats. 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.
- Gallo, J.T.C and H. Maner. 1970. Sesame meal for pigs. 1. Nutritive value of sesame meal for growing and finishing pigs. *Rev. Inst. Colomb. Agrop.* 5:107-112.
- Gilani, G.S., C.W. Xiao, K.A. Cockell. 2012. Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality. *Br. J. Nutr.* 108:S315–S332.
- Gilbert, R. 2004. The world animal feed industry. In: *Protein Sources for the Animal Feed Industry*. FAO Animal Production and Health. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Henderson, J.H., R.D. Ricker, B.A. Bidlingmeyer and C. Woodward. 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.
- Hirano, Y., Y. Ito, N. Inagaki, K. Yamasaki, H. Yokota and K. Kita. 2005. Effect of sesame meal supplemented in Sudangrass silage on fermentation quality and feed intake in goats. *J. Appl. Anim. Res.* 28:85-88.
- Hossain, M.A. and K. Jauncey. 1990. Detoxification of linseed and sesame meal and evaluation of their nutritive value in the diet of common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Asian Fish. Sci.* 3:169-183.
- Jeziorny, D., R. Mosenthin, N. Sauer, S. Roth, H.P. Piepho, M. Rademacher and M. Eklund. 2011. Chemical composition and standardised ileal digestibilities of

- crude protein and amino acids in grain legumes for growing pigs. *Livest. Sci.* 138, 229–243.
- Jimoh, W.A. and H.T. Aroyehun. 2011. Evaluation of cooked and mechanically defatted sesame (*Sesamum indicum*) seed meal as a replacer for soybean meal in the diet of African Catfish (*Clarias gariepinus*). *Turk. J. Fish. Aquat. Sci.* 11:185-190.
- Jimoh, W.A., O.A. Fagbenro and E.O. Adeparusi. 2011. Effect of processing on some minerals, anti-nutrients and nutritional composition of sesame (*Sesamum indicum*) seed meals. *Elec. J. Environ. Agric. Food Chem.* 10:1858-1864.
- Kakade, M.L., J.J. Rackis, J.E. McGhee and G. Puski. 1974. Determination of trypsin inhibitor activity of soy products: A collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal Chem.* 51:376-382.
- van Kempen T.A.T.G., I.B. Kim, A.J.M. Jansman, M.W.A. Verstegen, J.D. Hancock, D.J. Lee, V.M. Gabert, D.M. Albin, G.C. Fahey, Jr., C.M. Grieshop and D. Mahan. 2002. Regional and processor variation in the ileal digestible amino acid content of soybean meals measured in growing swine. *J. Anim. Sci.* 80:429–439.
- Lewis, A.J. 2003. Methionine-Cystine relationships in pig nutrition. In: *Amino acids in animal Nutrition*. Ed. D’Mello I. and J.P. Felix. 2<sup>nd</sup>. Ed. CABI Publishing. London, UK. pp. 143-156.
- Li, D., S.Y. Qiao, G.F. Yi, J.Y. Jiang, X.X. Xu, X.S. Piao, I.K. Han and P. Thacker. 2000. Performance of growing-finishing pigs fed sesame meal supplemented diets formulated using amino acid digestibilities determined by the regression technique. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 13:213-219.
- Mariscal-Landín, G. and T.C. Reis de Souza. 2006. Endogenous ileal losses of nitrogen and amino acids in pigs and piglets fed graded levels of casein. *Archives Anim. Nutr.* 60:454-466.
- Mikic, A., V. Peric, V. Orevic, M. Srebric and V. Mihailovic. 2009. Anti-nutritional factors in some grain legumes. *Biotech. Anim. Husb.* 25:1181-1188.

- Mosenthin, R. and M. Rademacher. 2003. Digestible amino acids in diet formulation for pigs. In: D'Mello, J.P.F. (Ed), Amino acids in animal nutrition (2<sup>nd</sup> Edition), CABI Publishing, Wallingford, UK, pp.169–186.
- Nang, T.T.T., N. Bodin, S. de Saeger, Y. Larondelle and X. Rollin. 2011. Substitution of fish meal by sesame oil cake (*Sesamum indicum* L. in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.). *Aquaculture Nutr.* 17:80-89.
- Nitrayová, S., J. Heger, P. Patráš and M. Brestenský. 2006. Effect of body weight and pig individuality on apparent ileal digestibility of amino acids and total nitrogen. *Slovak J. Anim. Sci.* 39:65–68.
- NRC. National Research Council. 1998. Nutrients requirements of swine, 10<sup>th</sup> Ed. Washington, DC. National Academy Press.
- Obeidat, B.S., A.Y. Abdullah, K.Z. Mahmoud, M.S. Awawdeh and N.Z. Al-beitawi. 2009. Effects of feeding sesame meal on growth performance, nutrient digestibility, and carcass characteristics of Awassi lambs. *Small Rum. Res.* 82:13-17.
- Pomar, C., Gagne, F., Matte, J.J., Barnett, G. and Jondreville, C. 2008. The effect of microbial phytase on true and apparent ileal amino acid digestibilities in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 86:1598–1608.
- Reis de Souza, T., B.B. Mar and G. Mariscal-Landín. 2000. Canulación de cerdos posdestete para pruebas de digestibilidad ileal: desarrollo de una metodología. *Téc. Pec. Méx.* 38:143-150.
- SAS, 2008. Statistical Analysis System, *User's guide. SAS/ETS® 9.2.* Cary, NC: SAS Institute, Inc.USA.
- Sauer, W.C., R. Mosenthin, F. Ahrens and L.A. den Hartog. 1991. The effect of source of fiber on ileal and fecal amino acid digestibility and bacterial nitrogen excretion in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 69:4070-4077.
- Schlemmer, U., W. Frolich, R.M. Prieto and F. Grases. 2009. Phytate in foods and significance for humans: Food sources, intake, processing, bioavailability, protective role and analysis. *Molec. Nutr. Food Res.* 53:S330 –S375.

- Squibb, R.L. and E. Salazar. 1951. Value of corozo palm nut and sesame oil meals, bananas, A.P.F. and cow manure in rations for growing and fattening pigs. *J. Anim. Sci.* 10: 545-550.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1986. Principles and Procedures of Statistical Biometrical Approach. Second ed. Mc Grw-Hill, Inc, New York.
- Stein, H.H., N.L. Trottier, C. Bellaver, and R.A. Easter. 1999. The effect of feeding level and physiological status on total flow and amino acid composition of endogenous protein at the distal ileum in swine. *J. Anim. Sci.* 77:1180–1187.
- Stein, H.H., S.W. Kim, T.T. Nielsen and R.A. Easter. 2001. Standardized ileal protein and amino acid digestibility by growing pigs and sows. *J. Anim. Sci.* 79:2113–2122.
- Stein, H.H., C. Pedersen, A.R. Wirt and R.A. Bohlke. 2005. Additivity of values for apparent and standardized ileal digestibility of amino acids in mixed diets fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 83:2387–2395.
- Urbaityte, R., R. Mosenthin and M. Eklund. 2009a. The concept of standardized ileal amino acid digestibilities: principles and application in feed ingredients for piglets. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 22:1209–1223.
- Urbaityte, R., R. Mosenthin, M. Eklund, H.P. Piepho and M. Rademacher. 2009b. Determination of standardized ileal crude protein and amino acid digestibilities in protein supplements for piglets. *Animal* 3:1696–1705.
- Vaintraub, I.A. and N.A. Lapteva. 1988. Colorimetric determination of phytate in unpurified extracts of seeds and the products of their processing. *Anal. Biochem.* 15: 227-230.
- van Kempen T.A.T.G., I.B. Kim, A.J.M. Jansman, M.W.A. Verstegen, J.D. Hancock, D.J. Lee, V.M. Gabert, D.M. Albin, G.C. Fahey, Jr., C.M. Grieshop and D. Mahan. 2002. Regional and processor variation in the ileal digestible amino acid content of soybean meals measured in growing swine. *J. Anim. Sci.* 80:429–439.
- van Kempen, T.A.T.G., E. Van Heugten, A.J. Moeser, N.S. Muley and V.J.H. Sewalt. 2006. Selecting soybean meal characteristics preferred for swine nutrition. *J. Anim. Sci.* 84:1387-1395

- van Soest, P.J., J. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3594.
- Wang, J.P., S.M. Hong, L. Yan, J.H. Cho, H.S. Lee and I.H. Kim. 2011. The evaluation of soybean meals from 3 major soybean-producing countries on productive performance and feeding value of pig diets. *J. Anim. Sci.* 2011. 89:2768–2773.
- Woodworth, J.C., Tokach M.D., Goodband R.D., Nelssen, J.L., O’Quinn, P.R., Knabe D.A. and 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.
- Yakubu, B. and B. Alfred. 2014. Nutritional evaluation of toasted white sesame seed meal *Sesamum indicum* as a source of methionine on growth performance, carcass characteristics, haematological and biochemical indices of finisher broiler chickens. *IOSR J. Agric. Vet. Sci.* 7:46-52.
- Yasothei, R., B. Mohan and R. Ravi. 2009. Effect of feeding sesame oil cake (*Sesamum indicum* L.) on tibia and breast meat composition in broilers. *Tamilnadu J. Vet. Anim. Sci.* 5:9-16.

## **CAPÍTULO 4**

### **MORPHOPHYSIOLOGICAL ADAPTATIONS OF THE GASTROINTESTINAL TRACT IN PIGLETS FED A SESAME EXPELLERS OR SOYBEAN MEAL DIET**

## **Morphophysiological adaptations of the gastrointestinal tract in piglets fed a sesame expellers or soybean meal diet**

### **ABSTRACT**

An important indicator to recommend a protein source for piglet nutrition is the absence of intestinal damage. The effects of sesame expellers or soybean meal based diets on gastrointestinal tract (GIT) morphophysiology, diarrhea incidence and severity in piglets were studied during the first two weeks postweaning. Thirty-six piglets weaned at 21 days of age were fed one of three diets: A control casein diet (C), a sesame expellers diet (SE), or a soybean meal diet (SBM). Diarrhea incidence and fecal score were determined once daily over a 14-day period. After 14 days, 3 piglets in each experimental group were fasted 12 h, fed for 1 hour and then slaughtered at 3, 6, 9 and 12 h after feeding, at which times relative GIT weights (g/kg), intestinal morphology, digesta pH, trypsin and chymotrypsin activities were evaluated. Stomach and small intestine weight were higher ( $P<0.05$ ) in piglets fed SBM and SE than in piglets fed C. The gastric pH was higher in piglets fed C and SE and lower in piglets fed SBM ( $P<0.05$ ). The pH of the different segments of the GIT was not affected ( $P>0.05$ ) by dietary protein source. The specific activity of chymotrypsin was higher ( $P<0.05$ ) in animals fed C than in those fed SE and SBM and did not vary with after feeding time ( $P>0.05$ ). Trypsin activity was higher ( $P<0.05$ ) in piglets fed SBM than those fed C and SE. The dietary protein source had no impact ( $P<0.05$ ) on villus height or duodenal and ileal crypt depth. Jejunal villi in piglets fed SBM were shorter ( $P<0.05$ ) than in piglets fed C and SE. Dietary treatment had no effect on diarrhea incidence and severity. These findings show that sesame expellers can replace soybean meal as a protein source in starter diets for weaned piglets.

**Keywords:** Villi Morphology, Sesame Meal, Soybean Meal, Digestive Enzymes, Piglets

## **INTRODUCTION**

At weaning, piglets experience a period of underfeeding and diarrhea caused by the stress of separation from the sow, changing facilities and diet changes (Vente-Spreeuwenberg *et al.*, 2001). The lowered feed intake and gastrointestinal tract development observed during weaning have been associated with diet ingredients (Lallès *et al.*, 2007), particularly the presence of Anti-Nutritional Factors (ANFs), as well as the quantity and type of fiber in vegetable protein sources (Hermes *et al.*, 2009). Soybean meal is the main vegetable protein source used in piglet diets because of its amino acid profile; however, it contains ANFs that may limit its use (Makkink *et al.*, 1994; Palacios *et al.*, 2004). Sesame expellers is an alternative to soybean meal that can be used in starter diets; its high protein content and low ANF levels are attractive, but its phytic acid concentration may prove problematic (Jimoh *et al.*, 2011) and there is little information about its use in piglet diets. The present study evaluates the effect of sesame expellers and soybean meal starter diets in weaned piglets on gastrointestinal tract weight, villi height, intestinal crypt depth, gastric and intestinal digesta pH (duodenum, jejunum and ileum) and trypsin and chymotrypsin activities.

## **MATERIALS AND METHODS**

Procedures were conducted at the CENID-Physiology experimental farm, according to the guidelines established in the Mexican Official Norm NOM-062-ZOO-1999 for production, care and use of laboratory animals (DOF, 2001) and the guidelines of the International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals (CIOMS, 1985).

### **Ingredients and Chemical Composition of Experimental Diets**

The chemical composition of the sesame expellers and soybean meals used in experimental diets is described in Table 1. Sesame expellers showed a higher content of the following nutrients compared to soybean meal: Crude protein, ether extract, neutral detergent fiber, combined methionine and cysteine, arginine and



phytic acid. Soybean meal showed a higher lysine content and a higher Trypsin Inhibitor Activity (TIA) compared to sesame expellers.

Three diets were formulated: casein diet (C) (used as a reference protein), sesame meal diet (SM) and soybean meal diet (SBM) (Table 2). Antibiotics were not used in any of the diets offered. The SBM diet contained 20% soybean meal (Friesen *et al.*, 1993). In the SM diet, adequate sesame meal was added to ensure a protein level equal to that in the SBM diet. In the SBM and SM diets, casein was supplemented to provide an adequate amount of protein and a complete amino acid profile, as recommended by the NRC (1998). Vitamins and minerals were supplemented in all diets based on requirements recommended by the NRC (1998).

#### Animals and Experimental Management

A total of 36 Fertilis 20xG Performance piglets (Genetiporc) (Body Weight [BW],  $7.1 \pm 0.5$  kg) weaned at  $21 \pm 0.8$  days were used. Animals were randomly assigned to one of three experimental diets, comprising 12 piglets per experimental group. Within each experimental group, piglets were allocated into two pens based on BW, comprising 6 piglets each. Each elevated pen was equipped with 6 manual feeding spaces, a nipple water dispenser and a plastic covered expanded metal floor. Diets and water were available *ad libitum*. All piglets were weighed individually at weaning and at day 14. Fecal consistency was visually examined daily for 14 days after weaning to determine the fecal score and diarrhea incidence. Fecal score was determined using the following scoring criteria: 0 (normal), 1 (soft feces), 2 (mild diarrhea), or 3 (severe diarrhea) (Opapeju *et al.*, 2009). The mean fecal consistency was calculated for each experimental group based on the measured fecal scores (Reis de Souza *et al.*, 2010). The diarrhea incidence was calculated based on the mean proportion of days that diarrhea was observed relative to the total experimental period.

**Table 1.** Composition of experimental diets (% DM)

Ingredient	Experimental diets		
	C	SE	SBM
Corn starch	47.98	42.11	37.43
CFC <sup>1</sup>	4.00	4.00	4.00
Soybean meal	-	-	20.00
Sesame expellers	-	17.45	-
Casein	24.04	14.40	14.40
Corn oil	5.40	4.00	5.62
Lactose	12.60	12.60	12.60
Salt	0.50	0.50	0.50
Calcium carbonate	0.40	0.40	0.40
Dicalcium phosphate	3.60	2.98	3.50
Mineral premix <sup>2</sup>	0.12	0.12	0.12
Vitamin premix <sup>3</sup>	0.36	0.36	0.36
Gustor™	0.20	0.20	0.20
AminoGut	0.80	0.80	0.80
L-Lysine	-	0.39	-
<b>Chemical composition</b>			
CP (%N x 6.25), %	20.0	20.5	21.7
EE, %	6.60	7.70	8.60
NDF, %	4.60	8.20	5.60
TIA, mg TIA/100g <sup>4</sup>	-	17.45	96.00
Phytic acid, g sodium phytate/100g <sup>4</sup>	-	0.70	0.48

C=Casein diet (reference diet).

SE= Sesame expellers diet,

SBM=Soybean meal diet.

<sup>1</sup>Crude fiber concentrate (Arbocel™).

<sup>2</sup>Mineral premix, provides per kg of feed: cobalt 0.72 mg, copper 14.4 mg, iron 120 mg, manganese 36 mg, selenium 0.30 mg, iodine 0.96 mg, zinc 144 mg.

<sup>3</sup>Vitamin premix, provides per kg of feed: vitamin A 10,200 IU, vitamin D 1,980 IU, vitamin E 60 IU, vitamin K 1.2 mg, riboflavin 7.2 mg, cyanocobalamin 0.04 mg, niacin 36 mg, pantothenic acid 16.55 mg, thiamine 0.30 mg, piridoxine 0.31 mg, biotin 0.08 mg, folic acid 0.75 mg.

<sup>4</sup>TIA and phytic acid for experimental diet were calculated from raw material composition.

**Table 2.** Chemical composition of raw materials (% DM)

Chemical composition	Raw materials		
	Casein	Sesame expellers	Soybean meal
CP (%N x 6.25), %	90.3	53.5	41.6
EE, %	-	11.1	1.2
NDF, %	-	17.5	14.5
TIA, mg TIA/100g	-	100.0	480.0
Phytic acid, g sodium phytate/100g	-	4.0	2.4
Indispensable AA			
Arg	3.2	4.9	3.3
His	2.2	1.0	1.2
Ile	4.9	1.5	2.1
Leu	8.4	2.8	3.3
Lys	6.1	1.0	2.7
Met + Cys	3.1	2.1	1.3
Phe	4.4	1.8	2.3
Thr	4.2	1.5	1.7
Val	6.5	1.9	2.1
Dispensable AA			
Ala	2.6	1.9	1.9
Asp	6.4	3.6	5.9
Glu	20.8	7.5	9.5
Gly	1.5	2.1	2.2
Pro	9.2	1.6	3.8
Ser	4.8	1.9	2.2
Tyr	4.8	1.6	1.6

On day 13 at 1900 h feed was removed. On day 14 at 0700 h all piglets were fed during one hour. Then three piglets per treatment were slaughtered at 3, 6, 9 and 12 h after feeding. Piglets of all groups were stunned using CO<sub>2</sub> and euthanized by exsanguination by severing the jugular vein. A midline incision was made in the abdomen to expose the digestive tract. The stomach and small intestine were tied at the proximal and distal ends, removed from the abdominal cavity, emptied and weighed. The small intestine was removed from the abdominal cavity and divided into duodenum, jejunum and ileum. The pancreas was then excised, dissected from connective tissue, weighed, frozen immediately in liquid nitrogen and stored at -80°C. The organ weight was reported as a proportion of BW (relative weight, g/kg).

#### Laboratory Analysis

Dry matter (DM), crude protein (CP) and ether extract (EE) were determined for each individual feed ingredient (casein, sesame expellers and soybean meal) and for each diet (C, SE and SBM), according to AOAC (2000) methods 934.01, 976.05 and 920.39 respectively. The neutral detergent fiber (NDF) level was measured according to the method described by Van Soest *et al.* (1991). Samples were prepared for amino acid determination according to method 994.12 in the AOAC (2000). Samples were hydrolyzed at 110°C for 24 h in 6M HCl. To measure the methionine and cysteine component, oxidation using performic acid was performed, followed by amino acid analysis using reverse phase chromatography on a Hewlett Packard, model 1100 HPLC apparatus, as described by Henderson *et al.* (2000). Trypsin Inhibitor Activity (TIA) was measured as described by Kakade *et al.* (1974) and phytic acid concentration was determined as recommended by Vaintraub and Lapteva (1988).

Digesta pH of the stomach, duodenum, jejunum and ileum was measured directly using a pH meter with a glass electrode. Pancreatic trypsin (EC 3.4.21.4) activity was determined using Benzoyl-Arginine-Ethyl Ester (BAEE, Sigma™ B4500) as a substrate (Reboud *et al.*, 1962) and the chymotrypsin (EC 3.4.21.1) activity was determined using Benzoyl-L-Tyrosine-Ethyl Ester (BTEE, Sigma™ B6125) as a substrate (Hummel, 1959). Pancreatic protein concentration was determined using

the Micro Lowry kit Onishi and Barr modification (Sigma™ TP02000) to report the specific activity of trypsin and chymotrypsin (IU/·mg protein).

Intestinal villus height and Lieberkühn crypt depth were measured in piglets slaughtered at 12 h after feeding, using 10 cm portions of the duodenum, jejunum and ileum. The samples were fixed in neutral buffered formaldehyde, embedded in paraffin and sectioned into 4 µm slices. The sections were stained with hematoxylin and eosin (Nabuurs *et al.*, 1993).

### Statistical Analysis

Statistical analyses were performed using the GLM procedures of SAS (2008) for a completely randomized design. Enzymatic activity and pH data were subjected to a 3×4 factorial analysis (3 diets and 4 h after feeding). Relative organ weights, villus height, intestinal crypt depth, diarrhea incidence and fecal score data were analyzed as a completely randomized design with type of diet as the main effect. Differences between means were determined using a Tukey test at a 5% significance level (Steel *et al.*, 1997).

## RESULTS

As shown in Table 3, protein source did not affect pancreatic weight ( $P>0.05$ ), but the stomach and small intestine weights were higher in piglets fed SE and SBM than in those fed a C diet ( $P<0.05$ ).

Gastric digesta pH was higher ( $P<0.05$ ) in piglets fed C than in those fed SBM, but no difference was observed among animals fed SE and SBM ( $P>0.05$ ) (Table 4). Small intestine digesta pH was not affected by protein source. Gastric and ileal digesta pH did not vary over time in the hours after feeding ( $P>0.05$ ), but duodenal and jejunal digestas pH increase between 3 and 12 h after feeding ( $P<0.05$ ).

Chymotrypsin activity was higher ( $P<0.05$ ) in animals fed the C diet than in those fed the SE and SBM diets (Table 4), regardless of time after feeding ( $P>0.05$ ). Trypsin activity was higher ( $P<0.05$ ) in animals fed SBM than in those fed C and SE diets. Trypsin activity decreased ( $P<0.05$ ) between 3 and 9 h after feeding and then increased at 12 h after feeding.

**Table 3.** Relative weight of digestive organs of piglets fed with C, SE and SBM diets

Relative weight, g/kg BW	Experimental diets			P<	SEM
	C	SE	SBM		
Pancreas	1.5	1.7	1.6	NS	0.04
Stomach	6.2 <sup>a</sup>	7.3 <sup>b</sup>	7.1 <sup>b</sup>	0.05	0.15
Small intestine	40.8 <sup>a</sup>	52.7 <sup>b</sup>	49.7 <sup>b</sup>	0.001	0.88

C=Casein diet (reference diet), SE=Sesame expellers diet,

SBM=Soybean meal diet; SEM=Standard Error of Mean.

<sup>ab</sup>Values in the same row with different superscripts are significantly different.

NS=Non significant.

Intestinal morphology results are described in Table 5. Villus height and duodenal and ileal crypt depths were not affected by dietary protein source ( $P>0.05$ ). The average jejunal villus length was longer in piglets receiving the SE diet ( $P<0.05$ ) than in piglets receiving the SBM and C diets. Jejunal crypt depth was equal ( $P>0.05$ ) among all experimental groups.

The dietary protein source did not affect the diarrhea incidence or the fecal score ( $P>0.05$ ).

## DISCUSSION

Stomach and small intestine weight was greater in piglets fed a vegetable protein diet than in those fed the casein diet. This may be caused by the higher fiber content and the presence of the trypsin inhibitor in vegetable proteins, as previously reported by Csaky and Fekete (2004). Furthermore, the experimental diets did not cause any detrimental effect on visceral weight of the experimental animals, which is similar to findings in other studies (Csaky and Fekete, 2004; Reis de Souza *et al.*, 2007; 2012; Opapeju *et al.*, 2008).

**Table 4.** Digestive content pH and specific activity of pancreatic trypsin and chymotrypsin of piglets fed with C, SE and SBM diets in different hours after feedings

	Experimental diets			Hours after feeding				P<			SEM
	C	SE	SBM	3	6	9	12	D	H	D*H	
<b>Digestive content pH</b>											
Stomach	3.8 <sup>a</sup>	3.5 <sup>ab</sup>	2.5 <sup>b</sup>	3.1	3.1	3.3	3.8	0.05	NS	NS	0.17
Duodenum	5.9	5.8	5.6	5.1 <sup>B</sup>	5.9 <sup>AC</sup>	5.5 <sup>BC</sup>	6.6 <sup>A</sup>	NS	0.01	NS	0.13
Jejunum	5.9	6.1	6.0	5.5 <sup>B</sup>	5.9 <sup>B</sup>	6.0 <sup>B</sup>	6.6 <sup>A</sup>	NS	0.01	NS	0.10
Ileum	6.4	6.6	6.7	6.4	6.8	6.6	6.6	NS	NS	NS	0.07
<b>Pancreatic specific activity, UI/mg protein</b>											
Chymotrypsin	260 <sup>a</sup>	189 <sup>b</sup>	133 <sup>b</sup>	168	172	208	228	0.01	NS	NS	11.1
Trypsin	26 <sup>a</sup>	27 <sup>a</sup>	32 <sup>b</sup>	31 <sup>A</sup>	25 <sup>B</sup>	24 <sup>B</sup>	32 <sup>A</sup>	0.05	0.05	NS	0.9

C=Casein diet (reference diet), SE=Sesame expellers diet, SBM=Soybean meal diet.

D=Diet effect, H=Hour after feeding effect, D\*H=Diet\*hour after feeding interaction; SEM=Standard Error of Mean.

<sup>a,b</sup>Values with different superscripts between diets in the same row are significantly different.

<sup>AB</sup>Values with different superscripts between hours after feeding in the same row are significantly different.

NS=Non significant.

**Table 5.** Morphology of intestinal villi of duodenum, jejunum and ileum of piglets fed with C, SE and SBM diets

Morphology	Experimental diets			P<	SEM
	C	SE	SBM		
<b>Duodenum</b>					
Villi height, $\mu\text{m}$	409	411	418	NS	27.6
Crypt depth, $\mu\text{m}$	152	139	180	NS	11.5
<b>Jejunum</b>					
Villi height, $\mu\text{m}$	404 <sup>a</sup>	424 <sup>a</sup>	203 <sup>b</sup>	0.05	21.7
Crypt depth, $\mu\text{m}$	156	143	204	NS	8.0
<b>Ileum</b>					
Villi height, $\mu\text{m}$	268	352	278	NS	40.7
Crypt depth, $\mu\text{m}$	192	153	157	NS	16.7
<b>Diarrhea</b>					
Fecal score	0.38	0.52	0.59	NS	0.17
Diarrhea incidence, day	2.5	5.3	4.5	NS	0.97

C=Casein diet (reference diet), SE=Sesame expellers diet, SBM=Soybean meal diet; SEM=Standard Error of Mean.<sup>a,b</sup>Values with different superscripts are significantly different; NS=Non significant.

Stomach digesta pH values found, indicate that the diet modulates the chemical characteristics of gastric secretion. The optimal stomach pH range for pepsin protein digestion (Makkink *et al.*, 1994; Morales *et al.*, 2012; Heo *et al.*, 2013) is 2 to 4. The lowest gastric acidic content was observed in piglets fed the C diet and it is likely caused by casein's higher buffering capacity due its greater number of amino acids with carboxylic radicals, as well as the presence of phosphate radicals (Salaun *et al.*, 2005). Sesame expellers also showed a high buffering capacity, which is derived from its high concentration of arginine and cysteine and prevented a drastic pH decrease in the stomach. Soybean meal showed comparatively less buffering capacity, probably due to its high concentration of acidic amino acids



(glutamic and aspartic), as it has been demonstrated in other legumes (Al-Dabbas *et al.*, 2010). Duodenal digesta pH values observed in piglets in the present study (average pH = 5.7), showed that the acidic chyme was neutralized to protect the intestinal mucosa and prevent denaturation from digestive enzymes. The pancreas also contributes to duodenal pH by secreting bicarbonate ions into the duodenum under the influence of the hormones Cholecystokinin (CCK) and secretin (Clemente and Domoney, 2006). In the present study, the progressive increase of pH from the stomach to the ileum allowed the proper conditions for enzymatic activity in the small intestine (Makkink *et al.*, 1994; Morales *et al.*, 2012).

The decreased activity of trypsin in the first 9 h after feeding was a consequence of decrease in the quantity of protein present in the gastrointestinal tract. Makkink *et al.* (1994) observed that the secretion of proteolytic enzymes from the pancreas is directly proportional to the presence of protein in the gastrointestinal tract, which decreases over time after feeding. However, the increase in specific activity of trypsin (expressed as IU·mg protein<sup>-1</sup>) observed at 12 h after feeding, probably due the decrease of pancreatic protein concentration in absence of feed (fasting) in the gastrointestinal tract (Nagy *et al.*, 1989). Enzyme and hormone secretion from the digestive tract in weaned piglets depends on the degree of gastrointestinal stimulation.

Other factors modulating digestive tract function are the protein source quality, protein digestibility, feed processing and the presence of ANF (Makkink *et al.*, 1994; Hermes *et al.*, 2009). Findings in the present study indicate that ANF is one of the most important factors that may explain the influence of the protein source on digestive enzyme activity and morphology of intestinal mucosa. We suspect that the higher trypsin specific activity in piglets fed SBM is caused by the trypsin inhibitor factor in soybean meal, which in turn may stimulate CCK hormone secretion from intestinal cells, resulting in greater pancreatic trypsin synthesis and secretion through negative feedback mechanisms (Owyang *et al.*, 1994). This negative feedback loop mediated by CCK has been reported in rats, pigs, calves and humans (Clemente and Domoney, 2006; Woyengo *et al.*, 2009).

The chymotrypsin specific activity in piglets fed SE and SBM was lower than in piglets fed C, a finding possibly resulting from the presence of phytic acid. Phytic acid may induce ionic bonding to the basic amino acids in proteins such as chymotrypsin (lysine and arginine) at the pH present in the small intestine (5.7 to 7.6) (Adeola and Sands, 2003).

Previous studies have revealed the presence of certain allergenic proteins (glycinin and  $\beta$ -conglycinin), lectins and trypsin inhibitor in soybean meal (Csaky and Fekete, 2004; Purushotham *et al.*, 2007), all of which can decrease jejunal villus height, as observed in piglets receiving SBM diet. Li *et al.* (1991) and Csaky and Fekete (2004) have observed similar effects in weaned piglets fed soybean meal diets.

Zhan *et al.* (2008) and Shan *et al.* (2012) observed that dietary supplementation of arginine improved intestinal mucosa development in weaning piglets. Sesame expellers contributes to 48% more arginine than soybean meal, which may explain the larger jejunal villi observed in piglets fed SE diet. Arginine is theorized to increase enterocyte metabolism by increasing nitrogen transport in tissue proteins; it is also a substrate in multiple enzymatic pathways, including arginase, nitric oxide synthase, ARG-glycine aminotransferase and arginyl-tRNA synthetase and is a precursor for the synthesis of creatinine, proline, glutamate, polyamines and nitric oxide synthase (Wu *et al.*, 2007).

Diarrhea incidence and associated fecal score in all piglets, regardless of diet offered, were consistent with what is commonly observed at weaning. Fecal score was similar to values observed by Opapeju *et al.* (2008) and Bhandari *et al.* (2009) at 14 days post-weaning. Diarrhea incidence in the present study was higher than that reported by Hermes *et al.* (2009), who used diets containing antibiotics, but fecal score did not show any relative increase. Opapeju *et al.* (2008) and Bhandari *et al.* (2009) observed fecal scores during the second week postweaning in animals fed SBM diets without antibiotics, which is similar to fecal scores reported in the present study. Zhan *et al.* (2008) and Grimble (2007) have reported that arginine induces nitric oxide-mediated water and electrolyte secretion, which at low levels (0.7%) acts as an absorber and at high levels (>1.2%) as a secretagogue; however, in the

present study, the arginine level in the SE diet (0.86%) was not high enough to induce diarrhea or increase diarrhea incidence.

## **CONCLUSION**

A sesame expellers diet fed to piglets during the weaning period did not have a negative effect on gastrointestinal tract development, digesta pH, diarrhea incidence, fecal score, trypsin activity, or small intestine villus morphological characteristics. In addition, the higher content of crude protein, sulfur amino acids and arginine, together with the lower trypsin inhibitory activity in sesame expellers compared to that of soybean meal, make it an important alternative protein source for piglets feeding during the weaning period.

However, further studies about nitrogen digestibility and growth performance in piglets are needed to recommend the use of sesame expellers in starter diets.

## **ACKNOWLEDGEMENT**

Partially funded by SEP-CONACYT Grant No.179898 CB-2012-01. The authors gratefully acknowledge to Dipasa Internacional de México, S.A. de C.V. for providing the sesame meal for the experiment.

## **REFERENCES**

- Adeola, O. and J.S. Sands. 2003. Does supplemental dietary microbial phytase improve amino acid utilization? A perspective that it does not. *J. Anim. Sci.* 81: E78-E85.
- Al-Dabbas, M.M., K. Al-Ismael, R.A. Taleb and S. Ibrahim. 2010. Acid-base buffering properties of five legumes and selected food *in vitro*. *Am. J. Agric. Biol. Sci.* 5: 154-160.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 17th Edn., Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- Bhandari, S.K., C.M. Nyachoti and D.O. Krause. 2009. Raw potato starch in weaned pig diets and its influence on postweaning scours and the molecular microbial ecology of the digestive tract. *J. Anim. Sci.* 87: 984-993.

- CIOMS. 1985. International guiding principles for biomedical research involving animals. The development of science-based guidelines for laboratory animal care. NCBI Bookshelf.
- Clemente, A. and C. Domoney. 2006. Biological significance of polymorphism in legume protease inhibitors from the Bowman-Birk family. *Current Protein Peptide Sci.* 7: 201-216.
- Cranwell, P.D. 1995. Development of the Neonatal Gut and Enzyme Systems. In: *The Neonatal Pig Development and Survival*, Varley, M.A., Edr, Wallingford UK: CABI Publishing. pp: 99-154.
- Csaky, I. and S. Fekete. 2004. Soybean: Feed quality and safety. Part 2: Pathology of soybean feeding in animals. A review. *Acta Veterinaria Hungarica* 52: 315-326.
- DOF. 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*. México, D.F.
- Friesen, K.G., R.D. Goodband, J.L. Nelssen, F. Blecha, D.N. Reddy P.G. Reddy and L.J. Kats. 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.
- Grimble, G.K. 2007. Adverse gastrointestinal effects of arginine and related amino acids. *J. Nutr.* 137:1693S-1701S.
- Henderson, J.H., R.D. Ricker, B.A. Bidlingmeyer and C. Woodward. 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*.
- Heo, J.M., F.O. Opapeju, J.R. Pluske, J.C. Kim, D.J. Hampson and M. Nyachoti. 2013. Gastrointestinal health and function in weaned pigs: A review of feeding strategies to control post-weaning diarrhea without using in-feed antimicrobial compounds. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 97: 207-237.

- Hermes, R.G., F. Molist, M. Ywazaki, M. Nofrarias, A.G. de Segura, J. Gasa and J.F. Perez. 2009. Effect of dietary level of protein and fiber on the productive performance and health status of piglets. *J. Anim. Sci.* 87: 3569-3577.
- Hummel, B.C.W. 1959. A modified spectrophotometric determination of chymotrypsin, trypsin and thrombin. *Can. J. Biochem. Physiol.* 37:1393-1399.
- Jimoh, W.A., O.A. Fagbenro and E.O. Adeparusi. 2011. Effect of processing on some minerals, anti-nutrients and nutritional composition of sesame (*Sesamum indicum*) seed meals. *Electronic J. Environ. Agric. Food Chem.* 10:1858-1864.
- Kakade, M.L., J.J. Rackis, J.E. McGhee and G. Puski. 1974. Determination of trypsin inhibitor activity of soy products: A collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal Chem.* 51: 376-382.
- Lallès, J.P., P. Bosi, H. Smidt and R. Stokes. 2007. Nutritional management of gut health in pigs around weaning. *Proc. Nutr. Soc.* 66: 260-268.
- Li, D.F., J.L. Nelssen, P.G. Reddy, F. Blecha, R.D. Klemm D.W., Giesting, J.D. Hancock, G.L. Allee and R.D. Goodband. 1991. Measuring suitability of soybean products for early-weaned pigs with immunological criteria. *J. Anim. Sci.* 69: 3299-3307.
- Makkink, C.A., P.J.M. Berntsen, B.M.L. Op den Kamp, B. Kemp and M.W.A. Verstegen. 1994. Gastric protein breakdown and pancreatic enzyme activities in response to two different dietary protein sources in newly weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 72:2843-2850.
- Morales, A., H. Garcia, J.E. Sanchez, B.A. Araiza, R.T. Zijlstra and M. Cervantes. 2012. Apparent ileal amino acid digestibility and activities of trypsin and chymotrypsin in pigs fed sorghum-soybean meal diets supplemented with a microbial phytase. *Anim. Feed Sci. Technol.* 172:247-251.
- Nabuurs, M.J.A., A. Hoogendoorn, E.J. Ven der Molen and L.M. Van Osta. 1993. Villus height and crypt depth in weaned and unweaned pigs, reared under various circumstances in the Netherlands. *Res. Vet. Sci.* 55:78-84.
- Nagy, I., A. Pap and V. Varro. 1989. Time-course of changes in pancreatic and enzyme composition in rats during starvation size. *Int. J. Pancreatol.* 5:35-45.

- NRC. 1998. Nutrients Requirements of Swine. 10th Edn. National Academy Press, Washington, D.C. pp: 116.
- Opapeju, F.O., D.O. Krause, R.L. Payne, M. Rademacher and C.M. Nyachoti. 2009. Effect of dietary protein level on growth performance, indicators of enteric health and gastrointestinal microbial ecology of weaned pigs induced with postweaning colibacillosis. *J. Anim. Sci.* 87: 2635-2643.
- Opapeju, F.O., M. Rademacher, G. Blank and C.M. Nyachoti. 2008. Effect of low-protein amino acid supplemented diets on the growth performance, gut morphology, organ weights and digesta characteristics of weaned pigs. *Animal* 2: 1457-1464.
- Owyang, C.H. 1994. Negative feedback control of exocrine pancreatic secretion: Role of cholecystokinin and cholinergic pathway. *J. Nutr.* 124:1321S-1326S.
- Palacios, M.F., R.A. Easter, K.T. Soltwedel, C.M. Parsons, M.W. Douglas T. Hymowitz and J.E. Pettigrew. 2004. Effect of soybean variety and processing on growth performance of young chicks and pigs. *J. Anim. Sci.* 82:1108-1114.
- Purushotham, B., P.M. Radhakrishna and B.S. Sherigara. 2007. Effects of steam conditioning and extrusion temperature on some anti-nutritional factors of soyabean (*Glycine max*) for pet food applications. *Am. J. Anim. Vet. Sci.* 2:1-5.
- Reboud, J.P., A.A. Ben et P. Desnuelle. 1962. Variations de la teneur en enzymes de pancreas de rat en fonction de la composition des régimes. *Biochim. Biophys. Acta* 58: 326-327.
- Reis de Souza, T.C., L.G. Mariscal and G.K. Escobar. 2010. Algunos factores fisiológicos y nutricionales que afectan la incidencia de diarreas posdestete en lechones. *Vet. México* 41:275-288.
- Reis de Souza, T.C., L.G. Mariscal, G.K. Escobar, B.A. Aguilera y B.A. Magné. 2012. Cambios nutrimentales en el lechón y desarrollo morfofisiológico de su aparato digestivo. *Rev. Vét. Méx.* 43:155-173.
- Reis de Souza, T.C., M.A.B. Aguilera, A.B. Aguilera, L.G. Mariscal y C.M.J. Guerrero. 2007. Morfología del tracto digestivo de lechones alimentados con dietas con aislado o concentrado de proteínas de soya. *Arch. Latinoamericanos Produc. Anim.* 15:134-140.

- Salaun, F., B. Mietton and F. Gaucheron. 2005. Buffering capacity of dairy products. *Int. Dairy J.* 15:95-109.
- SAS. 2008. SAS/STAT® 9.2 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Shan, Y., A. Shan, J. Li and C. Zhou. 2012. Dietary supplementation of arginine and glutamine enhances the growth and intestinal mucosa development of weaned piglets. *Livest. Sci.* 150:369-373.
- Steel, R.G.D., J.H. Torrie and D.A. Dickey. 1997. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 3rd Ed., McGraw-Hill Book Co., New York, US.
- Vaintraub, I.A. and N.A. Lapteva. 1988. Colorimetric determination of phytate in unpurified extracts of seeds and the products of their processing. *Anal. Biochem.* 15:227-230.
- Van Soest, P.J., J. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3594.
- Vente-Spreuwenberg, M.A., J.M. Verdonk, H.R. Gaskins and M.W.A. Verstegen. 2001. Small intestine epithelial barrier function is compromised in pigs with low feed intake at weaning. *J. Nutr.* 131:1520-1527.
- Woyengo, T.A., A.J. Cowieson, O. Adeola and C.M. Nyachoti. 2009. Ileal digestibility and endogenous flow of minerals and amino acids: Responses to dietary phytic acid in piglets. *Br. J. Nut.* 102:428-433.
- Wu, W., F.W. Bazer, T.A. Davis, L.A. Jaeger, G.A. Johnson, S.W. Kim, D.A. Knabe, C.J. Meininger, T.E. Spencer and Y.L. Yin. 2007. Important roles for the arginine family of amino acids in swine nutrition and production. *Livest. Sci.* 112:8-22.
- Zhan, Z., D. Ou, X. Piao, S.W. Kim, Y. Liu and J. Wang. 2008. Dietary arginine supplementation affects microvascular development in the small intestine of early-weaned pigs. *J. Nutr.* 138:1304-1309.

## VI. CONCLUSIONES GENERALES

Al iniciar la presente tesis se postuló la hipótesis de que la pasta de ajonjolí presentaría características químicas similares a las de la pasta de soya y mejores que las de la pasta de canola para ser incorporada en dietas para lechones destetados y cerdos en crecimiento. Así como una digestibilidad íleal aparente y estandarizada de pasta de ajonjolí similar a la de pasta de soya en lechones y cerdos. Asimismo, las adaptaciones morfofisiológicas del tracto gastrointestinal de lechones alimentados con pasta de ajonjolí serían similares a las de los alimentados con pasta de soya.

En base a los resultados obtenidos con el desarrollo de los trabajos experimentales se concluye que:

1. La composición química entre las pastas de oleaginosas tiene una mayor variación en los niveles de PC, EE, FDN, FDT, arginina, lisina y metionina. Todas las pastas son excelentes fuentes de ácidos grasos insaturados, principalmente oleico y linoléico. El FAN dominante en la PA, PAT y PCA fue el ácido fítico y en la PS la AIT. Las diferencias entre las proteínas presentes en las PA, PCA y PS están en los rangos de pesos moleculares, así como en la distribución de las fracciones de proteína según su solubilidad. Con base en lo anterior, queda claro que el proceso de tostado de la semilla de ajonjolí solo beneficia a la calidad del aceite, mientras que la calidad nutritiva de pasta residual se ve afectada, ya que como se emplean altas temperaturas, causan una disminución en su calidad, sobre todo modifica el perfil de las proteínas e incrementa el contenido de FDN y FDT. La única ventaja en la composición de la pasta tostada es que se reduce la inhibición de la tripsina por desnaturalización de su inhibidor.
2. La digestibilidad ileal aparente y estandarizada de proteína y de aminoácidos de la pasta de ajonjolí es similar a la de la pasta de soya en lechones destetados y ligeramente superior en cerdos en finalización.
3. La pasta de ajonjolí dentro de dietas para lechones durante el destete no provoca efectos negativos en el desarrollo del tracto gastrointestinal, pH de digestas, incidencia y severidad de diarrea, actividad de tripsina ni atrofia en las vellosidades intestinales.



4. Por contener alto porcentaje de proteína, aminoácidos azufrados y arginina altamente digestibles, junto con una baja actividad inhibitoria de tripsina, la pasta de ajonjolí es una importante fuente de proteína alternativa para la alimentación de lechones en la fase posdestete y en cerdos en finalización.

## VII. IMPLICACIONES

A pesar de que la pasta de soya difícilmente podrá ser sustituida por otras fuentes proteicas en las dietas de las diferentes especies productivas, es muy importante contar con información completa de otras fuentes proteicas alternativas a la pasta de soya, ya que la dependencia de las importaciones y el alza de los precios de las materias primas tradicionales es cada vez mayor. Esto es importante, ya que en México la producción de alimentos de origen animal va a la alza tratando de satisfacer la demanda humana. Aunado a esto, México ocupa el 4° lugar a nivel mundial en la producción de alimentos balanceados, lo que requiere y requerirá de un mayor abanico de opciones alimenticias para esta industria.

La pasta de ajonjolí sin tostar tiene potencial como fuente alternativa a la pasta de soya en lechones destetados por su alto contenido de arginina y aminoácidos azufrados, y en aves por su alto contenido de aminoácidos azufrados, recomendándose su empleo con la adición de fitasas para evitar deficiencias principalmente en minerales.

Debido al incremento en producción de canola en México en los últimos años, ésta pasta tendrá un futuro prometedor como fuente proteica alternativa para emplearse en la alimentación de cerdas en el último tercio de la gestación por su alto contenido de fibra, así como para cerdos en crecimiento y rumiantes.

La pasta de ajonjolí tostada por tener una composición heterogénea y haber sido sometida a tratamientos térmicos y contener un alto porcentaje de fibra es necesario realizar estudios de su incorporación en dietas para rumiantes y evaluar su aprovechamiento *in vitro*, *in situ* e *in vivo*, tanto por la microbiota ruminal, como por el rumiante, ya que es una fuente proteica alternativa para ser empleada en la zona del bajo de México.