

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

**Instituto de Ciencias Agrícolas
Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias**



**“DIGESTIBILIDAD DE NUTRIENTES EN DIETAS SORGO-
PASTA DE SOYA ADICIONADAS CON FITASA O
FORMULADAS CON BASE EN PASTA DE CANOLA EN
CERDOS EN CRECIMIENTO”**

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTA

M. EN C. JUAN EDREI SANCHEZ TORRES

DIRECTOR

MIGUEL CERVANTES RAMIREZ

MEXICALI, BAJA CALIFORNIALUGAR

MARZO DEL 2012

La presente tesis titulada “**Digestibilidad de nutrientes en dietas sorgo-pasta de soya adicionadas con fitasa o formuladas con base en pasta de canola para cerdos en crecimiento**” realizada por el **M.C. Juan Edrei Sánchez Torres** y dirigida por el **Ph.D. Miguel Cervantes Ramírez**, fue aprobada por el consejo particular abajo indicado y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONSEJO PARTICULAR

Dr. Miguel Cervantes Ramírez
Director de Tesis

Dra. Adriana Morales Trejo
Sinodal

Dr. Benedicto Alfonso Araiza Piña
Sinodal

Dr. José Fernando Calderón Cortes
Sinodal

Dr. Hugo Bernal Barragán
Sinodal

“POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL HOMBRE”

Dedicatoria

Agradecimientos

CONTENIDO

Introducción

General.....VIII

I. Digestibilidad de proteína, aminoácidos, fósforo, calcio y energía en dietas sorgo-pasta de soya adicionadas con fitasa en cerdos jóvenes.....	3
1.1. Resumen.....	3
1.2. Abstract.....	4
1.3. Introducción.....	5
1.4. Materiales y métodos.....	6
1.5. Resultados.....	100
1.6. Discusión.....	133
1.7. Conclusión.....	177
1.8. Literatura citada.....	188
II. Determinación de digestibilidad de nutrientes en muestras de pasta de canola en cerdos en crecimiento canulados en íleon terminal.....	22
2.1. Resumen.....	22
2.2. Abstract.....	23
2.3. Introducción.....	255
2.4. Materiales y métodos.....	266
2.4.1. Diseño experimental y dietas.....	266
2.4.2. Procedimiento experimental.....	27
2.4.3. Análisis químico.....	29
2.4.4. Cálculos.....	30
2.4.5. Análisis Estadísticos.....	31

2.5.	Resultados.....	311
2.5.1	Composición química de ingredientes y alimento.....	31
2.5.2	Digestibilidad de nutrientes.....	36
2.6.	Discusión.....	41
2.6.1	Digestibilidad de energía.....	45
2.6.2	Digestibilidad de proteína cruda y aminoácidos.....	46
2.7	Conclusión.....	39
2.8.	Literatura citada	49

ÍNDICE DE CUADROS

1.1.	Dietas Experimentales (%) (Exp. 1).....	7
1.2.	Composición analizada de aminoácidos (%) y calculada de energía digestible (ED), calcio y P total disponible en las dietas testigo y base utilizadas en el experimento. (Exp. 1).....	8
1.3.	Efecto de fitasa (F, FTU kg ⁻¹) y P inorgánico (P, %) en dietas sorgo-pasta de soya en la excreción (EXC), absorción (ABS, g ^{d-1}), y digestibilidad ileal aparente (DIA, %) de P, Ca y N. (Exp. 1).....	10
1.4.	Efecto de fitasa (F, FTU kg ⁻¹) y P inorgánico (P, %) en dietas sorgo-pasta de soya en la digestibilidad fecal (DF) de energía bruta (EB) e ileal aparente (DIA) de proteína cruda (PC) y aminoácidos (AA). (Exp. 1).....	12
2.1.	Composición de ingredientes de las dietas experimentales (tal como se ofrece) (Exp. 2).....	27
2.2.	Contenido nutricional analizado de ingredientes experimentales. (Exp. 2).....	32
2.3.	Contenido nutricional analizado de dietas experimentales (Exp. 2).....	34
2.4.	DATT de EB y ED en diferentes variedades de pasta de canola (Exp. 2).....	37
2.5.	Digestibilidad ileal aparente de EB, PC y AA en dietas conteniendo diferentes variedades de pasta de canola (Exp. 2).....	38
2.6.	Digestibilidad ileal estandarizada de PC y AA de diferentes variedades de pasta de canola (Exp. 2).....	39
2.7.	Energía Digestible, Energía Neta y contenido de Proteína Cruda y Aminoácidos digestibles ileal estandarizados en diferentes variedades de pasta de canola (Exp. 2)	40

Introducción General

Históricamente, los costos de alimentación en cerdos representan 65-75 % de los costos de producción en cerdos. Los principales ingredientes utilizados en la alimentación de cerdos son el maíz, sorgo, trigo y la pasta de soya (Maga, 1982); sin embargo, la digestibilidad de nutrientes en estos ingredientes se ve afectada por factores antinutricionales. El ácido fítico es un factor antinutricional presente en los cereales y oleaginosas que reducen la digestibilidad de algunos minerales como Ca, P, Fe, Zn y Mg, y proteínas formando complejos fitatos-minerales-proteínas.

La enzima denominada fitasa libera los grupos fosfatos del ácido fítico permitiendo que el P presente en las plantas sea más digestible, además, la adición de fitasa a la dieta también puede mejorar la digestibilidad de otros nutrientes como proteínas y almidón (Jongbloed et al., 2000), disminuyendo así la excreción de ácido fítico unido a otros compuestos como minerales y aminoácidos (AA; Yi y Kornegay, 1996). Actualmente existe mucha información relacionada con la adición de fitasa para aumentar la digestibilidad de P y Ca en las dietas para cerdos, sin embargo, los resultados encontrados para aumentar la digestibilidad de AA y energía son inconsistentes.

Existen otras fuentes de proteína cruda (PC) y AA que pueden ser adicionadas a las dietas para la alimentación de cerdos. La semilla de canola es una oleaginosa que se emplea principalmente para la extracción de aceite. Actualmente existen diferentes variedades de la semilla de canola, las cuales difieren en su composición nutricional. Durante el proceso de extracción de aceite se genera un co-producto denominado pasta de canola que se caracteriza por tener un alto contenido de PC y AA. Durante muchos años, la extracción de aceite en la semilla de canola se ha realizado con el uso de solventes obteniendo la pasta de canola, sin embargo, este proceso es caro; actualmente las empresas están en busca de reducir costos durante el proceso de

extracción, para lo cual ejercen presión en las semillas obteniendo aceite además de un co-producto denominado pasta de canola EP y se caracteriza por tener un alto contenido de extracto etéreo.

Se condujeron 2 experimentos con el objetivo de evaluar el efecto de una fitasa exógena en dietas sorgo-pasta de soya en la digestibilidad ileal aparente (DIA) de PC, AA, P y Ca y en la absorción y excreción de Ca, P y N, así como en la digestibilidad fecal (DF) de nutrientes energéticos (Experimento 1) y determinar la DIA de AA y DF de energía en muestras de pastas de canola en cerdos en crecimiento canulados (experimento 2).

I. Digestibilidad de proteína, aminoácidos, fósforo, calcio y energía en dietas sorgo-pasta de soya adicionadas con fitasa en cerdos jóvenes.

1.1. Resumen

Los fitatos en cereales y pasta de soya (PS) interactúan con Fósforo (P) y calcio (Ca) impidiendo su utilización. Estas moléculas también pueden interactuar con aminoácidos (AA), proteínas y almidón, afectando su digestibilidad. En el presente estudio se realizó un experimento para determinar si, además de elevar la digestibilidad ileal aparente (DIA) del P y Ca, la fitasa también mejora la DIA de proteína cruda (PC) y AA, así como, la digestibilidad fecal (DF) de la energía bruta (EB). Diez cerdos castrados (18.6 ± 1.3 kg peso inicial), canulados en íleon terminal, se asignaron a cinco dietas (tratamientos) en un Cuadro Latino repetido 5 X 5. Los tratamientos (T) fueron: T1) dieta testigo con sorgo-PS más P inorgánico (+PI); T2) dieta base, sorgo-PS sin P inorgánico (-PI-FTU); T3, T4 y T5, dieta base más 250, 500 y 1000 unidades fitasa (FTU) kg^{-1} de alimento (-PI+FTU). La absorción y DIA de P y Ca aumentaron, y la excreción disminuyó ($p \leq 0.05$) por la adición de fitasa a la dieta base. La excreción de P y Ca fue mayor en la dieta +PI que en la -PI-FTU o las -PI+FTU ($p \leq 0.01$). La DF de la EB aumentó ($p=0.043$) con fitasa, pero en menos de 1 %. La DIA de PC fue superior en las dietas -PI-FTU que en la +PI ($p=0.009$), pero no se afectó por la adición de fitasa ($p=0.192$). Estos resultados sugieren que la adición de fitasa a dietas sorgo-PS mejora la DIA de P y Ca, pero no cambia la de PC y AA en cerdos en crecimiento; niveles superiores a 500 FTU kg^{-1} de fitasa en el alimento aumentan adicionalmente la absorción de P y Ca.

Palabras claves: Cerdos, Fitato, Fitasas, Digestión, Proteína.

1.2. Abstract

Phytates in grains and soybean meal (SBM) interact with phosphorus (P) and calcium (Ca), preventing their use. These molecules can also interact with amino acids (AA), proteins, and starch, affecting digestibility. In this study an experiment was conducted to determine whether in addition to raising the apparent ileal digestibility (AID) of P and Ca, phytase also improves AID of crude protein (CP) and AA, as well as fecal digestibility (FD) of gross energy (GE). Ten barrows (initial BW 18.6 ± 1.3 kg), fitted with cannulas at the distal ileum, were assigned to five diets (treatments) in a 5×5 replicated Latin square design. Treatments (T) were: T1) control diet with sorghum-SBM plus inorganic P (+IP); T2) basal diet, sorghum-SBM without inorganic P (-P-FTU); T3, T4 and T5 were the basal diet plus 250, 500 and 1000 phytase units (FTU) kg^{-1} of feed (-IP+FTU). Absorption and AID of P and Ca increased, and excretion decreased ($p \leq 0.05$) by phytase addition to basal diet. P and Ca excretion were higher in diet +IP than in -IP-FTU or the -IP+FTU ($p \leq 0.01$). FD of GE increased ($p = 0.043$) with phytase, but the increase was less than 1 %. AID of CP was higher in diets -IP-FTU than in +IP ($p = 0.009$), but was not affected by addition of phytase ($p = 0.192$). These results suggest that phytase addition to sorghum-SBM diets improves AID of P and Ca, but did not change that of CP and AA of growing pigs; phytase levels higher than 500 FTU kg^{-1} of feed additionally increased the absorption of P and Ca.

Key words: Pigs, Phytate, Phytase, Digestion, Protein

1.3. Introducción

Los cereales, especialmente maíz y sorgo, y la pasta de soya (PS), contienen fitatos, compuestos presentes naturalmente en ingredientes de origen vegetal (Maga, 1982). El ácido mio-inositol-hexafosfórico es un éster de ácido fosfórico e inositol y es la forma más común de fitatos (Reddy *et al.*, 1982). Además del P, los fitatos interactúan con Ca, Zn, Fe y Mg formando complejos fitato-minerales, los cuales reducen la disponibilidad del P y Ca en cerdos (Cromwell, 1992). Según Reddy *et al.* (1982), los complejos fitato-minerales interactúan con proteínas y almidón formando complejos fitato-mineral-proteína-almidón.

La adición de fitasa microbiana a dietas para cerdos libera el P de los fitatos, aumentando su digestibilidad (Woyengo *et al.*, 2008; Akinmusire y Adeola, 2009). La estrecha relación de fitatos con proteínas, por tanto, sugiere que la adición de fitasa aumentaría la digestibilidad ileal aparente (DIA) de las proteínas en cerdos. Sin embargo, el efecto de esta enzima sobre la DIA de PC y AA ha sido inconsistente. La adición de fitasa a dietas con trigo (Nortey *et al.*, 2007) o maíz (Radcliffe *et al.*, 2006), aumentó la DIA de AA, pero otros autores (Liao *et al.*, 2005; Woyengo *et al.*, 2008; Pomar *et al.*, 2008), no encontraron efecto. Esta inconsistencia puede atribuirse en parte al tipo de ingrediente usado en las dietas experimentales.

En esos estudios las dietas experimentales se formularon principalmente con base en trigo, maíz o cebada, pero en ninguna se usó sorgo. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de una fitasa exógena en dietas donde el sorgo es el principal cereal, y su función sobre la DIA de la PC, AA, P y Ca, y en la absorción y excreción de Ca, P y N, así como en la digestibilidad fecal (DF) de nutrientes energéticos.

1.4. Materiales y métodos

El experimento se realizó considerando los procedimientos aprobados por la legislación Mexicana para el uso y cuidado de Animales en experimentación, establecidos en la Norma Oficial Mexicana (NOM-062-Z00-1999, 2001).

Se utilizaron diez cerdos castrados (Yorkshire-Hampshire-Landrace; 18.6 ± 1.3 kg peso inicial), adaptados quirúrgicamente con una cánula simple T en íleon terminal; aproximadamente 15 cm antes de la válvula ileocecal. Los cerdos se recuperaron de la cirugía en 7 d, lo cual se evidenció por la falta de inflamación alrededor de la incisión y un consumo estandarizado de alimento. El alojamiento fue en jaulas metabólicas individuales (1.2×0.6 m). Antes del experimento, los cerdos consumían una dieta trigo-PS, con 16.5 % PC. La fitasa usada fue de *Aspergillus niger*, con 5000 FTU g^{-1} ; una FTU es la cantidad de enzima que libera 1 μ Mol P inorgánico min^{-1} de una solución 5.1 mMol L^{-1} Fitato-Na, a pH 5.5 y 37 °C (Engelen *et al.*, 1994).

Los tratamientos (T) fueron dietas sorgo-PS adicionadas con vitaminas, minerales, lisina, Treonina y Metionina cristalinas (Cuadro 1). El T1 fue una dieta testigo más P inorgánico (+PI) que cubrió todas las necesidades de nutrientes de cerdos en crecimiento (NRC, 1998). El T2 fue una dieta similar a la del T1, pero se excluyó el P inorgánico, por tanto era deficiente en P disponible y fue la dieta base (-PI-FTU). Los T3, T4 y T5 fueron la dieta base más 250, 500 y 1000 FTU kg^{-1} (-PI+FTU). Las dietas se formularon a 19 % PC y contenían 0.4 % de óxido crómico para determinar la DIA de AA. La composición de AA en las dietas se muestra en el Cuadro 2.

El diseño experimental fue un Cuadro Latino 5×5 repetido (Steel *et al.*, 1997). Cada periodo fue de 9 d: 7 para adaptación a la dieta y 2 para recolección de contenido ileal y heces. El alimento se ofreció a las 07:00 y 19:00 h, mezclado con agua en una relación 1:1. El consumo

de alimento se limitó a 3.0 veces el requerimiento de ED para mantenimiento (NRC, 1998), con base en el peso vivo promedio al inicio de cada periodo. Los cerdos consumieron su ración en 15 min o menos.

Cuadro 1. Dietas experimentales (%)

Ingrediente	Testigo	Base	Base + fitasa (FTU kg ⁻¹)		
			250	500	1000
Sorgo	72.33	74.00	74.00	74.00	74.00
Pasta de soya	22.60	22.16	22.16	22.16	22.16
Aceite de Soya	2.21	1.75	1.75	1.75	1.75
Ortofosfato	1.07	0.00	0.00	0.00	0.00
Piedra caliza	0.30	0.58	0.58	0.58	0.58
Sal iodada	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
L-Lisina-HCL	0.33	0.34	0.34	0.34	0.34
DL-Metionina	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
L-Treonina	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
Vitaminas y minerales*	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Fitasa	0.00	0.00	0.05	0.10	0.20
Oxido crómico	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40

* Cada kg de dieta proporcionó: Vit. A, 4800 UI; D3, 800 UI; E, 4.8 UI; K3, 1.6 mg; B2, 4 mg; ácido pantoténico, 9.2 mg; niacina, 16 mg; B12, 14.8 µg; Zn, 80 mg; Fe, 80 mg; Cu, 4 mg; Mn, 4 mg; I, 0.14 mg; Se, 0.30 mg

El contenido íleal se recolectó durante 12 h continuas en cada día de recolección, en bolsas de plástico atadas a la cánula. La recolección se inició a las 07:00 h en los días 8 y 9. Las bolsas se retiraron de la cánula cuando se llenaron de contenido intestinal, pero no permanecieron atadas a la cánula más de 15 min. Las muestras de heces se recolectaron 3 veces en el d 8 de cada periodo. Las muestras se almacenaron a -20 °C inmediatamente después de su recolección.

Las muestras íleales y fecales se descongelaron, homogenizaron, sub-muestrearon y liofilizaron, previo al análisis en laboratorio. Éstas y las muestras de alimento se molieron a través de una malla de 1 mm y se analizaron para materia seca, P, Ca y N (AOAC, 2006). El alimento y las heces se analizaron para energía bruta en una bomba calorimétrica adiabática (IKA-Werke GMBH & Co. KG, Staufen, Germany). La composición de AA en alimento y contenido íleal se analizó en los Laboratorios de Química de la Estación Experimental de la Universidad de Missouri (método 982.30; AOAC, 2006). El óxido crómico se analizó utilizando la técnica de Hill y Anderson (1958).

Cuadro 2. Composición analizada de aminoácidos (%) y calculada de energía digestible (ED), calcio, y Fósforo total y disponible en las dietas testigo y base utilizadas en el experimento.

Nutriente	Dietas	
	Testigo (+PI)	Base (-PI-FTU)
Aminoácidos esenciales, (%)		
Arg	1.11	1.09

Fen	0.92	0.88
His	0.45	0.43
Ile	0.79	0.75
Leu	1.73	1.64
Lis	1.20	1.16
Met	0.30	0.30
Tre	1.76	1.70
Val	0.90	0.85
Protein cruda, %	19.0	19.0
ED, Kcal kg ⁻¹	3.41	3.41
Calcio, %	0.60	0.45
Fósforo total, %	0.57	0.38
Fósforo disponible, %	0.30	0.15

Los datos se analizaron de acuerdo con el diseño indicado, usando el procedimiento GLM de SAS (1996). Las medias de tratamientos se compararon usando cuatro contrastes que evaluaron los efectos siguientes: C1, adición de P inorgánico, +PI vs. -PI-FTU; C2, P inorgánico contra fitasa, +PI vs. -PI+FTU (T3, T4 y T5); C3, adición de fitasa, -PI-FTU vs. -PI+FTU (T3, T4 y T5); y C4, efecto lineal de fitasa (T2, T3, T4 y T5). Los niveles de significancia y tendencia fueron $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.10$, para cada contraste.

1.5. Resultados

En el Cuadro 3 se presentan los datos de absorción (ABS) y excreción (EXC) de P, Ca y N; así como la DIA de P y Ca. Con respecto al P, la ABS ($p=0.001$) y DIA ($p=0.024$) fueron mayores en la dieta +PI que en la -PI-FTU. La ABS promedio en las dietas -PI+FTU (T3 al T5) fue menor ($p=0.001$), pero la DIA no fue diferente a la +PI ($p=0.220$). La fitasa aumentó linealmente la ABS ($p=0.003$) y la DIA ($p=0.002$) en respuesta al aumento en sus niveles. En contraste, la EXC en -PI-FTU ($p=0.010$) o el promedio en las -PI+FTU ($p=0.001$) fue menor que en la +PI; la fitasa redujo en forma lineal la EXC ($p=0.004$).

Cuadro 3. Efecto de fitasa (F, FTU kg⁻¹) y P inorgánico (P, %) en dietas sorgo-pasta de soya en la excreción (EXC), absorción (ABS, g d⁻¹), y digestibilidad íleal aparente (DIA, %) de P, Ca y P.

Dieta [†]	+PI	-PI-FTU	-PI+FTU			Contrastes, p= [¶]			
						C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
PI	0.22	0	0	0	0				
FTU	0	0	250	500	1000				
P									
ABS	2.59 [§]	1.29	1.77	1.83	1.88	0.001	0.001	0.001	0.003
EXC	2.36	1.88	1.40	1.35	1.29	0.010	0.001	0.024	0.004
DIA	52.3	40.8	55.8	57.6	59.3	0.024	0.220	0.001	0.002
Ca									
ABS	2.68	1.82	2.17	2.00	2.16	0.001	0.001	0.043	0.158
EXC	2.27	1.77	1.41	1.59	1.42	0.008	0.00	0.041	0.110
DIA	54.1	50.7	60.6	55.7	60.3	0.466	0.178	0.034	0.200

N

ABS	17.2	18.2	18.1	17.9	17.6	0.090	0.158	0.467	0.271
EXC	9.16	7.96	8.07	8.21	8.56	0.043	0.066	0.474	0.269

[†] Dietas: +PI, testigo con P inorgánico; -PI-FTU, base sin P inorgánico ni fitasa; +PI+FTU, base con fitasa. [¶] Contrastes: C₁, +PI vs. -PI-FTU; C₂, +PI vs. -PI+FTU; C₃, -PI-FTU vs. -PI+FTU; C₄, efecto lineal de fitasa. [§] EE: ABS P, 0.11; EXC P, 0.11; DIA P, 3.28; ABS Ca, 0.11; EXC Ca, 0.11; DIA Ca, 3.00; ABS N, 0.38; EXC N, 0.37. ABS: absorción, EXC: excreción, DIA: digestibilidad ileal aparente

En el caso del Ca, la ABS en la dieta +PI fue mayor que en -PI-FTU y en el promedio de las dietas -PI+FTU (p=0.001); en estas últimas la ABS fue mayor que en la -PI-FTU (p=0.043). La EXC fue mayor en +PI que en -PI-FTU (p=0.008) y en las -PI+FTU (p=0.001); en estas últimas este valor fue menor (p=0.041) que en la -PI-FTU. La DIA en la dieta +PI no fue diferente a la de -PI-FTU (p=0.466) o al promedio de las -PI+FTU (p=0.178); pero en éstas fue mayor que en la -PI-FTU (p=0.034). No se observó tendencia lineal para ABS (p=0.158), EXC (p=0.109) o DIA (p=0.200) de Ca en respuesta al aumento en fitasa.

La ABS de N tendió a ser mayor (p=0.090) y la EXC fue menor (p=0.043) en las dietas sin P inorgánico que en la +PI. Asimismo, la EXC tendió a ser menor (p=0.066) en las dietas con fitasa, comparadas con la +PI. No hubo efecto de fitasa en la ABS y EXC de N, en comparación con la dieta base.

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de la DIA de PC y AA, y la DF de EB. La DF de EB en la dieta +PI fue mayor que en la -PI-FTU (p=0.001) o el promedio de las -PI+FTU (p=0.022). Este valor fue mayor que en la dieta -PI-FTU (p=0.043), pero no se observó

tendencia lineal ($p=0.285$). La DIA de PC fue superior en la dieta -PI-FTU ($p=0.009$) y en las -PI+FTU ($p=0.034$) que en la +PI, pero no hubo efecto de fitasa en la dieta base ($p=0.192$). La DIA de los AA no fue diferente ($p>0.10$) entre las dietas +PI y -PI-FTU; tampoco hubo diferencia entre las dietas -PI+FTU y +PI ($p>0.10$). En promedio, la fitasa tampoco afectó la DIA de AA no esenciales.

Cuadro 4: Efecto de fitasa (F, FTU kg⁻¹) y P inorgánico (P, %) en dietas sorgo-pasta de soya en la digestibilidad fecal (DF) de energía bruta (EB) e ileal aparente (DIA) de proteína cruda (PC) y aminoácidos, %.

Dieta [†]	+PI	-PI-FTU	-PI+FTU			Contrastes, p= [¶]			
			0	0	0	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
PI	0.22	0	0	0	0				
F	0	0	250	500	1000				
EB	87.9 [§]	86.3	86.8	87.6	87.1	0.001	0.022	0.043	0.285
PC	65.1	70.6	70.6	68.9	68.2	0.009	0.034	0.192	0.198
Arg	86.1	86.1	88.4	87.3	86.8	0.904	0.131	0.168	0.821
Fen	77.8	79.0	80.5	79.0	78.7	0.422	0.195	0.729	0.613
His	78.8	79.9	80.6	79.1	77.9	0.470	0.745	0.571	0.152
Ile	75.5	77.0	78.3	76.9	76.3	0.374	0.236	0.910	0.498
Leu	77.4	78.8	79.7	78.1	77.5	0.379	0.429	0.768	0.279
Lis	83.9	85.0	86.4	85.6	85.4	0.548	0.199	0.559	0.945
Met	77.0	79.4	79.7	79.3	78.1	0.171	0.153	0.801	0.431
Tre	70.6	72.7	74.5	73.0	70.9	0.338	0.215	0.933	0.313
Val	70.0	70.8	73.0	71.6	70.0	0.694	0.369	0.667	0.553

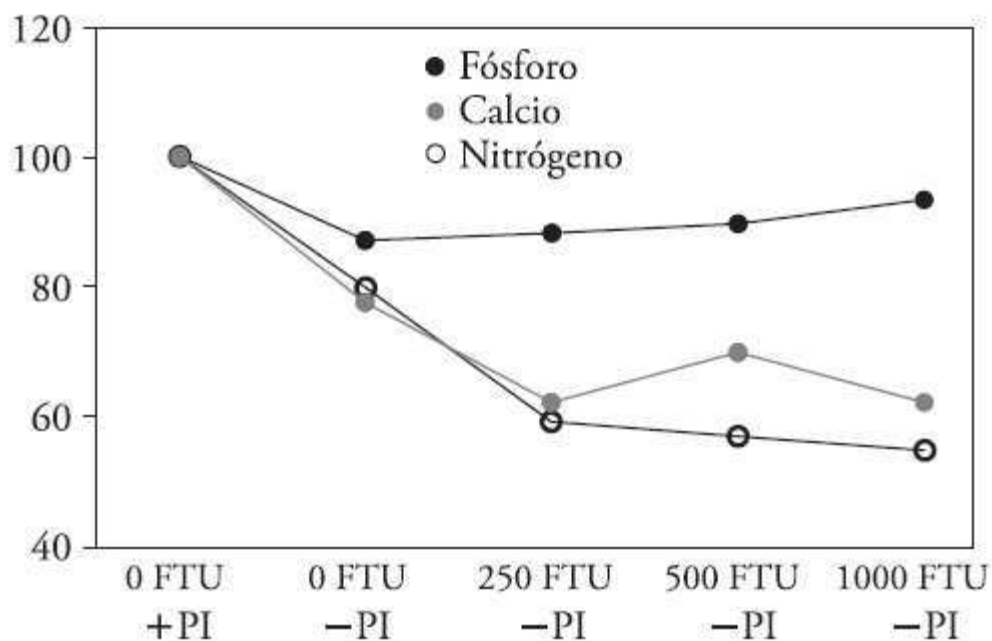
† Dietas: +PI, testigo con P inorgánico; -PI-FTU, base sin P inorgánico ni fitasa; +PI+FTU, base con fitasa. ¶ Contrastes: C₁, +PI vs. -PI-FTU; C₂, +PI vs. -PI+FTU; C₃, -PI-FTU vs. -PI+FTU; C₄, efecto lineal de fitasa. § EE: EB, 0.16; PC, 1.26; Arg, 0.77; Fen, 1.02; His, 1.09; Ile, 1.14; Leu, 1.09; Lis, 1.18; Met, 1.16; Tre, 1.43; Val, 1.38

1.6. Discusión

Fitasa se incluye en dietas sorgo- o maíz-PS para cerdos con dos propósitos: liberar el P de los fitatos y reducir o eliminar el uso de fuentes inorgánicas de P. Con esto se busca también disminuir la EXC de P en las excretas y el riesgo de contaminar suelos y agua con P. Lo anterior se debe a que la mayor parte del P en los cereales y en la PS está ligada al ácido mioinositol-hexafosfórico o fitato, donde no está disponible debido a que los cerdos no producen fitasa (Lei y Stahl, 2001). De acuerdo con Cromwell (1992), sólo 10 a 15 % del P en maíz y sorgo, y de 25 a 30 % en la PS está disponible para cerdos.

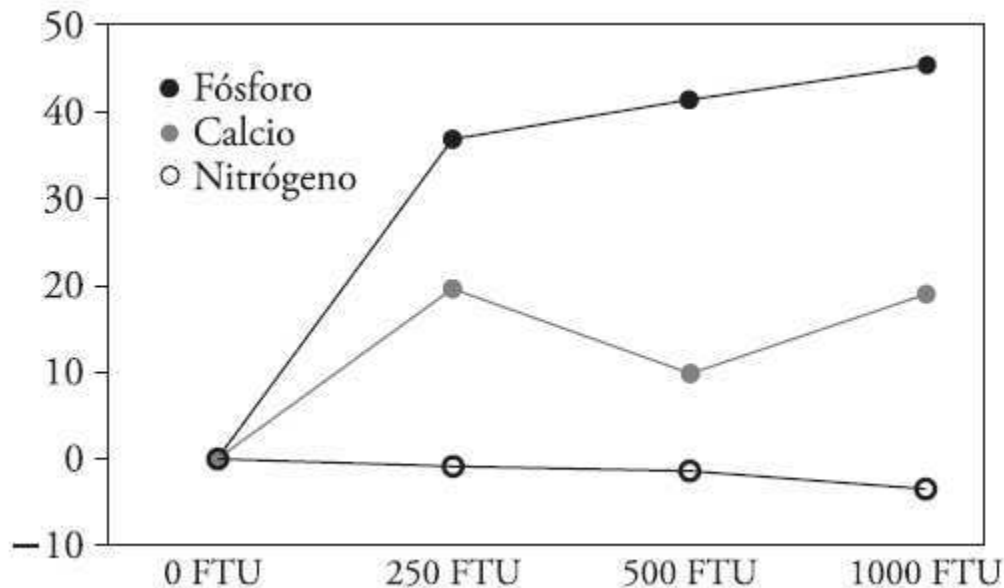
La eliminación de P inorgánico de dietas formuladas con sorgo-PS para cerdos, reduce la EXC de P y Ca en las heces. En la Figura 1 se presentan los porcentajes en que se redujo la EXC debido a la eliminación de P inorgánico y la adición de fitasa a la dieta; a la dieta testigo se le dio un valor arbitrario de 100. La EXC de P y Ca se reduce en 20 y 22 % por la eliminación de fosfato dicálcico de la dieta. Esta eliminación combinada con la adición de fitasa redujo en 43 y 35 %, en promedio, la EXC de P y Ca. El análisis de estos datos muestra que la fitasa en la dieta -PI puede ayudar a cubrir el requerimiento de P disponible para cerdos en crecimiento. Estos resultados coinciden con los obtenidos cuando se usan dietas elaboradas con trigo, maíz o cebada (Liao *et al.*, 2005; 2007).

Figura 1: Reducción en la excreción de P, Ca y N en cerdos, en respuesta a la eliminación de P inorgánico y la adición de fitasa (FTU) a dietas sorgo-pasta de soya. +PI, dieta con Fósforo inorgánico; -PI, dieta sin Fósforo inorgánico; 0 FTU, 250 FTU, 500 FTU, 1000 FTU, dietas -PI, adicionadas con fitasa.



En la Figura 2 se presentan los porcentajes en que se incrementó la ABS de P (37 a 45 %) y Ca (10 a 20 %) debido a la adición de fitasa a la dieta base. La dieta base contenía 0.16 % de P disponible y la adición de 500 FTU lo elevó a 0.23 %, el cual es semejante al requerimiento de cerdos con pesos de 20 a 50 kg (NRC, 1998). El análisis de estos datos indica que la fitasa puede sustituir al P inorgánico en dietas sorgo- o maíz-PS, sin afectar el suministro de P disponible requerido, coincidiendo con lo publicado por Liao *et al.* (2005, 2007). El comportamiento lineal en la ABS y EXC de P en respuesta a la adición de fitasa (Cuadro 3), indica que niveles superiores a las 500 FTU kg^{-1} recomendadas, adicionalmente incrementan la ABS y reducen la EXC de P. Sin embargo, es importante enfatizar que con 500 FTU kg^{-1} de alimento aumenta la disponibilidad de P a niveles semejantes a los requeridos por cerdos con peso mayor a 20 kg.

Figura 2: Cambios (%) en la absorción de P, Ca y N en cerdos en respuesta a la adición de fitasa (FTU) a dietas sorgo-pasta de soya sin P inorgánico, con respecto a la dieta sin fitasa.



La falta de efecto de fitasa en la EXC y la ABS de N (Figura 1 y 2) coincide con lo observado en la DIA de PC y AA y con lo publicado por otros autores. Traylor *et al.* (2001) y Woyengo *et al.* (2008) no encontraron efecto de fitasa en pasta de soya; Pomar *et al.* (2008) en dietas elaboradas con trigo, maíz y pasta de soya; Yáñez *et al.* (2011) en residuos secos de destilería. Liao *et al.* (2005) tampoco observaron efecto de fitasa en la DIA de AA en dietas trigo-PS-pasta de canola, y sugieren que el efecto de la fitasa en la DIA de AA depende de la composición de la dieta. La interacción de fitatos con proteínas y AA de la dieta y con enzimas pancreáticas e intestinales podría explicar la falta de respuesta en esta variable (Reddy *et al.*, 1982). En este sentido, estudios *in vitro* sugieren que los fitatos pueden formar complejos con proteína y AA libres en el tubo digestivo de cerdos. Honig y Wolf (1991) encontraron complejos fitato-proteína en concentrados proteínicos de soya a pH 8. Esta interacción puede provocar cambios en la estructura de la proteína, afectar la actividad enzimática y la digestibilidad de la

proteína (Greiner y Konietzny, 2006). Reddy *et al.* (1982) señalan que los fitatos podrían inhibir la actividad enzimática mediante la interacción directa o a través de cationes necesarios para su activación. Con base en estos hallazgos, se esperaría que la fitasa liberara a las proteínas y AA de los fitatos e incrementara su DIA. Sin embargo, los resultados de éste y otros estudios *in vivo* (Liao *et al.*, 2005, 2007; Woyengo *et al.*, 2008; Yáñez *et al.*, 2011), no coinciden con los realizados *in vitro*.

La explicación de esta discrepancia es compleja y debe incluir el análisis de aspectos bioquímicos y físico-químicos asociados a la digestión de las proteínas. Una explicación parcial es que los complejos proteína-AA-fitatos se estabilizan por interacciones electrostáticas débiles (Lázity y Lázity, 1995), las cuales pueden romperse con los cambios normales de pH en el intestino delgado de cerdos, sin necesidad de adicionar ninguna enzima específica a la dieta. Okubo *et al.* (1976) encontraron que la capacidad máxima de unión de fitatos con glicinina de PS era a pH 2.5, pero no hubo ninguna unión al punto isoeléctrico de la proteína (pH 4.9). Desphande y Damodaran (1989) observaron interacciones de fitatos con tripsina y quimotripsina a pH 3.0, pero ninguna a pH 7.8. A este pH, proteínas y fitatos poseen cargas negativas que impiden su interacción. Aunque esos autores reportan una reducción en la actividad de tripsina a pH ácido, éste no ocurre en el intestino delgado de cerdos (pH 6.2 a 7.4; Jongbloed *et al.*, 1992). Rawlings y Barret (1994) indican que en el sitio activo de estas enzimas radican residuos de serina, histidina y aspartato; ninguno de estos interactúa con fitatos a pH neutro o alcalino en la ausencia de Ca^{2+} . Además, la cantidad de fitatos que permanecen libres y podrían inhibir las enzimas digestivas es muy baja y de escaso impacto debido a la fuerte afinidad de los fitatos por los cationes al pH intestinal (Desphande y Damodaran, 1989). Por tanto, el efecto de adicionar fitasa a dietas sorgo-pasta de soya en la DIA de PC y AA parece ser insignificante.

La adición de fitasa incrementó menos de 1 % la DF de la EB. Este aumento coincide con lo publicado por Liao *et al.* (2005) en dietas trigo-PS-pasta de canola (0.63 %); sin embargo, no se observó ningún efecto en estudios realizados por Liao *et al.* (2005) en dietas maíz-PS, trigo-PS o cebada-pasta de canola; Woyengo *et al.* (2008) en dietas base trigo; Yáñez *et al.* (2011) en residuos secos de destilería. La reducida magnitud del efecto de fitasa en la DF de EB se puede explicar de manera similar a lo explicado con respecto a la DIA de AA.

1.7. Conclusión

La adición de fitasa a dietas sorgo-pasta de soya aumenta la absorción y la digestibilidad, y reduce la excreción de P y Ca, pero no afecta la digestibilidad ileal aparente de proteína y aminoácidos en cerdos en crecimiento. Niveles superiores a 500 FTU kg⁻¹ aumentan la absorción de P y Ca. Aunque la fitasa incrementó la digestibilidad de nutrientes energéticos, la magnitud del incremento tiene un impacto mínimo en la alimentación de los cerdos.

1.8. Literatura citada

- Akinmusire, A. S., and O. Adeola. 2009. True digestibility of phosphorus in canola and soybean meals for growing pigs: Influence of microbial phytase. *J. Anim. Sci.* 87: 977-983.
- AOAC. 2006. Official Methods of Analysis of AOAC. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, MD, USA. 2000 p.
- Cromwell, G. L. 1992. The biological availability of phosphorous in feedstuffs for pigs. *Pig News and Information* 13: 75N-78N.
- Desphande, S. S., and S. Damodaran. 1989. Effect of phytate on solubility, activity and conformation of trypsin and chymotrypsin. *J. Food Sci.* 54: 695-699.
- Engelen, A. J., F. C. van der Heeft, P. H. G. Ransdorp, and E. L. C. Smit. 1994. Simple and rapid determination of phytase activity. *J. AOAC Int.* 77: 760-764.
- Greiner, R., and U. Konietzny. 2006. Phytase for food application. *Food Technol. Biotech.* 44: 125-140.
- Hill, F. N., and D. L. Anderson. 1958. Comparison of metabolizable energy and productive energy determination with growing pigs. *J. Nutr.* 64: 587-603.
- Honig, D. H., and W. J. Wolf. 1991. Phytate-mineral-protein composition of soybeans: gel filtration studies of soybean meal extracts. *J. Agric. Food Chem.* 39: 1037-1042.
- Jongbloed, A. W., Z. Mroz, and P. A. Kemme. 1992. The effect of supplementary *Aspergillus niger* phytase in diets for pigs on concentration and apparent digestibility of dry matter, total phosphorus, and phytic acid in different sections of the alimentary tract. *J. Anim. Sci.* 70: 1159-1168.

- Láztity, R., and L. Láztity. 1995. Phytic acid in cereal technology. *In*: Pomeranz, Y. (ed). *Advances in Cereal Science and Technology*. American Association of Cereal Chemists. pp: 309-372.
- Lei, X. G., and C. H. Stahl. 2001. Biotechnological development of effective phytases for mineral nutrition and environmental protection. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 57: 474–481.
- Liao, S. F., A. K. Kies, W. C. Sauer, Y. C. Zhang, M. Cervantes, and J. M. He. 2005. Effect of phytase supplementation to a low- and a high- phytate diet for growing pigs on the digestibilities of crude protein, amino acids and energy. *J. Anim. Sci.* 83: 2130-2136.
- Liao, S. F., W. C. Sauer, J. K. Htoo, M. Cervantes, A. K. Kies, B. A. Araiza, and A. Morales. 2007. Effect of phytase supplementation to a high- and a low-phytate diet for growing pigs on the utilization of phosphorus and calcium. *Interciencia* 32: 195-201.
- Maga, J. A. 1982. Phytate: Its chemistry, occurrence, food interactions, nutritional significance, and methods of analysis. *J. Agric. Food Chem.* 30: 1-9.
- Nortey, N., J. F. Patience, P. H. Simmins, N. L. Trottier, and R. T. Zijlstra. 2007. Effects of individual or combined xylanase and phytase supplementation on energy, amino acid, and phosphorus digestibility and growth performance of grower pigs fed wheat-based diets containing wheat millrun. *J. Anim. Sci.* 85: 1432-1443.
- NRC. 1998. *Nutrient Requirements of Swine*. 10th ed. National Academy Press. Washington, DC, USA. 183 p.
- Okubo, K., D. V. Meyers, and G. A. Iacobucci. 1976. Binding of phytic acid to glycinin. *Cereal Chem.* 53: 513-524.

- Pomar, C., F. Gagné, J. J. Matte, G. Barnett, and C. Jondreville. 2008. The effect of microbial phytase on true and apparent ileal amino acid digestibilities in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 86:1598-1608.
- Radcliffe, J.S., R. S. Pleasant, and E. T. Kornegay. 2006. Estimating equivalency values of microbial phytase for amino acids in growing and finishing pigs fitted with steered ileocecal valve cannulas. *J. Anim. Sci.* 84: 1119-1129.
- Rawlings, N. D., and A. J. Barrett. 1994. Families of serine peptidases. *Meth. Enzymol.* 244: 19-61.
- Reddy, N. R., S. K. Sathé, and D. K. Salunkhe. 1982. Phytates in legumes and cereals. *Adv. Food Res.* 28: 1-92.
- SAS (Statistical Analysis System). 1996. *SAS/STAT User's Guide (Release 6.12.)*. SAS Institute Inc., Cary, N. C. 1028 p.
- Steel, D. R. G., J. H. Torrie, and D. A. Dickey. 1997. *Principles and Procedures of Statistics: a Biomedical Approach (3rd ed.)*. McGraw-Hill Book Co., New York. 622 p.
- Traylor, S. L., G. L. Cromwell, M. D. Lindeman, and D. A. Knabe. 2001. Effects of level of supplemental phytase on ileal digestibility of amino acids, calcium, and phosphorus in dehulled soybean meal for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 2634-2642.
- Woyengo, T. A., J. S. Sands, W. Guenter, and C. M. Nyachoti. 2008. Nutrient digestibility and performance responses of growing pigs fed phytase- and xylanase-supplemented wheat-based diets. *J Anim Sci* 86: 848-857.
- Yáñez, J. L., E. Beltranena, M. Cervantes, and R. T. Zijlstra. 2011. Effect of phytase and xylanase supplementation or particle size on nutrient digestibility of diets containing

distillers dried grains with solubles (DDGS) co-fermented from wheat and corn in ileal-cannulated grower pigs. *J. Anim. Sci.* 89: 113-123.

II. Determinación de digestibilidad de nutrientes en muestras de pasta de canola en cerdos en crecimiento canulados en ileon terminal.

2.1. Resumen

Se realizó un experimento para determinar la digestibilidad ileal aparente (DIA) y digestibilidad ileal estandarizada (DIE) de proteína cruda (PC) aminoácidos (AA) y energía de pasta de canola y pasta de canola extraída por presión (EP) en cerdos en crecimiento. Cinco cerdos canulados en ileon distal (peso inicial promedio 65.7 ± 1.7 kg) fueron asignados a cinco dietas en un diseño Cuadro Latino 5×5 . Los 5 tratamientos fueron los siguientes: 1) Pasta de canola *B napus* + almidón de maíz, 2) Pasta de canola *B júncea* + almidón de maíz 3) Pasta de canola EP Can source (C) + almidón de maíz, 4) Pasta de canola EP de Associate protein (A) + almidón de maíz, y 5) almidón de maíz usada para estimar la pérdida de AA endógenos y determinar la DIE de energía, PC y AA. Se añadió óxido crómico a todas las dietas como un marcador indigestible para determinar la digestibilidad de nutrientes por el método de indicador. El contenido de energía bruta (EB) fue mayor en la pasta de canola EP-C que en las pastas de canola EP-A, *B napus* y *B júncea*. El contenido de PC en la pasta de canola EP-A fue mayor, seguido por las pastas de canola *B napus* y *B júncea* y menor en la pasta de canola EP-C. La concentración de Lisina fue mayor en la pasta de canola *B napus* seguido por la pasta de canola *B júncea* y menor en las pastas de canola EP-C y EP-A. La DIA de EB de la pasta de canola *B júncea* fue similar a la pasta de canola EP-A, pero mayor ($P < 0.001$) que las pastas de canola *B napus* y EP-C. La digestibilidad aparente del tracto total (DAT) de EB en la pasta de canola *B júncea* fue mayor ($P < 0.001$) que las pastas de canola EP-A, *B napus* y EP-C; el contenido mayor de energía digestible (ED) y energía neta (EN) fue en la pasta de canola EP-C (3.87 y 2.91Mcal/kg), seguido por las

pastas de canola EP-A (3.77 y 2.62 Mcal/kg) y *B júncea* (3.69 y 2.55 Mcal/kg) y menor en la pasta de canola *B napus* (3.20 y 2.20 Mcal/kg). La DIA y DIE en PC fue mayor ($P < 0.001$) en la pasta de canola EP-A seguido por las pastas de canola *B júncea* y *B napus* y menor en la pasta de canola EP-C. El contenido de DIE en PC y lisina en la pasta de canola *B júncea* fue similar a las pastas de canola *B napus* y EP-A, y mayor ($P < 0.001$) que la pasta de canola EP-C. Estos resultados muestran que la pasta de canola EP-C y la pasta de canola EP-A usadas en el presente estudio tuvieron una elevada digestibilidad de contenido de energía comparado a las pastas de canola *B napus* y *B júncea*. Sin embargo, la digestibilidad de PC y AA fue menor en la pasta de canola EP-C. El proceso de extracción de aceite y secado de la pasta de canola puede causar algún daño en los nutrientes y afectar su calidad.

Palabras claves: Pasta de canola, Cerdos, Digestibilidad, Energía, Aminoácidos

2.2. Abstract

An experiment was conducted to determine the apparent ileal digestibility (AID) and standardized ileal digestibility (SID), of crude protein (CP), amino acids (AA), and energy of canola meal and expeller pressed (EP) canola meal samples in grower pigs. Five ileally cannulated barrows (average initial BW = 65.7±1.7 kg) were used in a 5 x 5 Latin square design. There were five dietary treatments: 1) *B napus* canola meal + cornstarch, 2) *B juncea* canola meal + cornstarch, 3) EP canola meal from Can source + cornstarch, and 4) EP canola meal from Associate protein + cornstarch, and 5) corn starch used to estimate the basal endogenous AA losses to determine the SID of energy, CP and AA. All diets contained chromic oxide as an indigestible marker for determining nutrient digestibility by the indicator method. The energy content was higher ($P < 0.01$)

in the EP canola meal C as compared to the EP canola meal A, the *B napus* canola meal, and *B juncea* canola meal. The content of CP in EP canola meal A was higher, intermediate for *B napus* canola meal and *B juncea* canola meal, and lower for EP canola meal C. The first limiting AA, Lys was higher in *B napus* canola meal, intermediate for *B juncea* canola meal, and lower for EP canola meal C and EP canola meal A. The AID of *B juncea* canola meal was similar to EP canola meal A, but higher ($P < 0.001$) than *B napus* canola meal and EP canola meal C. The ATTD of GE in *B juncea* canola meal was greater ($P < 0.001$) than EP canola meal A, *B napus* canola meal, and EP canola meal C, The DE and NE content in EP canola meal C was 3.87 and 2.91 Mcal/kg, intermediate for EP canola meal A (3.77 and 2.62 Mcal/kg), and *B juncea* canola meal (3.69 and 2.55 Mcal/kg,) and lower in *B napus* canola meal (3.20 and 2.20 Mcal/kg). The AID and SID in was higher ($P < 0.001$) in EP canola meal A, intermediate for *B juncea* canola meal, *B napus* canola meal and lower for EP canola meal C. The SID content in CP and Lys in *B juncea* canola meal was similar to *B napus* canola meal and EP canola meal A, and higher ($P < 0.001$) than EP canola meal C. These results show that the EP canola meal C and A used in the current study had greater digestible energy content compared to *B napus* and *B juncea* canola meal. However, the digestibility of CP and AA was lower in EP canola meal C. The process of oil extraction and drying of canola meal may have caused some damage in the nutrients and affect its quality.

Keywords: Canola meal, pigs, digestibility, Energy, Amino acids.

2.3. Introducción

A partir del incremento en el uso de cereales y oleaginosas por la industria de alimento y biocombustible, el precio de estos ingredientes alimenticios ha aumentado reduciendo su inclusión en las dietas de cerdos. Sin embargo, las industrias de alimento y bio-combustibles también generan co-productos que deben ser caracterizados y probados en la inclusión de programas de alimentación de cerdos (Seneviratne et al., 2010). La industria de canola en el oeste de Canadá está buscando eficientizar los procesos de producción de aceite (Douglas, 2008) y bio-combustibles (Ilgen et al., 2009) durante cada proceso diversos co-productos son generados.

La pasta de canola es el residuo que queda después de la extracción de aceite, en este caso particular con el uso de solventes siendo un proceso de extracción caro. Para reducir los costos de producción de la pasta de canola, se está explorando el uso de extracción de aceite por presión en semillas de canola, este procedimiento no usa solventes en la extracción de aceite, y requiere menos inversión de capital. Esas plantas son relativamente baratas y producen pasta de canola extraída por presión (EP) con un contenido de aceite residual de entre 7 a 14% (Seneviratne et al., 2010); la pasta de canola extraída con solventes contiene menos aceite que la pasta de canola extraída por presión, y se ve reflejado en el contenido de energía bruta (Montoya et al., 2010; Leming et al., 2005). Además, el contenido de PC y AA en esos sub-productos son diferentes y dependen del proceso empleado en la extracción de aceite (Mohammed et al., 2011). El sobrecalentamiento durante el proceso de secado después de la extracción de aceite afecta la calidad de PC y AA. La semilla de canola tiene una gran variedad en su composición nutricional; esto resulta en diferente composición nutricional de las pastas de canola. Por ejemplo, *brassica*

júncea ha sido desarrollado y contiene menos contenido de fibra que *Brassica napus* (Montoya et al., 2009).

En el presente estudio, nuestra hipótesis es que la digestibilidad de energía, PC y AA de la pasta de canola de diferentes variedades y las pastas de canola EP de diferentes fuentes son similares. El objetivo de este estudio fue determinar la digestibilidad de AA y energía de muestras de pastas de canola en cerdos en crecimiento canulados.

2.4. Materiales y métodos

Los procedimientos para el estudio de los animales fueron aprobados por la Comisión de Uso y Cuidado de Animales de la Universidad de Alberta, siguiendo los principios establecidos por el Consejo Canadiense de Protección de los Animales (1993).

2.4.1. Diseño experimental y dietas

El valor nutritivo de los subproductos de canola fue analizado en un cuadro latino 5 x 5, usando 5 dietas (Tabla 1). La dieta 1 contenía 40% de almidón de maíz mas 50% de pasta de canola *B napus*; la dieta 2 contuvo 40% de almidón de maíz mas 50% de pasta de canola *B júncea*; la dieta 3 contuvo 40% de almidón de maíz mas 50% de pasta de canola EP-C; la dieta 4 contuvo 40% de almidón de maíz mas 50% de pasta de canola EP-A y la dieta 5 contuvo 78% de almidón de maíz y fue empleada para estimar la perdida basal de aminoácidos endógenos (Stein et al., 2006).

La pasta de canola y la pasta de canola EP fueron la única fuente de PC y AA. Las dietas fueron formuladas para reunir o exceder los requerimientos de vitaminas y minerales (NRC, 1998) e incluían oxido crómico como marcador indigestible.

Cuadro 2.1: Composición de ingredientes de las dietas experimentales (tal como se ofrece)

Ingrediente	Pasta de Canola		Pasta de Canola EP ¹		Libre N
	<i>Napus</i>	<i>Júncea</i>	C ²	A ³	
Almidón de Maíz	40.01	40.01	39.90	39.90	78.00
Pasta de Canola <i>B. Napus</i>	50.00	-	-	-	-
Pasta de Canola <i>B. Júncea</i>	-	50.00	-	-	-
Pasta de Canola EP-C	-	-	50.00	-	-
Pasta de Canola EP-A	-	-	-	50.00	-
Celulosa, Dextrosa	5.17	5.17	5.20	5.20	10.00
Solka flocc®	-	-	-	-	4.00
Aceite de Canola	1.52	1.52	1.50	1.50	3.00
Piedra Caliza	0.40	0.40	0.50	0.50	0.90
Fosfato mono-dicálcico	1.00	1.00	1.00	1.00	1.70
Sal	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Premezcla de vitaminas	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Premezcla de minerales	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
KO ₃ 56%K	-	-	-	-	0.40
MgO 58%Mg	-	-	-	-	0.10
Cr ₂ O ₃	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

¹Pasta de canola EP = Pasta de canola extraída por presión.

²Can source

³Associate protein

2.4.2. Procedimiento Experimental.

El experimento se llevó a cabo en el Centro Tecnológico y de Investigación Porcina (Swine Research and Technology Centre) de la Universidad de Alberta (Edmonton, Alberta, Canadá). Cinco dietas fueron evaluadas en 5 periodos experimentales usando cerdos canulados en etapa de crecimiento-finalización. Cinco cerdos castrados (peso inicial promedio 65.7 ± 1.7 kg; Duroc \times Large White/Landrace F1; Genex Hybrid, Hypor, Regina, Saskatchewan, Canadá) fueron canulados quirúrgicamente con una cánula tipo "T" en el ileon distal, aproximadamente 5 cm antes del ligamento ileocecal. La preparación de cánulas, procedimiento quirúrgico y modificaciones fueron descritos anteriormente (Sauer et al., 1983; de Lange et al., 1989). Los cuidados pre y post-operatorios fueron descritos anteriormente (Li et al., 1993). Después de las cirugías, los cerdos se recuperaron en un periodo de 7 días con un incremento gradual en el consumo de alimento y después se les ofreció las dietas experimentales.

Los cerdos fueron alojados en jaulas metabólicas individuales (1.2 x 1.2 m) permitiendo libertad de movimiento. Las jaulas tenían piso de metal recubierto con plástico, paredes de cloruro de polivinilo (0.9 m altura) equipadas con ventanas de plástico (0.3 x 0.3m), un comedero metálico y un bebedero tipo chupón. La alimentación diaria fue estimada en 2.8 veces el requerimiento de mantenimiento de energía (2.8×110 Kcal de ED/kg de peso corporal^{0.75}; NRC, 1998), la cual fue dividida en dos comidas de igual proporción a las 0800 y 1500 h. Las dietas fueron administradas en forma seca y los cerdos tuvieron libre acceso al agua durante todo el experimento.

El periodo experimental consistió de 9 días: 5 días de adaptación a las dietas experimentales, seguidos por 2 días de colección de heces y 2 días de colección de contenido ileal. Las heces fueron colectadas continuamente con bolsas que fueron reemplazadas mínimo 2 veces por días, a las 0800 y 1600 h. Las bolsas de plástico se sujetaron a un sistema de anillos pegados a la piel alrededor del

ano (van Kleef et al., 1994). El contenido ileal fue colectado durante 10 h continuas durante 2 días consecutivos usando bolsas, que contenían 15 ml de ácido fórmico a los 5%, unidas a la cánula con una liga. Las bolsas fueron removidas cuando se llenaban de contenido ileal o cada 30 minutos. Las heces y el contenido ileal colectados fueron mezclados y congelados a -20°C . Antes de realizar los análisis, las heces y el contenido ileal fueron descongelados, homogenizados, sub-muestreados y liofilizados.

2.4.3. Análisis químico

Las dietas, ingredientes, contenido ileal liofilizado y heces fueron molidas en un Molino de centrifuga (modelo ZM 200; Retsch Co., Newtown, PA) usando una criba de 1 – mm. Se analizó almidón en los ingredientes usando el método de aminoglucosidasa/ α -amilasa con un análisis final de glucosa usando un espectrofotómetro a 510 nm (método 996.11; AOAC, 1990), FDA (método 973.18; AOAC, 1990), FDN (Van Soest et al., 1991), Ca y P (método 985.01; AOAC, 1990). Se analizó en ingredientes y dietas el contenido de extracto etéreo (método 920.39; AOAC, 1990), y cenizas (método 942.05; AOAC, 1990). En ingredientes, dietas y contenido ileal se analizó PC (método 990.03; AOAC, 1990), AA (método 982.30E; AOAC, 2006) y lisina disponible (método 975.44). El análisis de humedad se realizó en ingredientes, dietas, contenido ileal y heces (método 930.15; AOAC, 1990) estos análisis fueron realizados en la Universidad de Missouri, Columbia. El contenido de energía bruta se analizó en ingredientes, dietas, contenido ileal y heces usando una bomba calorimétrica adiabática (modelo AC-300, Leco Corp., St. Joseph, MI) utilizando ácido benzoico como estándar. El contenido de óxido crómico fue determinado por espectrofotometría en dietas, contenido ileal y heces (modelo 80-2097-62, KBUltraspec III, Pharmacia, Cambridge,

UK) a 440 nm después de incinerarlas a 450 °C durante toda la noche (Fenton and Fenton, 1979) en la Universidad de Alberta, Edmonton Canadá.

2.4.4. Cálculos

Los cálculos se realizaron usando los datos de óxido crómico. La digestibilidad ileal aparente (DIA) y la digestibilidad aparente del tracto total (DATT) de los componentes en las dietas fueron calculados usando la siguiente ecuación (Adeola, 2001):

DIA o DATT, % = $100 - [100 \times (\text{concentración de óxido crómico en alimento} \times \text{concentración de componentes en heces o contenido ileal} / \text{concentración de óxido crómico en heces o contenido ileal} \times \text{concentración de componentes en alimento})]$.

La secreción endógena (I_{end}) de PC o AA (g/kg de consumo de materia seca) fue calculada por la ecuación de la dieta libre de nitrógeno (Stein et al., 2007):

$I_{\text{end}} = [\text{AA o PC en contenido ileal} \times (\text{óxido crómico en alimento} / \text{óxido crómico en contenido ileal})]$.

Los valores de Digestibilidad Ileal Estandarizada (DIE) de cada aminoácido fueron calculados corrigiendo la DIA por la secreción de AA endógenos por la siguiente ecuación (Stein et al., 2007):

$DIE = [\text{DIA} + (\text{IAA}_{\text{end}} / \text{AA in Alimento})]$.

La ED en las muestras de pasta de canola y la pasta de canola EP fueron calculadas sustrayendo la cantidad específica de ED en la dieta libre de nitrógeno proporcionada por el suministro de energía de los ingredientes de la ED en cada muestra de pasta de canola y pasta de canola EP en las dietas usando el método de diferencia (Adeola, 2001).

El contenido de DIE de PC y AA fue calculando multiplicando el valor de la DIE en la muestra de contenido ileal con el total del contenido de PC y AA en las muestras de pasta de canola y pasta de canola EP.

2.4.5. Análisis estadístico.

Los datos fueron analizados usando el procedimiento MIXED de SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) como un cuadro latino 5×5 . Los cerdos fueron considerados la unidad experimental. Análisis de varianza determinó las diferencias entre las dietas. Promedios fueron separados por PDIFF. Para probar la hipótesis, $P < 0.05$, fue considerado significativa.

2.5. Resultados

Los cerdos permanecieron estables durante el periodo experimental. Sin importar la dieta que se les ofreció los cerdos consumieron sus asignaciones diarias de alimento durante el experimento.

2.5.1. Composición química de ingredientes y alimento

La composición nutricional de los ingredientes se muestra en la tabla 2. La pasta de canola EP-A contuvo 39.1 % de PC y fue 0.7, 1.0 y 14.3%-unidades mayor que las pastas de canola *B napus*, *B júncea* y EP-C, respectivamente. El contenido de EB en la pasta de canola EP-C. fue 5.64 Mcal/kg y 1.33, 1.39 y 0.75 Mcal/kg mayor que las pastas de canola *B napus*, *B júncea* y EP-A, respectivamente. El contenido de extracto etéreo en la pasta de canola EP-C fue 31.25% y 28.4, 28.79 y 20.88%-unidades mayor que las pastas de canola *B. napus*, *B júncea* y EP-A, respectivamente.

Cuadro 2.2 Contenido nutricional analizado de ingredientes experimentales.

Variable	Pasta de canola		Pasta de canola EP ¹	
	<i>Napus</i>	<i>Jincea</i>	C ²	A ³
Humedad, %	9.7	9.4	7.8	4.6
PC, %	38.4	38.1	24.8	39.1
EB, Mcal/kg	4.31	4.25	5.64	4.89
Extracto etéreo, %	2.85	2.46	31.25	10.37
Cenizas, %	7.65	7.40	5.28	6.96
Fibra cruda, %	10.14	6.92	7.59	9.11
FDA, %	17.96	11.96	13.18	15.88
FDN, %	26.13	18.34	18.19	23.07
Almidón, %	0.00	1.66	0.83	0.41
P, %	1.15	1.20	0.69	1.08
Ca, %	0.63	0.68	0.50	0.62
AA esenciales,%				
Arg	2.34	2.55	1.43	2.02
His	1.04	1.03	0.64	0.98
Ile	1.53	1.61	1.02	1.47
Leu	2.74	2.82	1.74	2.75
Lis	2.14	1.99	1.38	1.31
Met	0.75	0.71	0.48	0.75
Fen	1.55	1.57	1.00	1.52

Tre	1.60	1.58	1.04	1.66
Trp	0.52	0.45	0.30	0.53
Val	1.99	2.02	1.33	1.93
AA no esenciales, %				
Ala	1.68	1.74	1.10	1.71
Asp	2.68	2.91	1.69	2.65
Cis	0.91	0.79	0.59	0.76
Glu	6.26	6.14	3.74	6.48
Gli	1.95	1.98	1.22	1.96
Pro	2.25	2.05	1.45	2.27
Ser	1.37	1.33	0.91	1.54
Tir	1.08	1.10	0.73	1.05
Lis disponible, %	1.99	1.85	1.22	0.68
Lis en PC, %	5.6	5.2	5.6	3.3
Disponibilidad de lis,				
%	92.8	92.7	88.0	51.8

¹ Pasta de canola EP = pasta de canola extraída por presión.

²Can source

³Associate protein

El contenido de fibra cruda en la pasta de canola *B napus* fue 10.14% y 3.22, 2.55 y 1.03%-unidades mayor que las pastas de canola *B júncea*, EP-C y EP-A, respectivamente. El contenido de FDA en la pasta de canola *B napus* fue 17.96 y 6.0, 4.78 y 2.08%-unidades mayor que las pastas de canola *B júncea*, EP-C y EP-A, respectivamente. El contenido de FDN en la pasta de canola *B*

napus fue 26.13% y 7.99, 7.94 y 3.06%-unidades mayor que las pastas de canola *B júncea*, EP-C y EP-A, respectivamente. El contenido de P y Ca fue similar en las pastas de canola *B napus*, *B júncea* y EP-A y menor en la pasta de canola EP-C, respectivamente.

El contenido de lisina fue mayor en las pastas de canola *B napus* y *B júncea* y menor en las pastas de canola E- C y EP-A. Lisina disponible determinada químicamente fue menor en la pasta de canola EP-A, indicando que algún daño pudo haber ocurrido durante el proceso de producción. El contenido Treonina y Metionina en las pastas de canola *B napus*, *B júncea* y EP-A fueron similares y menores en la pasta de canola EP-C . La composición de nutrientes analizados en las dietas ofrecidas cubrió o excedió el perfil de nutrientes para cerdos de 50 a 80 kg (Tabla 3; NRC, 1998). El perfil nutricional de las dietas experimentales fue el esperado en base a la composición de los ingredientes, indicando que las dietas fueron mezcladas apropiadamente.

Cuadro 2.3 Contenido nutricional analizado de dietas experimentales.

Concepto	Pasta de canola		Pasta de canola ¹		Libre N
	<i>Napus</i>	<i>Júncea</i>	C ²	A ³	
Humedad, %	9.6	9.2	8.6	6.5	9.1
PC, %	19.8	18.4	12.8	19.7	
EB, Mcal/kg	3.97	3.99	4.47	4.29	3.70
Extracto etéreo, %	2.93	2.97	17.95	6.75	2.36
Cenizas, %	5.87	5.20	4.76	5.65	3.30
Fibra cruda, %	5.34	3.16	2.85	3.70	2.30
AA esenciales,%					
Arg	1.09	1.26	0.74	1.22	0.02

His	0.47	0.51	0.34	0.54	0.01
Ile	0.55	0.76	0.52	0.79	0.02
Leu	1.28	1.41	0.92	1.42	0.04
Lis	0.96	0.99	0.71	1.13	0.02
Met	0.36	0.36	0.24	0.36	0.00
Fen	0.70	0.77	0.51	0.80	0.02
Tre	0.81	0.84	0.54	0.82	0.01
Trp	0.24	0.22	0.15	0.27	0.04
Val	0.73	0.95	0.68	1.03	0.02
AA no esenciales, %					
Ala	0.85	0.88	0.59	0.88	0.02
Asp	1.37	1.49	0.89	1.40	0.03
Cis	0.45	0.39	0.30	0.45	0.00
Glu	3.24	3.16	2.08	3.34	0.07
Gli	0.98	1.00	0.65	1.01	0.02
Pro	1.13	1.04	0.77	1.19	0.02
Ser	0.84	0.76	0.48	0.74	0.02
Tir	0.48	0.53	0.34	0.54	0.01
Lis disponible, %	0.88	0.92	0.62	1.01	0.02

¹ pasta de canola EP = Pasta de canola extraída por presión.

²Can source

³Associate protein

2.5.2. Digestibilidad de nutrientes

La DIA de EB en la pasta de canola *B júncea* fue similar a la pasta de canola EP-A y 4.1 y 4.9%-unidades mayor ($P < 0.01$; Tabla 5) que las pastas de canola *B napus* y EP-C, respectivamente. La DATT de EB en la dieta que contenía pasta de canola *B napus* fue similar a la dieta que contenía pasta de canola EP-C y 3.2 y 5.75%-unidades menor ($P < 0.01$; tabla 4) que la dietas que contenían las pastas de canola EP-A y *B júncea*, respectivamente. La DATT de EB de la pasta de canola *B napus* fue similar a la pasta de canola EP-C y 7.0 y 11.4%-unidades menor ($P < 0.01$; Tabla 4) que las pastas de canola EP-A y *B júncea*, respectivamente. La ED de la pasta de canola EP-C fue similar a la pasta de canola EP-A y 0.77 y 0.28 Mcal/kg mayor ($P < 0.01$; Tabla 7) que la pasta de canola *B napus* y la pasta de canola *B júncea*, respectivamente. La EN de la pasta de canola EP-C fue mayor ($P < 0.01$) 0.61, 0.26 y 0.19 Mcal/kg que las pastas de canola *B napus*, *B júncea* y EP-A, respectivamente.

La DIA de PC, lisina y Metionina en la pasta de canola EP-A y en la pasta de canola *B júncea* fue mayor ($P < 0.01$; Tabla 5) seguido por la pasta de canola *B napus* y menor en la pasta de canola EP-C. La DIA de Treonina en la pasta de canola *B júncea* fue similar a las pastas de canola *B napus* y EP-A y 14.2%-unidades mayor ($P < 0.01$) que la pasta de canola EP-C. La disponibilidad de lisina en la pasta de canola EP-A fue similar a la pasta de canola *B júncea* y 7.8 y 15.3%-unidades mayor ($P < 0.01$) que en las pastas de canola *B napus* y EP-C, respectivamente.

Cuadro 2.4 DATT de EB y ED en diferentes variedades de pasta de canola

Variable	Pasta Canola		Pasta de canola EP ¹		SEM	P-valor
	<i>Napus</i>	<i>Júncea</i>	C ²	A ³		
DATT, %						
Dieta	81.9 ^c	87.6 ^a	80.2 ^c	85.1 ^b	0.70	< 0.001
Ingrediente	67.1 ^c	78.5 ^a	64.2 ^c	74.1 ^b	1.40	< 0.001
Contenido de ED, Mcal/kg						
Dieta	3.60 ^b	3.85 ^a	3.92 ^a	3.90 ^a	0.03	< 0.001

¹ pasta de canola EP = Pasta de canola extraída por presión.

²Can source

³Associate protein

La DIE de PC en la pasta de canola EP-A fue similar a las pastas de canola *B napus* y *B júncea* y 9.33%-unidades mayor ($P < 0.01$) que la pasta de canola EP-C (Cuadro 6). La DIE de lisina fue mayor ($P < 0.01$) en las pastas de canola EP-A y *B júncea* y menor en las pastas de canola *B napus* y EP-C. La DIE de lisina disponible y Metionina fue mayor ($P < 0.01$) en las pastas de canola EP-A y *B júncea*, seguido por la pasta de canola *B napus* y menor en la pasta de canola EP-C. La DIE de Treonina en la pasta de canola *B júncea* fue similar que las pastas de canola *B napus* y EP-A y 11.2%-unidades mayor ($P < 0.01$) que la pasta de canola EP-C.

Cuadro 2.5 Digestibilidad ileal aparente de EB, PC y AA en dietas conteniendo diferentes variedades de pasta de canola

Variable	Pasta de canola		Pasta de canola EP ¹		SEM	P-Valor
	<i>Napus</i>	<i>Júncea</i>	C ²	A ³		
EB	68.7 ^b	72.8 ^a	67.9 ^b	70.6 ^{ab}	1.00	0.015
PC	69.1 ^b	70.0 ^{ab}	61.0 ^c	73.5 ^a	1.32	0.001
AA esenciales						
Arg	80.3 ^b	83.7 ^a	77.9 ^b	86.9 ^a	1.12	0.001
His	78.6 ^b	82.6 ^a	75.7 ^b	83.7 ^a	1.00	0.001
Ile	62.2 ^c	73.8 ^a	67.1 ^b	77.9 ^a	1.59	<0.001
Leu	74.9 ^{bc}	77.3 ^b	72.6 ^c	81.5 ^a	1.27	0.002
Lis	67.6 ^b	73.9 ^a	61.4 ^c	75.9 ^a	1.39	<0.001
Met	83.3 ^b	84.0 ^{ab}	79.0 ^c	86.9 ^a	1.08	0.001
Fen	74.0 ^{bc}	77.3 ^{ab}	70.9 ^c	81.2 ^a	1.36	0.001
Tre	68.7 ^a	72.9 ^a	58.7 ^b	70.9 ^a	1.36	<0.001
Trp	77.9 ^b	76.8 ^b	69.9 ^c	82.7 ^a	1.05	<0.001
Val	60.0 ^b	71.6 ^a	63.6 ^b	74.8 ^a	1.58	<0.001
AA no esenciales						
Ala	68.5 ^b	74.8 ^a	61.0 ^c	76.3 ^a	1.33	<0.001
Asp	75.5 ^a	75.4 ^a	61.0 ^b	74.3 ^a	1.30	<0.001
Cis	73.7 ^a	73.8 ^a	65.9 ^b	74.0 ^a	0.97	<0.001
Glu	82.0 ^b	82.2 ^b	79.1 ^c	85.9 ^a	0.96	0.002
Gli	67.1 ^a	67.6 ^a	59.6 ^b	68.9	1.74	0.007
Pro	56.0 ^{ab}	63.4 ^{ab}	51.9 ^b	67.4 ^a	3.99	0.058
Ser	75.5 ^a	75.4 ^a	61.0 ^b	74.3 ^a	1.30	<0.001
Tir	72.3 ^b	76.8 ^a	93.5 ^c	76.8 ^a	1.40	0.001
Lis disponible, %	68.5 ^b	74.8 ^a	61.0 ^c	76.3 ^a	1.33	<0.001

¹ pasta de canola EP = Pasta de canola extraída por presión.

²Can source

³Associate protein

El contenido de PC digestible ileal estandarizada en la pasta de canola EP-C fue 13.25, 13.11 y 13.7%-unidades menor ($P < 0.01$) que en las pastas de canola *B napus*, *B júncea* y EP-A, respectivamente (Tabla 7). El contenido de Lis ileal estandarizada fue mayor ($P < 0.01$) en las pastas de canola *B napus* y *B júncea* y menor en las pastas de canola EP-C y EP-A. El contenido de Metionina ileal estandarizada en la pasta de canola *B napus* fue similar a la pasta de canola EP-A y 0.04 y 0.28%-unidades mayor ($P < 0.01$) que en las pastas de canola *B júncea* y EP-C, respectivamente. El contenido de de Treonina digestible ileal estandarizada en la pasta de canola *B júncea* fue similar a las pastas de canola *B napus* y EP-C y 0.6%-unidades mayor ($P < 0.01$) que la pasta de canola EP-A. El contenido de lisina digestible ileal estandarizada disponible en la pasta de canola *B júncea* fue similar a la pasta de canola *B napus* y 0.72 y 1.05%-unidades mayor ($P < 0.01$) que en las pastas de canola EP-C y EP-A, respectivamente.

Cuadro 2.6 Digestibilidad ileal estandarizada de PC y AA de diferentes variedades de pasta de canola

Variable	Pasta de Canola		Pasta de Canola EP ¹		SEM	P-valor
	<i>Napus</i>	<i>Júncea</i>	C ²	A ³		
PC	75.44 ^a	76.09 ^a	69.96 ^b	79.29 ^a	1.68	0.009
Indispensable AA, %						
Arg	85.29 ^b	87.24 ^{ab}	83.96 ^b	90.64 ^a	1.38	0.019
His	81.71 ^b	85.43 ^a	79.98 ^b	86.41 ^a	1.15	0.004
Ile	67.29 ^b	77.20 ^a	72.14 ^b	81.20 ^a	1.64	< 0.001
Leu	78.66 ^b	80.23 ^b	77.19 ^b	84.57 ^a	1.39	0.010
Lis	72.21 ^b	78.57 ^a	68.01 ^b	80.09 ^a	1.44	< 0.001
Met	85.44 ^b	85.85 ^{ab}	81.82 ^c	88.82 ^a	1.10	0.004
Fen	77.99 ^{bc}	80.58 ^{ab}	75.93 ^c	84.37 ^a	1.46	0.007

Tre	74.10 ^a	77.79 ^a	66.59 ^b	76.12 ^a	1.64	< 0.001
Trp	81.85 ^b	80.85 ^b	75.92 ^c	85.98 ^a	1.33	0.001
Val	65.83 ^b	75.77 ^a	69.59 ^b	78.72 ^a	1.66	< 0.001
Dispensable AA,						
%						
Ala	78.77 ^{bc}	80.63 ^{ab}	75.59 ^c	83.24 ^a	1.49	0.016
Asp	74.10 ^b	77.51 ^{ab}	70.68 ^c	79.63 ^a	1.62	0.007
Cis	77.07 ^a	77.61 ^a	71.09 ^b	77.49 ^a	1.18	0.004
Glu	84.54 ^b	84.50 ^b	82.64 ^b	88.13 ^a	0.97	0.008
Gli	78.44	77.92	75.79	79.30	2.54	0.650
Pro	87.85	89.49	88.05	90.79	9.36	0.983
Ser	80.33 ^a	80.22 ^a	68.72 ^b	79.33 ^a	1.54	< 0.001
Tir	76.79 ^a	80.51 ^a	69.43 ^b	80.57 ^a	1.39	< 0.001
Lis disponible	73.25 ^b	79.34 ^a	67.95 ^c	80.61 ^a	1.40	< 0.001

¹ pasta de canola EP = Pasta de canola extraída por presión.

²Can source

³Associate protein

Cuadro 2.7 Energía Digestible, EN y contenido de PC y AA digestibles ileal estandarizados en diferentes variedades de pasta de canola.

Contenido	Pasta de canola		Pasta de canola ¹		SEM	P-valor
	<i>Napus</i>	<i>Júncea</i>	C ²	A ³		
Energía, Mcal/kg de MS						
DE	3.20 ^c	3.69 ^b	3.97 ^a	3.77 ^{ab}	0.08	< 0.001
EN	2.20 ^c	2.55 ^b	2.81 ^a	2.62 ^b	< 0.01	< 0.001
PC, %	32.09 ^a	31.95 ^a	18.84 ^b	32.54 ^a	0.61	< 0.001
Indispensable AA, %						
Arg	2.21 ^b	2.45 ^a	1.30 ^d	1.92 ^c	0.03	< 0.001
His	0.94 ^b	0.97 ^a	0.55 ^d	0.89 ^c	0.01	< 0.001

Ile	1.14 ^c	1.37 ^a	0.80 ^d	1.25 ^b	0.03	< 0.001
Leu	2.38 ^a	2.50 ^a	1.46 ^b	2.44 ^a	0.04	< 0.001
Lis	1.71 ^a	1.73 ^a	1.02 ^b	1.10 ^b	0.03	< 0.001
Met	0.71 ^a	0.67 ^b	0.43 ^c	0.70 ^a	0.01	< 0.001
Fen	1.34 ^a	1.39 ^a	0.82 ^b	1.34 ^a	0.02	< 0.001
Tre	1.31 ^a	1.35 ^a	0.75 ^b	1.32 ^a	0.02	< 0.001
Trp	0.47 ^a	0.40 ^b	0.25 ^c	0.48 ^a	0.01	< 0.001
Val	1.45 ^c	1.69 ^a	1.00 ^d	1.59 ^b	0.03	< 0.001
Dispensable AA, %						
Ala	1.47 ^b	1.55 ^a	0.90 ^c	1.49 ^{ab}	0.03	< 0.001
Asp	2.20 ^b	2.49 ^a	1.29 ^c	2.21 ^b	0.04	< 0.001
Cis	0.78 ^a	0.68 ^b	0.46 ^d	0.62 ^c	0.01	< 0.001
Glu	5.86 ^{ab}	5.72 ^b	3.36 ^c	5.98 ^a	0.06	< 0.001
Gli	1.69 ^a	1.70 ^a	1.00 ^b	1.63 ^a	0.04	< 0.001
Pro	2.19 ^a	2.02 ^a	1.38 ^b	2.16 ^a	0.20	0.002
Ser	1.22 ^b	1.18 ^b	0.68 ^c	1.28 ^a	0.02	< 0.001
Tir	0.92 ^b	0.97 ^a	0.55 ^c	0.89 ^b	0.01	< 0.001
Lys disponible, %	1.61 ^a	1.62 ^a	0.90 ^b	0.57 ^c	0.02	< 0.001

¹ pasta de canola EP = Pasta de canola extraída por presión.

²Can source

³Associate protein

2.6. Discusión

Las oleaginosas tienen una enorme importancia económica como fuente de lípidos en la dieta y por ser una fuente renovable de ingredientes para la industria alimenticia (Weselake et al., 2008). La canola es una importante semilla de oleaginosas en muchos países y es la segunda fuente más importante de aceite comestible en el mundo (Mohamed et al., 2001). El aceite de canola constituye 40% de la semilla y es la parte más valuada de los componentes de la semilla.

En la extracción de aceite de canola crudo con solventes y con presión se obtiene pasta de canola y pasta de canola EP, respectivamente, como un co-producto que puede servir como una alternativa en la alimentación animal (Seneviratne et al., 2010). El alimento más común en la alimentación animal derivado de la planta de canola es la pasta de canola, la cual es relativamente alta en PC y contiene un balance de AA óptimo (NRC, 1998), por otro lado tiene un contenido de ED menor a la pasta de soya (Bell, 1984). La pasta de canola EP tiene menor contenido de PC, pero tiene mayor porcentaje de extracto etéreo que la pasta de canola debido a la menor eficiencia de extracción de aceite. Sin embargo, la digestibilidad y disponibilidad de PC, AA y energía son limitadas debido al alto contenido de fibra y al proceso de extracción de aceite (Grala et al., 1994; Pastuszewska et al., 2003). Actualmente, existe limitado conocimiento acerca de la calidad nutricional de la pasta de canola y la pasta de canola EP de diferentes variedades para su inclusión en los programas de alimentación en cerdos en crecimiento. En el proceso de fraccionamiento que para remover un componente principal o macronutriente de la semilla, el co-producto resultante reflejara el cambio al contener menos cantidad de ese macronutriente y por lo tanto los otros nutrientes serán más concentrados. Además, el proceso de calentamiento puede causar cambios en la calidad de nutrientes.

El valor nutricional de la pasta de canola y la pasta de canola EP puede variar entre diferentes muestras. La composición química de la pasta de canola fue comparada entre dos variedades; la pasta de canola *B napus* fue similar en humedad (9.7 vs 9.4%), PC (38.4 vs 38.1), EB (4.31 vs 4.25 Mcal/kg), Cenizas (7.65 vs 7.40%) y tuvo un mayor contenido de extracto etéreo (2.85 vs 2.46 %), fibra Cruda (10.14 vs 6.92%), FDA (17.96 vs 11.96 %), y FDN (26.13 vs 18.34 %) que la pasta de canola *B júncea*. El contenido de PC, EB y fibra cruda en la pasta de canola *B napus* usados en el presente estudio fueron bajos, mientras que el contenido de FDA fue similar y el

contenido de FDN y cenizas fue alto, comparados con la pasta de canola *B napus* usados en previos estudio (Bell et al., 1998; Montoya et al., 2009) y la pasta de canola *B júncea* tuvo un valor menor en PC, EB y fibra cruda; mayor contenido en extracto etéreo y valores similares en el contenido de cenizas, FDA y FDN comparados con previos estudios (Bell et al., 1998 and Montoya et al., 2009). Los primeros tres aminoácidos limitantes (lisina, Metionina y Treonina) fueron mayores en la pasta de canola *B napus* que en la pasta de canola *B júncea*. En estudio previo (Mariscal et al., 2007) se reportó valores similares de PC, lisina, Metionina y Treonina que la pasta de canola *B júncea* usada en el presente estudio. La diferencia entre el contenido de fibra cruda, FDA, FDN y almidón en la pasta de canola *B napus* y la pasta de canola *B júncea* es debido a la variedad de semilla de canola usada en el proceso, la semilla de canola *B júncea* fue modificada para contener menor fibra cruda y esto se ve reflejado en los valores analizados. Los diferentes procesos de extracción de aceite en las semillas de canola pueden variar entre las plantas y variar el contenido nutricional de la pasta de canola.

Seneviratne et al., (2010) reportó un perfil químico de la pasta de canola EP, el cual es similar al contenido de la pasta de canola EP-A en PC, EB, Cenizas P y Ca; y menor en 2.93, 1.62, 4.93 y 1.11%-unidades en extracto etéreo, FDA, FDN y contenido de lisina, respectivamente. De igual manera, Leming et al., (2005) reportó la composición química de una muestra de pasta de canola y la EB y P fueron similares a la pasta de canola EP-A, pero los valores del contenido de PC y cenizas fueron mayores en el presente estudio, sin embargo, los valores del contenido de extracto etéreo, fibra cruda y Ca fueron menores. Las diferencias en la composición química entre las dos pastas de canola EP fue probablemente causada por la menor eficiencia de extracción de aceite en la planta de pasta de canola C, porque diferentes equipos y condiciones fueron usados, por lo que el

contenido del resto de macronutrientes fue mayor en la pasta de canola EP-A (Leming and Lember, 2005).

2.6.1. Digestibilidad de energía

Previamente, el contenido de ED y la predicción de EN en pasta de canola con diferente contenido de fibra (semilla *B napus* amarilla y negra, y semilla *B júncea* amarilla) y el efecto de tostado en cerdos en crecimiento fue comparado (Montoya et al., 2009). El contenido de ED de 3.20 Mcal/kg de MS en la pasta de canola *B napus* en nuestro estudio fue 0.39 ± 0.05 Mcal/kg menor comparado a la pasta de canola *B napus* negra y amarilla, tostado y no tostado. En contraste, el contenido de ED de la pasta de canola *B júncea* tostada y no tostada fue 0.22 y 0.06 Mcal/kg de MS menor que la pasta de canola *B júncea* usada en nuestro estudio. Las pastas de canola EP-C y EP-A mostraron valores similares en el contenido de ED con las pastas de canola *B napus* y *B júncea*, mostradas por Montoya et al., (2009). El alto contenido de ED en la pasta de canola *B júncea* comparada con la pasta de canola *B napus* puede ser atribuida al menor contenido de fibra en la pasta de canola *B júncea* (6.92 vs. 10.14%), y la alta diferencia entre las pastas de canola EP es atribuida al contenido de extracto etéreo en el ingrediente y la disponibilidad de este aceite.

En otro experimento en cerdos en crecimiento, (Montoya et al., 2010) el contenido de ED y EN en pasta de canola y canola integral fueron estimadas, el contenido de ED en la pasta de canola fue 3.55 mcal/kg de MS, y comparada con el resultado obtenido en la presente investigación ese valor es 0.35 Mcal/kg de MS mayor que la pasta de canola *B napus*, pero 0.14, 0.42 y 0.22 Mcal/kg de MS menor que las pastas de canola *B júncea*, EP-C y EP-A, respectivamente, sin embargo, la ED de la canola integral fue 5.03 Mcal/kg de materia seca y fue 1.83, 1.34, 1.06 y 1.26 Mcal/kg de MS mayor que las pastas de canola *B napus*, *B júncea*, EP-C y EP-A, respectivamente. El contenido de

extracto etéreo en la canola integral fue 43.9% y fue 41.05, 41.44, 12.65 y 33.53 %- unidades mayor que las pastas de canola *B napus*, *B júncea*, EP-C y EP-A, respectivamente, la diferencia en el contenido de ED es atribuida a el alto valor de contenido de aceite en la canola integral. En contraste, el contenido de EN en la pasta de canola fue 2.43 Mcal/kg de MS y fue 0.12, 0.38 y 0.19 Mcal/kg de MS menor que las pastas de canola *B júncea*, EP-C y EP-A, respectivamente, y mayor en 0.23 Mcal/kg comparado con la pasta de canola *B napus*. El contenido de EN en la semilla de canola fue 3.56 Mcal/kg de MS y mayor comparado a los cuatro ingredientes usados en el presente estudio. En otro estudio, Montoya et al., (2009) usaron pasta de canola de dos diferentes variedades de semilla de canola (pasta de canola *B napus* y pasta de canola *B júncea*) y dos diferentes procesos de secado (tostado y no tostado) en cerdos en crecimiento y encontraron el contenido de EN en un rango de 2.50 – 2.74 Mcal/kg de MS. Esos valores son similares a las pastas de canola *B júncea* y EP-A; mayores que la pasta de canola *B napus* y menores que la pasta de canola EP-C.

2.6.2. Digestibilidad de PC y AA

La pasta residual después de la extracción de aceite en la semilla de canola es un ingrediente proteico. Un objetivo del presente estudio fue determinar los valores de digestibilidad de PC y AA en dos diferentes variedades de pasta de canola y dos diferentes fuentes de pasta de canola EP. El rango de DIA de PC fue de 61.0 a 73.5%, la pasta de canola EP-A fue más digestible, seguido por la pasta de canola *B napus* y la pasta de canola *B júncea* y menor en la pasta de canola EP-C. Fan et al., 1996, determinó la DIA en seis muestras de pasta de canola obtenidas de diferentes plantas procesadoras de aceite de canola, la DIA de PC en esas muestras de pasta de canola estuvieron en un rango de 62.4 a 70.3 %, esos valores son mayores comparados a la DIA de PC en la pasta de canola EP-C y similar a la pasta de canola *B napus* y la pasta de canola *B júncea* y menor

comparado a la pasta de canola EP-A. El rango de DIA de lisina y Treonina fueron 68.3 – 76.7% y 59.7-66.5%, respectivamente (Fan et al., 1996). Esos valores fueron similares con respecto a la DIA de lisina in la pasta de canola *B napus*, pasta de canola *B júncea* y la pasta de canola EP-A, pero mayor comparado a la pasta de canola EP-C. La DIA de Treonina en el presente experimento fue menor en la pasta de canola EP-A, y mayor en la pasta de canola *B napus*, la pasta de canola *B júncea* y en la pasta de canola EP-C. Los valores bajos de digestibilidad en la pasta de canola se le puede atribuir al alto contenido de fibra cruda, como resultado de una proporción alta de cascarilla y proteína asociada a la misma las cuales tienen baja digestibilidad. También, la temperatura usada en el proceso de extracción de aceite en la semilla de canola puede alterar la calidad de la proteína y disminuir la digestibilidad de la pasta de canola EP y la pasta de canola. Mariscal et al. (2007), determinó la DIA de PC y AA en cerdos en crecimiento alimentados con dietas a base de pasta de canola y caseína como fuente de proteína, y reportó la DIA de PC, Lisina y Metionina en 81.9, 83.5 y 86.9%, respectivamente. En el presente estudio los valores obtenidos fueron menores en la DIA de PC, lisina y Metionina excepto en la pasta de canola EP-A en Metionina. Las diferencias en DIA pueden ser atribuidas a la forma de calcular la DIA, ellos calcularon la DIA usando caseína como ingrediente basal en el alimento y los valores de DIA fueron calculados por el método de diferencia propuesto por Fan y Sauer (1995). En contraste, en un reciente estudio (Seneviratne et al., 2010) la DIA de lisina, Metionina y Treonina fueron 72.1, 83.4 y 66.2%, respectivamente, en muestras de pasta de canola EP, esos valores son similares a la DIA de algunos AA de nuestro estudio.

Las imprecisiones en la práctica de formulación de alimento pueden estar asociadas con el uso de los valores de la DIA de AA, porque los valores de un ingrediente individual no son siempre consistentes cuando se realiza la mezcla, además imprecisiones pueden ocurrir por que los coeficientes de DIA de AA son dependientes del nivel en la dieta que el nivel de AA (Fan et al.,

1994; Rademacher et al., 1999). Esta situación puede ser mejorada por corrección de los coeficientes de DIA por la pérdida endógena no específica, esta corrección es descrita con el término de digestibilidad ileal estandarizada (DIE). Stein et al., 2001 determinó la DIE de PC y AA en pasta de canola en cerdos en crecimiento y cerdas en gestación y lactancia, encontrando los valores de DIE en cerdos en crecimiento de PC, Lis, Met y Tre de 76.1, 83.6 86.5 y 78.5%, respectivamente. Los valores de DIE de PC en cerdos en crecimiento comparados con nuestro estudio fue 3.19%-unidades menor comparado con la pasta de canola EP-A y similar a las pastas de canola *B júncea* y *B napus*, mientras que fue 6.14%-unidades mayor que la pasta de canola EP-C. La DIE de Lis fue mayor comparado con los valores obtenidos en este experimento. En contraste, la DIE de Met fue 1.26, 0.85 y 4.88%-unidades mayor con respecto a las pastas de canola *B napus*, *B júncea* y EP-C, respectivamente, pero 2.125%-unidades menor comparada con la pasta de canola EP-A. Las DIE de Lis, Met y Tre en la pasta de canola EP reportadas por Seneviratne et al. (2010) fueron 73.2, 83.9 y 67.6%, respectivamente; esos valores son menores comparados con las pastas de canola *B júncea* y EP-A y mayores comparados a la pasta de canola EP-C.

El contenido de lisina en la DIE de 1.77% en la pasta de canola reportada por Seneviratne et al. (2010), fue similar a las pastas de canola *B napus* y *B júncea*, y 0.75 y 0.67%-unidades mayor que las pastas de canola EP-C y EP-A, respectivamente. El contenido de lisina en la DIE es menor en la pasta de canola EP que en la pasta de canola. El contenido de lisina disponible en la DIE en las pastas de canola *B napus* y *B júncea* fue mayor que en las pastas de canola EP-C y EP-A, y esto puede ser utilizado como indicador en la calidad de proteína, el cual puede ser afectado durante el proceso de secado en la parte final del proceso de extracción de aceite (Van Barneveld, 1994).

2.7. Conclusión

La pasta de canola y la pasta de canola EP son buena fuente de ED y AA para cerdos en crecimiento. El bajo contenido de fibra cruda incrementa la digestibilidad de energía y AA. El contenido de extracto etéreo es un importante factor para determinar los valores de energía de las pastas de canola EP-C y EP-A; el alto contenido de aceite en las pastas de canola EP-C y EP-A incrementa el contenido de ED y EN. La temperatura usada en el proceso de extracción de aceite en la semilla de canola es el principal factor que puede afectar la calidad de los AA, disminuyendo la digestibilidad de PC y AA.

2.8. Literatura citada

- Bell, J. M. 1984. Nutrients and toxicants in rapeseed meal: A Review. *J. Anim. Sci.* 58: 996-1010.
- Bell, J. M., R. T. Tyler, and G. Rakow. 1998. Nutritional composition and digestibility by 80-kg to 100-kg pigs of prepress solvent-extracted meals from low glucosinolate *Brassica juncea*, *B. napus* and *B. rapa* seed and of solvent-extracted soybean meal. *Can. J. Anim. Sci.* 78:199-203
- Bonnardeaux, J. 2007. Uses for canola meal. A report of the Department of Agriculture and Food, Government of Western Australia. State of Western Australia
- de Lange, C. F. M., W. C. Sauer, R. Mosenthin, and W. B. Souffrant. 1989. The effect of feeding different protein-free diets on the recovery and amino acid composition of endogenous protein collected from the distal ileum and feces in pigs. *J. Anim. Sci.* 67:746–754.
- Diosady, L. L., L. J. Rubin, N. Ting, and O. Trass. 1983. Rapid extraction of canola oil. 1983. *JAOCS.* 60:1658-1661.
- Douglas, R. D. 2008. Quality of Western Canadian Canola. Canadian Grain Commission. Winnipeg. Canada.
- 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.
- Fan, M. Z., W. C. Sauer, and V. M. Gabert. 1996. Variability of apparent ileal amino acid digestibility in canola meal for growing-finishing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 76:563-569.
- 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: 931- 634.

- Grala, W., L. Buraczewska, J. Gdala, and B. Pastuszewska. 1994. Effect of thermal processing on the protein value of double-low rapessed product. 1. Effect of toasting temperature of protein value of rapeseed oil meal for pigs. *J Anim. Feed Sci.* 3:33-42.
- Ilgen, O., A. N. Akin, and N. Boz. 2009. Investigation of biodiesel production from canola oil using amberlyst-26 as a catalyst. *Turk. J. Chem.* 33:289-294.
- Leming, R., and A. Lember. 2005. Chemical composition of expeller-extracted and cold-pressed rapeseed cake. *J. Agri. Sci.* 16:103-109.
- Li, S., W. C. Sauer, and M. Z. Fan. 1993. The effect of dietary crude protein level on ileal and fecal amino acid digestibility in early weaned pigs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl.)* 70:117–128.
- Mariscal, L. G., T. C. Reis de Souza, S. J. E. Parra, B. A. Aguilera, and B. B. Mar. 2007. Ileal digestibility of protein and amino acids from canola meal in weaned piglets and growing pigs. *Livest. Sci.* 116:53-62.
- Mohamed, A., and B. Chockry. 2011. Canola proteins: composition, extraction, functional properties, bioactivity, applications as a food ingredient and allergenicity. A practical and critical review. *Trends in Food Science and Technology.* 22:21-39.
- Montoya, C. A., and P. Leterme. 2009. Determination of the digestible energy and prediction of the energy content of toasted and non-toasted canola meal from *brassica juncea* and *brassica napus* in growing pigs by the total faecal collection and the indigestible marker methods. *Can. J. Anim. Sci.* 89:481-487.
- Montoya, C. A., and P. Leterme. 2010. Validation of the net energy content of canola meal and full-fat canola seeds in growing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 90:213-219.

- NRC. 1998. Nutrient Requirements of Swine. 10th ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Pastuszezewska, B., G. Jablecky, L. Buraczewska, P. Dakowski, M. Taciak, M. Matyjek, and A. Ochtabinska. 2003. The protein value of differently processed rapessed solvent meal and cake assessed by in vitro methods and in tests with rats. *Anim. Feed Sci. Technol.* 106:175-188.
- Rademacher, M., W. C. Sauer, and A. J. M. Jansman. 1999. Standardized ileal digestibility of amino acids in pigs. Degussa-Hulls AG Publication, Frankfurt, Germany.
- Sauer, W. C., H. Jorgensen, and R. Berzins. 1983. The modified nylon bag technique for determining apparent digestibilities of protein in feedstuff for pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 63:233–237.
- Seneviratne, R. W., E. Beltranena, R.W. Newkirk, L. A. Goonewardene and R. T. Zijlstra. 2011. Processing conditions affect nutrient digestibility of cold-pressed canola cake for grower pigs. *J. Anim. Sci.* 89. 2452-2461.
- Seneviratne, R. W., M. G. Young, E. Beltranena, L.A. Goonewardene, R. W. Newkirk and R. T. Zijlstra. 2010. The nutritional value of expeller-pressed canola meal for grower-finisher pigs. *J. Anim. Sci.* 88:2073-2083.
- 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.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597.

Weselake, R. J., S. Shan, M. Tang, P. A. Quant, C. L. Snyder, T. L. Furukawa, Stoffer, W. Zhu, D. C. Taylor, J. Zou, A. Kumar, L. Hall, A Laroche, G. Rakow, P. Raney, M. M. Moloney, and J. L. Harwood. 2008. Metabolic control analysis is helpful for informed genetic manipulation of oilseed rape (*Brassica napus*) to increase seed oil content. *J. Exp. Botany*. 59:3543-3549.