



11674

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN
Y DE LA SALUD ANIMAL

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE
DIGESTIBILIDAD ILEAL APARENTE DE PASTA
DE CANOLA Y PASTA DE CANOLA PELETIZADA
EN LECHONES RECIÉN DESTETADOS Y
CERDOS EN CRECIMIENTO.

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
CIENCIAS EN EL ÁREA DE NUTRICIÓN ANIMAL

PRESENTA:

JAIME EDUARDO PARRA SUESCÚN

ASESOR: GERARDO MARISCAL LANDÍN

AJUCHITLÁN, COLÓN, QUERÉTARO, MÉX. 2003



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO DE EXAMEN

PRESIDENTE: Dr. JOSÉ ANTONIO CUARÓN IBARGÜENGOYTIA

VOCAL: Dr. CARLOS G. VÁSQUEZ PELÁEZ

SECRETARIO: Dra. TERCIA CESARIA REIS DE SOUZA

PIMER SUPLENTE: M. C. ARACELI AGUILERA BARREIRO

SEGUNDO SUPLENTE: Dr. GERARDO MARISCAL LANDIN

DEDICATORIAS

Familia: GRACIAS por su apoyo incondicional, sin el cual no hubiera podido culminar esta gran meta y por tener puesta una esperanza en mí. Los quiero mucho.

Doctor Mariscal: Espero que todos los días siga siendo el mismo, ya que su paciencia, colaboración, comprensión y ganas de enseñar cada día forman mejores personas. Muchas gracias.

Lety : Tu colaboración y amistad incondicional durante toda mi estancia en el posgrado, me permitieron seguir adelante sin desanimarme, para poder llegar hasta este punto. Gracias de todo corazón.

Mariela: Gracias por haberme enseñado a tener paciencia y por haberme brindado tu maravillosa amistad, y espero que hayas aprendido algo de mí. Nunca te olvides de mí. Muchas gracias.

Nora, Juanita, Tere, Ariadna, Sonia, Celia: Espero que sigan siendo las mejores secretarias y amigas que cualquier estudiante pueda tener, gracias por brindarme su amistad y comprensión. Nunca se desanimen en su trabajo así algunas personas no valoren lo que hacen. Gracias y les deseo lo mejor.

Erika y don José: por su colaboración en todo lo relacionado con el laboratorio y por brindarme su amistad, muchas gracias.

Amigos de la UP: Espero que haya logrado marcar nuestra amistad y de todo corazón gracias por su comprensión, amistad, apoyo y cariño. Acuérdense que una amistad es para siempre y espero que siempre seamos amigos. Gracias familia y les deseo lo mejor de todo corazón y por favor no se desanimen.

Familias Peña Ávila y Rosas Velasco: gracias por brindarme desinteresadamente su hogar en tantas oportunidades y considerarme, como un hijo, hermano y amigo. Muchas gracias.

DEGEP: Gracias por su colaboración y apoyo económico.

A pesar de que estemos lejos siempre me voy a acordar de ustedes y espero volverlos a ver algún día.

AGRADECIMIENTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

DIRECCIÓN GENERAL DE ESTUDIOS DE POSGRADO

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES AGRÍCOLAS Y
PECUARIAS

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN FISIOLÓGÍA ANIMAL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

A MI ASESOR

AL HONORABLE JURADO

RESUMEN

Parra Suescún Jaime Eduardo. 2003. Determinación del Coeficiente de Digestibilidad Ileal Aparente de pasta de canola y pasta de canola peletizada en lechones recién destetados y cerdos en crecimiento

Para determinar los Coeficientes de Digestibilidad Ileal aparente de materia seca (CDIaMS), proteína (CDIaP) y aminoácidos (CDIaAA) en pasta de canola (Can) y pasta de canola peletizada (CanP), se realizaron dos experimentos: En el primero se determinaron en lechones, utilizando 27 lechones destetados a 17 días con 6.0 kg de peso, los cuales se canularon a los 21 días de edad; recolectando la digesta ileal durante los primeras dos semanas posdestete. Las dietas fueron: dieta control (DC) (100% caseína), DC + 10% Can, DC + 10% CanP. Se encontraron diferencias ($P < 0.05$) en los CDIaMS y CDIaP de las dietas. No existieron diferencias ($P > 0.05$) entre semanas (periodos de muestreo). Se encontraron diferencias ($P < 0.05$) en los CDIaMS, CDIaP, Lisina, Metionina y Treonina entre canolas, siendo mayores para la CanP. Se determinó la actividad total de Tripsina, Quimotripsina, Carboxipeptidasas A y B. La actividad de tripsina y Carboxipeptidasas A y B fueron diferentes ($P < 0.05$) entre tratamientos. Entre canolas se presentaron diferencias ($P < 0.05$) en la actividad de tripsina y Carboxipeptidasa B. En el experimento 2 se determinaron en cerdos en crecimiento: utilizando 9 animales de 45.5 kg, canulados a los 40 kg. Las dietas experimentales fueron: DC (100% caseína), DC + Can (30% de la dieta), DC + CanP (30% de la dieta). Se encontraron diferencias ($P < 0.05$) en los CDIaMS y CDIaP de las dietas. No se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en los CDIaMS, CDIaP, Lisina, Metionina y Treonina entre pastas de canola. Se determinó la actividad total de Tripsina, Quimotripsina, Carboxipeptidasas A y B. La actividad de la tripsina y Carboxipeptidasas A y B fueron diferentes ($P < 0.05$) entre

tratamientos. Entre canolas se presentaron diferencias ($P < 0.05$) en la actividad de tripsina y Carboxipeptidasa A.

INDICE

Jurado de Examen.....	I
Dedicatorias.....	II
Agradecimientos.....	III
Resumen.....	IV
Introducción.....	1
Revisión de Literatura.....	3
Hipótesis y Objetivos.....	19
Material y Métodos.....	20
Resultados.....	37
Discusión.....	47
Conclusiones.....	54

Implicaciones..... 55

Bibliografía..... 56

LISTA DE CUADROS

	Pag.
1. Componentes de carbohidratos en la pasta de canola y azúcares presentes en los Polisacáridos no Amiláceos (PNA).	5
2. Composición química de la pasta de canola y pasta de soya.	8
3. Influencia de la edad del lechón en la actividad enzimática (μmol sustrato hidrolizado / min).	10
4. Composición de las dietas experimentales para lechones (g / kg de alimento).	21
5. Composición química de las materias primas (g / kg de alimento).	22
6. Composición química de las dietas experimentales para lechones (g / kg de alimento).	23
7. Composición de las dietas experimentales para cerdos en crecimiento (g / kg de alimento).	29
8. Composición química de las dietas experimentales para cerdos en crecimiento (g / kg de alimento).	31
9. Promedios generales para digestibilidad ileal aparente (%) de la materia seca y aparente y estandarizada de la proteína de las dietas experimentales en lechones.	37
10. Promedios generales para digestibilidad ileal aparente (%) de aminoácidos de las dietas experimentales en lechones.	38
11. Promedios generales para digestibilidad ileal aparente (%) de proteína y aminoácidos de las materias primas en lechones.	40
12. Promedios para actividad total (UI/g de páncreas) de las enzimas pancreáticas en lechones alimentados con diferentes dietas.	41
13. Promedios generales para digestibilidad ileal aparente (%) de la materia seca y aparente y estandarizada de proteína de las dietas experimentales en cerdos en crecimiento.	42

14. Promedios generales para digestibilidad ileal aparente (%) de aminoácidos de las dietas experimentales en cerdos en crecimiento.	43
15. Promedios generales para digestibilidad ileal aparente (%) de proteína y aminoácidos de las materias primas en cerdos en crecimiento.	44
16. Promedios para actividad total (UI/g de páncreas) de las enzimas pancreáticas en cerdos en crecimiento alimentados con diferentes dietas.	45

LISTA DE FIGURAS

1. Esquema del procedimiento experimental (experimento 1).	Pag. 25
2. Esquema del procedimiento experimental (experimento 2).	30

1. INTRODUCCIÓN.

En los últimos 50 años, el destete ha sido disminuido de 10-12 semanas a 3-5 semanas de edad. Esta práctica se ha popularizado por ser una ventaja económica. Sin embargo, a la industria porcícola le representa problemas a nivel de manejo, ya que el lechón recién nacido y hasta la tercera semana de vida es un animal inmaduro dependiente de la madre. Las primeras semanas después del destete han sido catalogadas como una fase crítica en el desarrollo gastrointestinal del lechón, ya que éste es sometido a un estrés no nutricional resultante de la separación abrupta de la madre y al cambio de ambiente. Al mismo tiempo, son sometidos a un estrés nutricional ocasionado por el cambio de la forma física del alimento, pues pasan de consumir leche, alimento altamente digestible y muy bien adaptado a las enzimas presentes en el tubo digestivo, a un alimento sólido de menor digestibilidad, no siempre adecuado a las necesidades de un aparato digestivo todavía inmaduro. Además, el lechón no tiene su sistema inmunológico totalmente desarrollado, siendo más sensible a infecciones, que traen como consecuencia la aparición de problemas nutricionales y fisiológicos, capaces de perturbar la función normal del aparato digestivo y promover la aparición de diarreas.

Debido a lo anterior, se ha creado la necesidad de elaborar alimentos económicamente viables y aptos para animales fisiológicamente inmaduros, que faciliten la transición de una dieta láctea a una dieta sólida, lo cual permitiría que el lechón utilizara al máximo este alimento. Algunas leguminosas como la canola, no son comúnmente incluidas en dietas para lechones destetados a pesar de tener un buen perfil de aminoácidos. Esto puede ser debido a que este producto ha sido recomendado para animales fisiológicamente maduros ya que contiene fibra y factores antinutricionales (taninos y glucosinolatos). Estos componentes pueden disminuir la digestibilidad y absorción de los nutrientes, por lo que se presentaría una pérdida de peso en el período posdestete.

La peletización de la pasta de canola, probablemente le confiera un mejor valor nutritivo al generar un producto más aprovechable y menos agresivo al intestino, debido a la destrucción de los factores antinutricionales y a la inactivación de la enzima mirosinasa, que descompone los glucosinolatos en sus metabolitos tóxicos. Al mismo tiempo, el proceso de peletizado reduce los gastos de transporte al aumentar la densidad física de la pasta.

Por lo anterior este trabajo tuvo como objetivo determinar los coeficientes de digestibilidad de las pasta de canola (peletizada o sin peletizar) en lechones y cerdos en crecimiento; lo que contribuirá a la formulación de alimentos balanceados, con base a valores de digestibilidad adecuados y confiables en lechones recién destetados.

2. REVISION DE LITERATURA.

2.1. CANOLA.

La canola se desarrolló a partir de la colza (*Brassica napus* y *Brassica campestris/napa*) mediante técnicas estándares de mejoramiento de semillas, con el fin de obtener menores niveles de ácido eurúxico (menor al 2%) en la porción aceitosa y bajos niveles de glucosinolatos (menor a 30 $\mu\text{mol/g}$) en la porción de pasta. La semilla de canola es pequeña y redonda, 1-2 mm de diámetro. La canola contiene aproximadamente de 42 a 43% de aceite, que se extrae para usarse como aceite vegetal comestible de primera calidad. La parte restante es la pasta de canola, la cual se usa ampliamente como fuente de proteína en los alimentos balanceados. En los últimos 10 años el contenido de glucosinolatos en la pasta de canola se ha reducido sustancialmente. Por su menor contenido de energía y por su perfil de aminoácidos, la pasta de canola es de menor valor nutritivo (y por tanto comercial) que la pasta de soya, aunque el contenido de energía de la pasta puede estar influenciado por el contenido de fibra, proteína y aceite (Bell, 1993a).

2.1.1. Composición de nutrientes de la pasta de canola.

2.1.1.1. Proteína y aminoácidos.

Cuando se extrae el aceite de la semilla de canola, la pasta de canola queda con un porcentaje alto de proteína cruda (35-40%) y con un buen balance de aminoácidos comparado con el de la pasta de soya (Näsi y Siljander-Rasi, 1991). La pasta de canola tiene un buen perfil de aminoácidos para la alimentación de animales y su contenido varía según el contenido de proteína cruda. Al igual que muchas fuentes de aceite vegetal, la pasta de canola tiene un menor contenido de proteína cruda (9 a 13 unidades porcentuales) que la pasta de soya, además tiene un menor contenido de lisina, aunque la concentración relativa de aminoácidos

azufrados (metionina + cisteína) es mayor en la pasta de canola que en la pasta de soya (Castell y Cliplef, 1993).

2.1.1.2. Carbohidratos y fibra.

En la pasta de canola la matriz de carbohidratos es bastante compleja y el nivel de almidón, azúcares libres y polisacáridos no amiláceos, alcanza un total del 15%. Esto debe resultar en un aporte significativo a la energía digerible. Sin embargo, parece ser que estos carbohidratos están protegidos por paredes celulares y que su aporte real a la energía digestible es modesta. El porcentaje de fibra cruda en la pasta de canola es mayor que el que se encuentra en la pasta de soya, esto es debido a que a la cascarilla de la semilla de canola se queda en la pasta y es una proporción relativamente alta de la semilla, representado cerca del 16% del peso de la semilla y aproximadamente el 30% de la pasta de canola (Bell, 1993a). La cáscara de la semilla de canola contiene cerca de 20% de celulosa, 23% de lignina, 9% de pectina, 20% de proteína y 5% de cenizas, pero posee muy poca cantidad de carbohidratos y lípidos. La fibra insoluble tiende a incrementar el tiempo de tránsito y forma un capa aislante sobre los nutrientes digeribles, reduciendo el aporte de nutrientes. La fibra soluble (pectina) disminuye el tiempo de tránsito, pero sus características de gelificación e intercambio de iones retardan la digestión y absorción (Näsi y Siljander-Rasi, 1991). La pasta de canola contiene el doble de fibra que la pasta de soya, por tanto, al ser comparadas se puede apreciar en la pasta de canola una menor cantidad de energía digestible (2.6 vs. 3.4 Mcal/kg), estos bajos valores de energía digestible y por ende de energía metabolizable de la pasta de canola se deben a los altos contenidos de fibra (Cuadro 1).

2.1.1.3. Minerales y Vitaminas.

La pasta de canola es una fuente relativamente buena de minerales esenciales, en comparación con las otras pastas de oleaginosas. Es una fuente especialmente buena de selenio y fósforo, más que la pasta de soya (Cuadro 2) (Bell y Keith, 1991; NRC, 1998). Al igual que otras fuentes vegetales de fósforo, este se encuentra como fitato. Se estima que la biodisponibilidad de este fósforo es del 30-50% (Bell et al., 1999). La pasta de canola tiene altos niveles de vitaminas cuando es comparada con la pasta de soya (Bell, 1993a; NRC, 1998).

Cuadro 1.
Componentes de carbohidratos en la pasta de canola y azúcares presentes en los Polisacáridos no amiláceos (PNA).

Componentes	%	Componentes	%
Fibra Cruda (%)	12.0	Azúcares de PNA	
Fibra Detergente Ácido (%)	7.2	Ramnosa	0.2
Fibra Detergente Neutro (%)	21.2	Fucosa	0.2
Celulosa	4.9	Arabinosa	4.5
Oligosacáridos	2.5	Xilosa	1.6
Sucrosa	7.7	Manosa	0.4
Almidón	2.5	Galactosa	1.7
PNA	17.9	Glucosa	5.0
PNA solubles	1.5		
PNA insolubles	16.4		

(Bell, 1993a)

2.1.1.4. Aceite.

El aceite de la semilla de canola se caracteriza por tener muy bajos niveles de ácidos grasos saturados, un alto nivel de ácidos grasos monoinsaturados (ácido Oleico) y un nivel intermedio de ácidos poliinsaturados, con un buen balance (2:1) entre ácidos grasos ω -6 (ácido linoléico) y ácidos grasos ω -3 (ácido Linolénico) (Leskanich *et al.*, 1997). El aceite de canola crudo contiene una

porción de material fosfolípido que se remueve durante el proceso de extracción por solvente. Este material se conoce comúnmente como “gomas”, las cuales se pueden agregar a la pasta para reducir lo polvoso de ésta y para aumentar su valor de energía metabolizable. El contenido de aceite de la pasta de canola es generalmente entre 1 y 2%.

2.1.2. Factores antinutricionales de la canola.

La pasta de canola posee algunos factores antinutricionales y constituyentes tóxicos los cuales restringen su utilización en la fabricación de alimentos balanceados.

2.1.2.1. Taninos.

Son compuestos polifenólicos de peso molecular y complejidad química variable. Los taninos se dividen en dos grupos: taninos condensados y taninos hidrolizables. Los taninos condensados resisten el ataque enzimático. Los taninos forman complejos estables con las proteínas y carbohidratos en los alimentos y con enzimas digestivas. Como consecuencia la digestibilidad de los nutrientes disminuye (Yu *et al.*, 1996). Otros efectos de los taninos incluyen la reducción del consumo, incrementan el daño en la pared intestinal, toxicidad y reducción en la absorción de algunos minerales (Liener, 1989). Los taninos están presentes en la pasta de canola en un rango de 1.5 a 3%. Se encuentran principalmente en la cáscara de la semilla y son más abundantes en las cáscaras de las semillas caféas que en las cáscaras amarillas (Bell, 1993a).

2.1.2.2. Ácido Fítico.

Este se encuentra en forma del anión fitato. El ácido fítico no puede ser hidrolizado por las enzimas intestinales de mamíferos y aves, por lo que el fósforo presente en

él, es de baja biodisponibilidad. El ácido fítico puede formar complejos con una gran variedad de minerales disminuyendo su disponibilidad, también puede formar complejos con residuos básicos de proteínas, interfiriendo con la actividad de las enzimas endógenas y la digestibilidad de nutrientes y minerales (Liener, 1989). Está presente en la pasta de canola entre un 3 y 6%. Se encuentra principalmente en el embrión de la semilla y reduce la absorción mineral en animales. El ácido fítico es el principal almacén de fósforo en la semilla y puede unirse con otros cationes como son Mg, Ca, Mn, Zn, y Cu (Bell, 1993a).

2.1.2.3. Glucosinolatos.

Son glucósidos de β -D-tioglucoosa. Los glucosinolatos se encuentran bien distribuidos entre los componentes de las plantas del género *Brassica*. Su máxima concentración es encontrada en el embrión de la semilla en plena madurez. Los glucosinolatos de la canola están compuestos de dos tipos principales, alifáticos e índol. Los glucosinolatos alifáticos son la forma predominante. Los glucosinolatos se descomponen en metabolitos tóxicos, que tienen una serie de efectos negativos en los animales: interfieren con la incorporación de yodo por parte de la glándula tiroides, suprimen la secreción de tiroxina y pueden actuar como antagonistas de la tiroxina en los tejidos. Además estos compuestos afectan el hígado ya que producen hiperplasia de los conductos biliares y necrosis hepática. Los glucosinolatos son hidrolizados por la enzima mirosinasa presente en semillas y plantas, aunque algunas bacterias en el tracto gastrointestinal pueden contribuir a su hidrólisis (Bell, 1993a). Esta hidrólisis produce glucosa y algunos compuestos goitrogénicos. La mejor forma de desactivación de la enzima mirosinasa es durante la etapa de cocción de la semilla de canola, aunque el calor excesivo durante el procesamiento puede dar como resultado la reducción de la digestibilidad de algunos aminoácidos, en particular lisina. La razón por la que los glucosinolatos se expresan en una base molecular ($\mu\text{mol /g}$) más que en una base de peso (mg/kg) es que tienen pesos moleculares significativamente distintos,

según el tamaño de su cadena lateral alifática. Además del efecto tóxico de los glucosinolatos, su sabor amargo provoca en muchos animales una reducción en la ingestión de alimentos y en la tasa de crecimiento.

Cuadro 2.
Composición química de la pasta de canola y pasta de soya.

Componentes	Pasta de canola ¹	Pasta de soya ²
Proteína (%)	38.3	48.1
Lisina (%)	2.08	2.83
Met + Cis (%)	1.65	1.31
Minerales		
Fósforo(%)	1.03	0.65
Calcio(%)	0.64	0.27
Magnesio(%)	0.52	0.27
Azufre(%)	0.86	0.43
Manganeso(µg / g)	50.1	29
Selenio(µg / g)	1.12	0.32
Zinc(µg / g)	69.4	50
Vitaminas(µg / g)		
Vitamina E	14,500	2,300
Niacina	160,000	34,000
Colina	6,700,000	2,794,000
Riboflavina	5,800	2,900
Biotina	1,007	270
Ácido Fólico	2,300	1,210

¹Bell, 1993a ; ²NRC, 1998

2.2. DESARROLLO DE LA CAPACIDAD DIGESTIVA.

2.2.1. Proceso de digestión y actividad enzimática.

2.2.1.1. Desarrollo de las enzimas pancreáticas.

El tipo y la cantidad de enzimas secretadas por el lechón durante la lactación, están perfectamente adaptadas para digerir la leche materna, el principal alimento durante este período. Al momento del destete, el tracto gastrointestinal pasa de una dieta líquida (leche) a un alimento sólido, generalmente de origen vegetal. La habilidad del lechón recién destetado para asimilar los nutrientes de dietas no basadas en leche, está comprometida por un retraso en la adaptación del tracto gastrointestinal para secretar las suficientes enzimas para soportar los procesos digestivos (Makkink y Verstegen, 1990). En respuesta a estos cambios, el tracto gastrointestinal de animales sanos pasa por marcados cambios en estructura y función (Xu, 1996; Pluske *et al.*, 1997). Algunos animales no se adaptan a estos cambios, presentando un reducido crecimiento, diarrea o muerte (Odle *et al.*, 1996). Sin embargo, los tres primeros días posdestete constituyen un período difícil para el lechón, ya que durante ese tiempo la actividad de las enzimas pancreáticas no es suficiente para digerir la proteína (Makkink *et al.*, 1994). En el lechón destetado, la principal actividad hidrolítica para digerir carbohidratos, proteínas y lípidos es proporcionada por el páncreas, órgano que muestra un cambio considerable en su contenido enzimático respecto a la secreción de amilasa, tripsina, quimotripsina, carboxipeptidasas y lipasa a medida que el lechón crece. Gran parte de estas enzimas están presentes en el páncreas del feto porcino, pero a un bajo nivel. Al momento del nacimiento el aparato enzimático del páncreas está prácticamente completo, pero la actividad enzimática es débil y estable. Así, en el proceso de desarrollo de la función digestiva que ocurre en su totalidad entre la segunda y cuarta semana de vida del lechón, el ofrecimiento de un alimento preiniciador desde el décimo día de vida del animal, inicia y amplifica

el fenómeno adaptativo de las secreciones enzimáticas (Reis de Souza y Mariscal, 1997).

2.2.1.2 Limitada secreción de enzimas digestivas.

El lechón esencialmente nace con la capacidad de secretar enzimas digestivas relacionadas con la digestión de la leche. Por tanto, posee altos niveles de lactasa, y suficiente lipasa y renina para digerir las grasas y proteínas de la leche. Según Jensen *et al.*, (1997), los niveles de las otras enzimas a las tres semanas de edad son alrededor del 50% menores que los niveles observados en la madurez digestiva (Cuadro 3).

Algunos estudios han mostrado una consistente depresión en los niveles de enzimas pancreáticas en lechones recién destetados comparados con lechones lactantes (Makkink *et al.*, 1994). Como consecuencia, cualquier ingrediente ofrecido al lechón recién destetado debe ser compatible con sus patrones de secreción enzimática.

Cuadro 3
Influencia de la edad del lechón en la actividad enzimática
(μmol sustrato hidrolizado / min).

Edad (días)	Tripsina	Quimotripsina	Amilasa
3	14.6	0.94	2076
7	22.0	3.52	14666
14	33.8	4.91	21916
21	32.1	6.99	26165
28*	55.6	9.49	65051
35	42.1	3.9	24730
42	150.0	7.79	54516
49	349.0	17.4	159516
56	515.0	14.3	182106

*Cerdos destetados a los 28 días
Fuente: Jensen et al., 1997

Esto significa que la ingestión de alimentos puede ser el principal factor que modula la síntesis y secreción de enzimas. Jensen *et al.* (1997) muestran un efecto negativo del destete debido a que ocasiona una disminución en la actividad total y específica de estas enzimas en la semana posterior a este. Probablemente es alrededor de la cuarta semana de vida del lechón en lactación, que el perfil de las enzimas digestivas puede adaptarse de forma eficiente a la composición del alimento. En el periodo posdestete hay una adaptación por parte del animal y de su aparato digestivo, particularmente sus secreciones, a una nueva fuente de proteínas y de hidratos de carbono.

2.3. DEFINICIÓN DE DIGESTIBILIDAD.

El valor nutricional de una ración, alimento o nutrimento puede ser expresado mediante el coeficiente de digestibilidad, que es la proporción del alimento que no es excretada y que se supone por tanto, ha sido absorbida (Reis de Souza y Mariscal, 1997). La digestibilidad de un alimento es siempre inferior al 100%, ya que durante la digestión y la absorción se producen pérdidas de nutrimentos.

La digestibilidad puede determinarse de cuatro maneras:

2.3.1. Digestibilidad Aparente.

Es evaluada a partir de la digesta ileal y/o heces, con este método no se conoce la proporción de la proteína proviene de la dieta o de la secreción de nitrógeno endógeno y solo nos permite asumir que cantidad del alimento fue asimilado por el animal. Las principales pérdidas de nitrógeno endógeno provienen de mucoproteínas, enzimas pancreáticas e intestinales, saliva, secreciones biliares y gástricas, y células descamadas de la mucosa intestinal (Souffrant, 1991), así como la proteína de origen bacteriano (Caine *et al.*, 1997).

2.3.2. Digestibilidad verdadera.

Es evaluada a nivel ileal y/o fecal, este método contempla la excreción de nitrógeno endógeno en sus cálculos, por lo cual nos da un valor más exacto de la digestión de algún alimento. Este método nos permite elaborar dietas en las cuales los requerimientos del alimento sean aportados de manera apropiada, además para el caso de la proteína, nos evitará suplir a los animales de manera excesiva o deficiente (Low, 1990).

2.3.3. Digestibilidad real.

Se obtiene cuando se utiliza el marcaje del nitrógeno endógeno con el isótopo pesado ^{15}N (de Lange et al., 1990).

2.3.4. Digestibilidad estandarizada.

Esta describe la transformación de los valores de digestibilidad ileal aparente de la proteína a valores de digestibilidad estandarizada, mediante la corrección por proteína no específica colectada en la digesta ileal (Mariscal-Landín, 1992).

2.4. TIPOS DE DIGESTIBILIDAD.

El tipo de digestibilidad está determinado por el sitio donde se colecte la muestra, pudiendo ser:

2.4.1. Digestibilidad fecal.

Es una técnica fácil de realizar que consiste en medir la diferencia entre la cantidad de cada nutrimento consumido y la cantidad excretada en las heces. Sin

embargo, esta técnica tiene el inconveniente de que la cantidad digestible de un alimento se ve afectada por las bacterias que se encuentran presentes en el intestino grueso, por lo que el perfil de aminoácidos es muy diferente al colectado a nivel ileal (Ciria, 1995).

2.4.2. Digestibilidad ileal.

La digestibilidad ileal, tiene como finalidad incrementar la exactitud en la determinación del aporte de los nutrimentos, y por tanto de eficientar la formulación de raciones para animales domésticos. Se determina mediante la colecta de la digesta ileal antes de atravesar la válvula ileo-cecal. El uso de la técnica de digestibilidad ileal en lugar de la digestibilidad fecal permite medir la digestibilidad de origen enzimático que se lleva a cabo en el intestino delgado (Williams, 1995).

2.5. TÉCNICAS DE COLECTA DE DIGESTA ILEAL.

Hay una variedad de técnicas disponibles por los cuales puede ser colectada la digesta del íleon terminal de los animales.

2.5.1. Técnica de sacrificio.

Es la más antigua y simple que ha sido empleada en la determinación de la digestibilidad. Esta técnica presenta algunas desventajas, debido a que solo se puede obtener una muestra de digesta por animal. Es muy complicado obtener muestras adecuadas de dietas altamente digestibles, no es posible obtener muestras adecuadas de heces para estudios de digestibilidad de energía, lo que conlleva a una utilización de un mayor número de animales para su determinación. Además, se corre el riesgo de que la muestra de digesta a colectar sea

contaminada por un mayor número de células de la mucosa intestinal que pueden desprenderse al momento del sacrificio (Low, 1980).

2.5.2. Técnica de Anastomosis.

La más comúnmente usada es la anastomosis ileorectal, por la cual se remueve el ciego quirúrgicamente, dejando la válvula íleo-cecal intacta. La mayor ventaja de esta técnica es que la digesta puede ser colectada en su totalidad vía anal, lo cual elimina la utilización de un marcador en la dieta. Además no presenta problemas con el bloqueo o escape de la digesta como ocurre con algunos métodos de canulación (Köhler *et al.*, 1992).

2.5.3. Técnicas de canulación.

2.5.3.1. Cánula simple en "T".

Consiste en insertar una cánula simple en "T" en el ileon terminal, aproximadamente a 15 cm antes de la válvula ileo-cecal (Imbeah *et al.*, 1993). Esta técnica tiene la ventaja de que su cirugía es relativamente simple, las recolecciones se pueden hacer durante un largo período de tiempo, se pueden hacer muestreos fecales y es posible utilizar el mismo animal para más de una colecta. La desventaja que presenta esta técnica es el escape de digesta alrededor de la base de la cánula, lo cual causa incomodidad al animal y eventualmente resulta en la terminación de las colectas. La cánula simple en "T" no permite la obtención completa de la digesta, por lo que requiere el uso de un marcador indigestible en la dieta. Si la digesta es constantemente recolectada a través de la cánula, se puede recobrar de un 60 a 95% (Butts *et al.*, 1993). Además el tubo de la cánula puede estar propenso a bloqueos con material fibroso en el caso de dietas altamente fibrosas.

2.5.3.2 Cánula re-entrante.

Esta técnica tiene la finalidad de permitir la recolección total del contenido ileal, evitando así la utilización de marcadores. Con este método, el ileon terminal es seccionado 15-20 cm de la unión íleo-cecal, y las dos partes finales son selladas. Una cánula "T" es insertada en el ileon final intacto cerca de la parte sellada (cánula proximal) y la segunda cánula es insertada en el ciego cerca de la unión íleo-cecal (cánula distal). Las cánulas son conectadas a través de un tubo largo de plástico. El tubo es removido para el muestreo, y una colecta cuantitativa de digesta puede ser hecha (Easter y Tanskley, 1973) eliminando la necesidad de un marcador en la dieta. Debido a que esta técnica secciona completamente el intestino, tiene la desventaja de afectar los complejos mioeléctricos que producen el movimiento intestinal responsable del flujo normal de digesta. La digesta es impulsada a través de la cánula debido a la entrada de más digesta, por lo que el bloqueo es común con todas las dietas excepto aquellas que han sido finamente molidas. El bloqueo dependerá del nivel de fibra cruda, viscosidad de la dieta y cantidad de digesta que atraviesa la cánula (Sauer y Ozimek., 1986).

2.5.3.3. Cánula íleo-cecal postvalvular.

Esta consiste en remover aproximadamente dos tercios del ciego, con la inserción de una cánula en el ciego restante, opuesta a la válvula íleo-cecal (van Leeuwen *et al.*, 1991). La mayor ventaja de esta técnica es que permite la completa recolección de la digesta y no tiene efectos en la motilidad normal del íleon. Además el diámetro de la cánula es lo suficientemente amplio, evitando el bloqueo de esta, por tanto, no hay ninguna restricción en el tipo de dieta con la que se alimentan los animales.

2.6. METODOS PARA DETERMINAR LA DIGESTIBILIDAD.

Existen tres métodos que pueden ser empleados para determinar la digestibilidad de los alimentos, siendo estos:

2.6.1. Método directo.

El método directo es una técnica en el que la dieta ensayo es formulada de tal manera que el alimento a ensayar, es la única fuente de proteína y aminoácidos. Esta técnica se utiliza principalmente para determinar el coeficiente de digestibilidad de la proteína y de los aminoácidos, en aquellos alimentos que contienen altos niveles de proteína, es menos confiable para ingredientes de bajo contenido de proteína y aminoácidos, por la disminución que experimenta la digestibilidad de estos ingredientes, debido a un mayor peso específico de la excreción endógena (Fan y Sauer, 1995; Fan *et al.*, 1996). La Digestibilidad aparente se calcula de la siguiente manera (Fan *et al.*, 1996):

$$Da = 100\% - ((Md \times Nf)/(Nd \times Mf)) \times 100\%$$

Donde:

- Da: Digestibilidad aparente.
- Md: Concentración del marcador en la dieta (%).
- Nf: Concentración del nutrimento en la digesta ileal o heces (%).
- Nd: Concentración del nutrimento en la dieta (%).
- MF: Concentración del marcador en la digesta ileal o heces (%).

2.6.2. Método de la diferencia.

Este método consiste, en la formulación de una dieta basal, así como de una dieta a evaluar. La dieta basal contiene la fuente de proteína que se proporciona a los animales como única fuente de nitrógeno y aminoácidos; mientras que la dieta a evaluar está constituida de una mezcla de la dieta basal y del ingrediente a evaluar. Si no hay interacción, entre el valor de la digestibilidad de los aminoácidos de la dieta basal y del ingrediente a evaluar, la digestibilidad del ingrediente a evaluar puede ser obtenido por diferencia empleando la fórmula propuesta por Fan y Sauer (1995).

$$D_{dif} = (D_d - D_b * S_b) / S_a$$

Donde:

D_{dif} : Digestibilidad por diferencia.

D_d : Digestibilidad de un nutrimento en la dieta ensayo (%).

D_b : Digestibilidad de un nutrimento en la dieta basal (%).

S_b : Nivel de contribución de un nutrimento de la dieta basal en la dieta ensayo ($S_b = 1 - S_a$).

S_a : Nivel de contribución de un nutrimento a evaluar a la dieta ensayo.

2.6.3. Método de regresión.

Este método mide simultáneamente el valor de digestibilidad en una dieta basal y del alimento a evaluar. La dieta basal y el alimento a evaluar, son mezclados en varias proporciones conformando una serie de dietas ensayo. La relación entre el valor de digestibilidad del nutrimento en la dieta ensayo, el nivel de contribución del nutrimento desde la dieta basal y el alimento a evaluar a la serie de dietas ensayo, permitirá determinar el grado de digestibilidad (Fan y Sauer, 1995).

$$D_{reg} = D_a + (D_b - D_a) S_b$$

Donde:

D_{reg} : Digestibilidad por regresión de la dieta ensayo.

D_a : Digestibilidad de un nutrimento en la dieta ensayo (%).

D_b : Digestibilidad de un nutrimento en la dieta basal (%).

S_b : Nivel de contribución de un nutrimento de la dieta basal en la dieta ensayo.

3. HIPÓTESIS.

Los coeficientes de digestibilidad de la pasta de canola son afectados por el peletizado.

4. OBJETIVOS.

- Determinar los coeficientes de digestibilidad de la pasta de canola en lechones recién destetados.
- Evaluar el efecto del peletizado de la pasta de canola, sobre la digestibilidad de aminoácidos.

5. MATERIALES Y METODOS.

5.1. Localización.

El presente trabajo de investigación se realizó en la granja experimental del Centro Nacional de Investigación en Fisiología Animal (CENI-Fisiología), Del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Este centro se localiza en el kilómetro 1.5 de la carretera Ajuchitlán-Colón, Estado de Querétaro y está ubicado a 120° 00'00'' longitud oeste y a 20°43'00'' de latitud norte a una altura de 1950 msnm. El clima predominante de la zona es semiseco templado, con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 460 a 640 mm y una temperatura media anual de 14°C (Soria *et al.*, 1987).

Las pruebas de laboratorio se llevaron a cabo en el laboratorio de Nutrición del CENI-Fisiología y en el Laboratorio de Nutrición Animal de la licenciatura de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro.

5.2. EXPERIMENTO I.

5.2.1. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDAD ILEAL APARENTE DE LA PROTEÍNA Y AMINOÁCIDOS DE LA PASTA DE CANOLA EN LECHONES.

ANIMALES:

Se utilizaron 27 lechones resultado del cruce alterno Duroc*Landrace destetados a los 18 días de edad, los cuales a los 21 días fueron intervenidos quirúrgicamente para implantar una cánula simple en "T" en el íleon (Reis de Souza *et al.*, 2000).

A los 21 días de edad, los lechones se tranquilizaron con Sural (ozaperona 40mg / ml) a razón de 1ml / 20kg de peso, una vez tranquilizados, se les rasuró el flanco

derecho para luego ser anestesiados con Halothane aplicado a razón de 100ml / 2.0 Lt de oxígeno por minuto, iniciando así la cirugía para la colocación de una cánula simple en "T" a nivel del ileon terminal, aproximadamente a 10 cm de la válvula ileocecal (Reis de Souza *et al.*, 2000).

La cánula se fabricó en plástico rígido (nylamid), con una forma rectangular y conformada por un cuerpo con alas en semicírculo y con cuerda en la cara angosta del rectángulo, un émbolo en forma de tubo rectangular, rondana con rosca interna y tapón (Reis de Souza *et al.*, 2000).

La cánula se exteriorizó en el flanco derecho. Después de la cirugía los lechones se colocaron en jaulas metabólicas y recibieron tres alimentaciones diarias.

Cuadro 4.
Composición de las dietas experimentales para lechones (g / kg de alimento).

Ingrediente	Dieta		
	1	2	3
Almidón	554.0	495.3	495.3
Caseína	221.3	180.0	180.0
Pasta de canola	0	100	0
Pasta de canola peletizada	0	0	100
Lactosa	126.3	126.3	126.3
Aceite de maíz	40.0	40.0	40.0
Ortofosfato	37.1	37.1	37.1
Cloruro de sodio	6.3	6.3	6.3
Oxido de zinc	4.0	4.0	4.0
Oxido de cromo	3.0	3.0	3.0
Tylan	3.0	3.0	3.0
Vitaminas ^a	3.6	3.6	3.6
Minerales ^b	1.2	1.2	1.2
Anti-ox-hp	0.2	0.2	0.2

1. dieta de referencia (100% de la proteína provino de la caseína); 2. dieta de referencia + pasta de canola (10% de la dieta); 3. dieta de referencia + pasta de canola peletizada (10% de la dieta).

^aProporcionó por kg de alimento: vitamina A 1020 UI, vitamina D 198 UI, vitamina E 6 UI, vitamina K 1.20 mg, riboflavina 7.20 mg, vitamina B₁₂ 0.04 mg, colina 968.58 mg, niacina 36 mg, ácido pantoténico 16.55 mg, tiamina 30 mg, piridoxina 31 mg, biotina 0.08 mg, ácido fólico 0.75 mg.

^bComposición por kg de alimento: cobre 14.40 mg, hierro 120 mg, manganeso 36 mg, selenio 0.30 mg, yodo 0.96 mg, zinc 144 mg.

Cuadro 5.
Composición química de las materias primas (g / kg de alimento).

Nutriente	Materia Prima		
	Caseína	Pasta de Canola	Pasta de canola peletizada
Materia seca	904.1	929.3	934.2
Proteína cruda	903.7	377.6	377.6
Aminoácidos			
Indispensables			
Arginina	31.6	23.0	23.4
Histidina	21.8	8.7	8.7
Isoleucina	49.3	14.9	14.8
Lisina	60.4	19.9	20.0
Fenilalanina	43.9	15.9	16.2
Treonina	41.4	16.2	15.8
Valina	64.6	20.6	20.4
Leucina	83.8	27.0	27.6
Metionina	25.8	7.2	7.4
Dispensables			
Cistina	5.3	9.3	9.6
Alanina	25.8	16.6	17.0
Ácido Aspártico	63.8	27.9	28.2
Ácido Glutámico	208.0	70.5	71.0
Glicina	14.5	18.7	19.2
Prolina	92.4	26.5	26.9
Serina	48.1	14.2	13.9
Tirosina	47.9	10.2	10.7

TRATAMIENTOS:

Los tratamientos experimentales estuvieron constituidos por dietas con diferentes fuentes de proteína (Cuadro 4):

T1 dieta de referencia (100% de la proteína provino de la caseína).

T2 dieta de referencia + pasta de canola (10% de la dieta).

T3 dieta de referencia + pasta de canola peletizada (10% de la dieta).

Tanto los ingredientes antes mencionados (Cuadro 5.) como las dietas completas (Cuadro 6.) se analizaron para determinar materia seca y proteína cruda según

los métodos descritos en el AOAC (1990); y el contenido de aminoácidos se analizó por cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC).

Cuadro 6.
Composición química de las dietas experimentales para lechones (g / kg de alimento).

Nutriente	Dieta		
	1	2	3
Materia seca	906.0	902.0	901.0
Proteína cruda	203.5	207.3	205.0
Aminoácidos			
Indispensables			
Arginina	11.1	10.6	10.6
Histidina	5.5	5.3	5.3
Isoleucina	15.3	11.5	11.5
Lisina	13.4	11.5	11.5
Fenilalanina	11.0	8.1	8.1
Treonina	12.3	11.1	11.1
Valina	16.3	12.6	12.6
Leucina	24.4	18.5	18.5
Metionina	4.9	3.9	4.0
Dispensables			
Cistina	1.2	2.2	2.1
Alanina	9.1	7.8	7.8
Ácido Aspártico	20.0	15.3	15.3
Ácido Glutámico	60.2	49.7	49.7
Glicina	5.4	4.5	4.5
Prolina	31.4	17.1	17.1
Serina	13.7	10.9	10.9
Tirosina	12.0	10.8	10.8

1. dieta de referencia (100% de la proteína provino de la caseína); 2. dieta de referencia + pasta de canola (10% de la dieta); 3. dieta de referencia + pasta de canola peletizada (10% de la dieta).

La dieta de referencia contenía caseína como fuente de proteína; lactosa cristalina, almidón y aceite de maíz como fuentes de energía, además se fortificó con vitaminas y minerales. Las dietas experimentales se formularon sustituyendo parte de la proteína de la caseína de la dieta de referencia por la proteína de la

materia prima a evaluar. Como marcador de digestibilidad se adicionó 0.3% de óxido de cromo a todas las dietas.

Al momento del destete los lechones tuvieron tres días de adaptación (18-20) a las jaulas y al alimento sólido (leche entera en polvo + almidón de maíz, 80% y 20% respectivamente).

DISEÑO EXPERIMENTAL:

La colecta del contenido ileal se realizó individualmente durante 2 periodos experimentales constituidos cada uno por dos días consecutivos de colecta. El primer periodo consistió de siete días, donde los cinco primeros días se utilizaron para la recuperación de la operación y adaptación de los lechones a las dietas experimentales, en los días seis y siete se efectuó la colecta de digesta ileal del primer periodo; el segundo periodo de colecta se realizó los días 13-14 (Figura 1). En ambos días de colecta se realizaron seis recolecciones. La digesta se colectó en horas alternadas en bolsitas de plástico (6 cm x 8 cm) con dos ml de ácido clorhídrico 0.2 N (para evitar la proliferación bacteriana) ajustadas a la cánula con una liga.

El muestreo en los dos periodos se realizó como lo señalan Caine *et al.* (1997), las muestras de la digesta ileal se congelaron inmediatamente a -20°C , se liofilizaron y posteriormente se molieron en un molino Willey utilizando una malla de 0.4 mm para realizar los análisis de materia seca (MS) y proteína cruda (PC) según los métodos descritos en el AOAC (1990); óxido de cromo por el método de Fenton y Fenton (1979); el contenido de aminoácidos se analizó por de líquidos de alta resolución (HPLC).

Para estimar los coeficientes de digestibilidad ileal aparente de proteína, materia seca y aminoácidos de las dietas experimentales se utilizó el método directo (Fan *et al.*, 1996), mientras que los coeficientes de digestibilidad ileal aparente de proteína y aminoácidos de las materias primas se calcularon mediante el método de la diferencia (Fan y Sauer, 1995).

Figura 1.
Esquema del procedimiento experimental (experimento 1).

	Período Preliminar			Período Experimental			
Día de Vida	17	18-20	21	22-26	27-28	34-35	36
Acción	Destete	Adaptación Alimento	Canulación	Recuperación Canulación	1 ^{er} Muestreo ileal	2 ^{do} Muestreo ileal	Sacrificio

Los coeficientes de digestibilidad ileal estandarizada de proteína de las dietas experimentales se calcularon utilizando los valores de proteína endógena reportados por Aguilera *et al.* (2001) empleando la fórmula propuesta por Furuya y Kaji (1989)

$$CDV = CDA + (AAE / AAD)$$

Donde:

- CDV = Coeficiente de digestibilidad ileal verdadera.
 CDA = Coeficiente de digestibilidad ileal aparente de proteína.
 AAE = Concentración de proteína endógena (g/kg de materia seca).
 AAD = Concentración de proteína en la dieta (g/kg de materia seca).

DISEÑO ESTADÍSTICO:

El experimento se realizó según un diseño de parcelas divididas, donde los animales fueron aleatorizados a uno de tres tratamientos y cada tratamiento tuvo un total de 9 repeticiones.

El modelo estadístico al cual se le atribuyó el total de la variación se representa como:

$$Y_{ijklm} = \mu + B_i + T_j + A_{(j)k} + \delta_{(j)k} + P_l + TP_{jl} + E_{(ijkl)m}$$

Donde:

- Y_{ijklm} = Es la m-ésima observación aleatoria del coeficiente de digestibilidad ileal asociada al l-ésimo periodo en el k-ésimo animal dentro del j-ésimo tratamiento, en el i-ésimo bloque.
- μ = media general.
- B_i = efecto del i-ésimo bloque.
- T_j = efecto del j-ésimo tratamiento.
- $A_{(j)k}$ = efecto del k-ésimo animal anidado en el i-ésimo tratamiento.
- $\delta_{(j)k}$ = error de restricción asociado con el k-ésimo animal anidado en el i-ésimo tratamiento.
- P_l = efecto del l-ésimo periodo.
- TP_{il} = efecto de la interacción entre el j-ésimo tratamiento con el l-ésimo periodo.
- $E_{(ijkl)m}$ = error aleatorio NID $(0, \sigma^2)$.

El análisis estadístico fue desarrollado usando el procedimiento GLM del SAS (1990). Las diferencias entre tratamientos y períodos fueron determinadas por LS means (media de mínimos cuadrados); además se usó una prueba de Duncan para detectar significancia ($P < 0.5$).

5.2.2. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA.

DISEÑO EXPERIMENTAL:

Los animales utilizados en el experimento, al final del mismo fueron adormecidos con CO_2 y sacrificados al seccionárseles la yugular. Posteriormente se procedió a la apertura de la cavidad abdominal para la colecta de páncreas, el cual fue disecado y pesado. Las muestras de páncreas se congelaron inmediatamente en nitrógeno líquido y posteriormente se almacenaron en un ultracongelador a $-70^\circ C$

hasta realizar las determinaciones de laboratorio. Se midió la actividad de las proteasas pancreáticas: Tripsina (Reboud *et al.*, 1962), Quimotripsina (Bergmeyer, 1974), Carboxipeptidasa B (Folk *et al.*, 1960) y Carboxipeptidasa A (Bradshaw *et al.*, 1969).

DISEÑO ESTADÍSTICO:

En el experimento se utilizó el diseño estadístico de bloques al azar.

El modelo estadístico al cual se le atribuyó el total de la variación se representa como:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + \delta_{(i)} + T_j + BT_{ij} + E_{(ij)k}$$

Donde:

Y_{ijk} = Es la k-ésima observación aleatoria de secreciones digestivas asociada al j-ésimo tratamiento y al i-ésimo bloque.

μ = media general.

B_i = efecto del i-ésimo bloque.

$\delta_{(i)}$ = error de restricción asociado con el i-ésimo bloque.

T_j = efecto del j-ésimo tratamiento.

BT_{ij} = efecto de la interacción entre el i-ésimo bloque y el j-ésimo tratamiento.

$E_{(ij)k}$ = error aleatorio NID $(0, \sigma^2)$.

El análisis estadístico fue desarrollado usando el procedimiento GLM del SAS (1990). Las diferencias entre tratamientos fueron determinadas por LS means (media de mínimos cuadrados); además se usó una prueba de Duncan para detectar significancia ($P < 0.5$).

5.3. EXPERIMENTO II.

5.2.1. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDAD ILEAL APARENTE DE LA PROTEÍNA Y AMINOÁCIDOS DE LA PASTA DE CANOLA EN CERDOS EN CRECIMIENTO.

ANIMALES:

Se utilizaron 9 cerdos resultado del cruce alterno Duroc*Landrace de 20 ± 3 kg, los cuales se alojaron en corrales individuales hasta que alcanzaron 35 ± 5 kg de peso vivo, con la finalidad de adaptarlos al consumo y manejo intensivo. Los animales fueron intervenidos quirúrgicamente para implantar una cánula simple en "T" a nivel del íleon (Reis de Souza *et al.*, 2000).

Los animales se canularon a nivel de íleon posterior. La cánula utilizada se fabricó en plástico rígido (nylamid), con una forma circular y conformada por un cuerpo con alas en semicírculo, un émbolo en forma de tubo circular, rondana con rosca interna y tapón (Reis de Souza *et al.*, 2000).

La cánula implantada en los cerdos se exteriorizó en el flanco derecho. Después de la cirugía, los cerdos se dejaron en recuperación por un periodo de 21 días en jaulas metabólicas, alimentándolos dos veces al día a razón de 2.5 veces sus necesidades de energía de mantenimiento, el cual se estimó en $110 \text{ kcal ED/kg}^{0.75}$ (INRA, 1984) con una dieta normal de crecimiento, donde posteriormente se asignaron a uno de los tratamientos experimentales.

TRATAMIENTOS:

Los tratamientos experimentales estuvieron constituidos por dietas con diferentes fuentes de proteína (Cuadro 7):

T1: Dieta de referencia (100% de la proteína provino de la caseína).

T2: Dieta de referencia + pasta de canola (30% de la dieta).

T3: Dieta de referencia + pasta de canola peletizada (30% de la dieta).

Tanto los ingredientes antes mencionados (Cuadro 5.) como las dietas completas (Cuadro 8.) se analizaron para determinar materia seca y proteína cruda según los métodos descritos en el AOAC (1990); y el contenido de aminoácidos se analizó por cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC).

La dieta referencia contenía caseína como fuente de proteína; azúcar, almidón y aceite de maíz como fuentes de energía, además se fortificó con vitaminas y minerales. Las dietas experimentales se formularon sustituyendo parte de la proteína de la caseína de la dieta de referencia por la proteína de la materia prima a evaluar. Como marcador de digestibilidad se adicionó 0.3% de óxido de cromo a todas las dietas.

Cuadro 7.
Composición de las dietas experimentales para cerdos en crecimiento
(g / kg de alimento).

Ingrediente	Dieta		
	1	2	3
Almidón	692.8	517.8	517.8
Caseína	177.0	52.0	52.0
Pasta de canola	0	300.0	0
Pasta de canola peletizada	0	0	300.0
Azúcar	50.0	50.0	50.0
Aceite de maíz	40.0	40.0	40.0
Ortofosfato	4.8	4.8	4.8
Cloruro de sodio	3.0	3.0	3.0
Carbonato de calcio	6.2	6.2	6.2
Oxido de cromo	3.0	3.0	3.0
Vitaminas ^a	16.0	16.0	16.0
Minerales ^b	7.0	7.0	7.0
Anti-ox-hp*	0.2	0.2	0.2

1. dieta de referencia (100% de la proteína provino de la caseína); 2 dieta de referencia + pasta de canola (30% de la dieta); 3. dieta de referencia + pasta de canola peletizada (30% de la dieta).

^a Proporcionó por kg de alimento: vitamina A 640 UI, vitamina D 128 UI, vitamina E UI, vitamina K 0.80 mg, riboflavina 4.80 mg, vitamina B12 0.03 mg, colina 374.93 mg, niacina 24 mg, ácido pantoténico 11.04 mg.

^b Composición por kg de alimento: cobre 8.40 mg, hierro 70 mg, manganeso 21 mg, selenio 0.18 mg, yodo 0.56 mg, zinc 84 mg.

DISEÑO EXPERIMENTAL:

El experimento estuvo constituido por tres períodos, cada uno de ellos conformado por siete días y dividido en dos fases, una de adaptación a la dieta experimental con una duración de cinco días y la otra fase de dos días, requerida para realizar la colecta de la digesta ileal a través de la cánula (Figura 2.) como lo proponen Fan y Sauer (1995).

Las muestras se colectaron cada dos horas, con un tiempo de recolección de 24 horas, mediante bolsitas de plástico (10 cm x 14 cm) con 10 ml de ácido clorhídrico 0.2 N, ajustadas a la cánula con una liga.

Figura 2.
Esquema del procedimiento experimental (experimento 2).

	Período Preliminar		Período Experimental						
Día	1	2-21	22-26	27-28	29-33	34-35	36-40	41-42	43
Acción	Canulación	Recuperación	Adaptación Alimento	1 ^{er} Muestreo ileal	Adaptación Alimento	2 ^{do} Muestreo ileal	Adaptación Alimento	3 ^{er} Muestro ileal	Sacrificio

El muestreo en los dos periodos se realizó como lo señalan Caine *et al.* (1997), las muestras de la digesta ileal se congelaron inmediatamente a -20°C , se liofilizaron y posteriormente se molieron en un molino Willey utilizando una malla de 0.4 mm para realizar los análisis de materia seca (MS) y proteína cruda (PC) según los métodos descritos en el AOAC (1990), y óxido de cromo por el método de Fenton y Fenton (1979). El contenido de aminoácidos se analizó por cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC). Para estimar los coeficientes de digestibilidad ileal aparente de la proteína, materia seca y aminoácidos de las dietas experimentales se utilizó el método directo (Fan *et al.*, 1996), mientras que los coeficientes de digestibilidad ileal aparente de la proteína y aminoácidos (aa) de las materias primas se calcularon mediante el método de la diferencia (Fan y Sauer, 1995). Los coeficientes de digestibilidad ileal

Cuadro 8.
Composición química de las dietas experimentales para cerdos en crecimiento (g/kg de alimento).

Nutriente	Dieta		
	1	2	3
Materia seca	918.0	920.0	922.0
Proteína cruda	160.2	164.8	160.2
Aminoácidos			
Indispensables			
Arginina	6.1	8.8	9.0
Histidina	3.8	3.3	3.3
Isoleucina	8.6	7.4	7.6
Lisina	9.9	9.1	9.0
Fenilalanina	8.7	7.4	7.7
Treonina	7.0	6.9	7.1
Valina	11.4	10.2	10.1
Leucina	16.3	13.7	13.9
Metionina	4.1	2.8	2.8
Dispensables			
Cistina	1.2	3.5	3.3
Alanina	5.1	6.3	6.5
Ácido Aspártico	12.3	12.4	12.7
Ácido Glutámico	39.7	34.9	35.1
Glicina	3.0	5.9	6.1
Prolina	16.5	12.0	12.1
Serina	9.6	8.2	8.3
Tirosina	8.0	5.7	5.9

1. dieta de referencia (100% de la proteína provino de la caseína); 2 dieta de referencia + pasta de canola (30% de la dieta); 3. dieta de referencia + pasta de canola peletizada (30% de la dieta).

estandarizada de proteína de las dietas experimentales se calcularon utilizando los valores de proteína endógena reportados por Mariscal-Landín (1992) empleando la fórmula propuesta por Furuya y Kaji (1989)

$$CDV = CDA + (AAE / AAD)$$

Donde:

CDV	=	Coeficiente de digestibilidad ileal verdadera.
CDA	=	Coeficiente de digestibilidad ileal aparente de proteína.
AAE	=	Concentración de proteína endógena (g/kg de materia seca).
AAD	=	Concentración de proteína en la dieta (g/kg de materia seca).

DISEÑO ESTADÍSTICO:

El experimento se realizó según un diseño estadístico de un cuadrado latino de 3x3, replicado tres veces, donde los animales se aleatorizaron a uno de los tres tratamientos. Cada tratamiento tuvo un total de 9 repeticiones.

El modelo estadístico al cual se le atribuyó el total de la variación se presenta como:

$$Y_{ijklm} = \mu + C_i + \omega(i) + R_j + \delta(j) + L_{(i)} + \eta_{(k)} + T_l + E_{(ijkl)m}$$

Donde:

Y_{ijklm}	=	es la m-ésima observación aleatoria del coeficiente de digestibilidad ileal asociada al i-ésimo cuadro, j-ésimo renglón, k-ésima columna dentro del i-ésimo cuadro y l-ésimo tratamiento .
μ	=	media general.
C_i	=	efecto del i-ésimo cuadro.
$\omega(i)$	=	error de restricción de los tratamientos en el i-ésimo cuadro.
R_j	=	efecto del j-ésimo renglón.
$\delta(j)$	=	error de restricción de los tratamientos del j-ésimo renglón.
$L_{(i)}$	=	efecto de la k-ésima columna.
$\eta_{(k)}$	=	error de restricción de los tratamientos de la j-ésima

columna.

T_l = efecto del l-ésimo tratamiento.

$E_{(ijkl)m}$ = error experimental NID $(0, \sigma^2)$.

El análisis estadístico fue desarrollado usando el procedimiento GLM del SAS (1990). Las diferencias entre tratamientos fueron determinadas por LS means (media de mínimos cuadrados); además se usó una prueba de Duncan para detectar significancia ($P < 0.5$).

5.3.2. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA.

DISEÑO EXPERIMENTAL:

Los animales utilizados en el experimento, al final del tercer periodo experimental se adormecieron con CO_2 y fueron sacrificados seccionándoles la yugular. Posteriormente se procedió a la apertura de la cavidad abdominal para la colecta de páncreas, el cual fué disecado y pesado. Las muestras de páncreas se congelaron inmediatamente en nitrógeno líquido y luego se almacenaron en un ultracongelador a $-70^\circ C$ hasta realizar las determinaciones de laboratorio. Posteriormente se midió la actividad de las proteasas pancreáticas: Tripsina (Reboud *et al.*, 1962), Quimotripsina (Bergmeyer, 1974), Carboxipeptidasa B (Folk *et al.*, 1960) y Carboxipeptidasa A (Bradshaw *et al.*, 1969).

DISEÑO ESTADÍSTICO:

En el experimento se utilizó el diseño estadístico de bloques al azar.

El modelo estadístico al cual se le atribuyó el total de la variación se representa como:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + \delta_{(i)} + T_j + BT_{ij} + E_{(ij)k}$$

Donde:

- Y_{ijk} = Es la k-ésima observación aleatoria de secreciones digestivas asociada al j-ésimo tratamiento y al i-ésimo bloque.
- μ = media general.
- B_i = efecto del i-ésimo bloque.
- $\delta_{(i)}$ = error de restricción asociado con el i-ésimo bloque.
- T_j = efecto del j-ésimo tratamiento.
- BT_{ij} = efecto de la interacción entre el i-ésimo bloque y el j-ésimo tratamiento.
- $E_{(ij)k}$ = error aleatorio NID $(0, \sigma^2)$.

El análisis estadístico fue desarrollado usando el procedimiento GLM del SAS (1990). Las diferencias entre tratamientos fueron determinadas por LS means (media de mínimos cuadrados); además se usó una prueba de Duncan para detectar significancia ($P < 0.5$).

5.4. MANEJO Y PROCESAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA.

La materia prima usada para la elaboración de las dietas experimentales fue adquirida comercialmente. La semilla de canola provino del extranjero. El proceso de la semilla de canola para la obtención de la pasta incluyó los siguientes procesos:

5.4.1. Hojueleado de la semilla.

La semilla fue calentada a 35°C pasándola por secadoras, y por molinos de rodillos para romper la cascarilla. El objetivo de este proceso es romper el mayor

número de paredes celulares sin dañar la calidad del aceite. El hojueleado óptimo debe estar entre 0.3- 0.38mm.

5.4.2. Cocción de la semilla.

Este proceso se obtuvo pasando la semilla hojueleada por una serie de recipientes en forma de chimenea, calentada por vapor. Al principio de la cocción, la temperatura se aumentó rápidamente a 80-90°C. Este rápido calentamiento sirve para desactivar la enzima mirosinasa que está presente en la canola. El ciclo de cocción por lo regular dura de 15-20 minutos y las temperaturas van aproximadamente de 80-105°C, con una temperatura óptima de aproximadamente 88°C. Este proceso de cocción sirve para romper las paredes de las células que hayan resistido la ruptura mecánica, reducir la viscosidad y así promover la coalición de las gotas de aceite, aumentar la velocidad de difusión de la pasta aceitosa preparada y desnaturalizar las enzimas hidrolíticas.

5.4.3. Prensado.

Las hojuelas de la semilla de canola cocida se prensaron en una serie de prensas de tornillo continuo a baja presión o en expulsores. Al rotar, el eje presiona la pasta contra un ahogador ajustable, que constriñe parcialmente la descarga de la pasta que sale del extremo del barril. Este acción remueve la mayor parte del aceite al tiempo que evita un exceso de presión y temperatura. El objetivo de prensar es remover entre un 60-70% del contenido de aceite en la semilla.

5.4.4. Extracción por solvente.

La pasta prensada se sometió a un proceso de extracción por solventes para remover el aceite remanente. La pasta de los expulsores, contiene entre 14-20% de aceite. En la extracción por solventes se utiliza un hexano refinado. Luego la

pasta de canola fue depositada en el extractor que se inunda de solvente o miscela. Una serie de bombas rocía las miscelas encima de la pasta prensada y en cada etapa se usan miscelas graduadas, que ya contienen una proporción mayor de solvente en relación con el aceite. El solvente se cuele por gravedad, difundiéndose en los fragmentos de la pasta que además se satura. Esta pasta que sale del extractor, después de un lavado con solvente fresco, contiene aproximadamente el 1% de aceite.

5.4.5. Desolvetización y tostado.

Este proceso se realizó en una serie de compartimentos dentro de un desolventizador, aquí se saca la mayor parte del solvente mediante la inyección de chorros de vapor vivo. La separación y secado finales se logran en los compartimentos finales que se calientan entre 103-107°C. El tiempo total que se queda la pasta de canola en el desolventizador-tostador es de 20 minutos. La pasta sale libre de solventes y contiene aproximadamente 1% de residuos de aceite y entre 15-18% de humedad.

La pasta de canola en harina o en pelet fue la misma (ya que se tuvo cuidado de asegurar que las dos formas de canola fueran de un mismo lote), sólo que la última, se sometió al proceso de peleteización en las instalaciones de la Unión Ganadera Regional de Porcicultores del Estado de Guanajuato (UGRPEG), en Irapuato, Gto. antes de ser transportada al Centro de Investigación, donde fueron molidas en un molino de martillos, para ser incorporadas a las dietas experimentales. La muestra recibida para la fabricación de las dietas experimentales, se le analizó bromatológicamente.

6. RESULTADOS.

6.1. EXPERIMENTO 1.

6.1.1. Digestibilidad de las dietas experimentales.

Los animales se recuperaron rápidamente de la cirugía y permanecieron saludables. Al final del experimento los animales se sacrificaron y se verificó la ausencia de adhesiones y de anomalías intestinales.

Los promedios generales para digestibilidad ileal aparente de MS, PC y estandarizada de la PC de las dietas experimentales se presentan en el Cuadro 9.

Cuadro 9.
Promedios generales para digestibilidad ileal aparente (%) de la materia seca y aparente y estandarizada de la proteína de las dietas experimentales en lechones.

Nutriente	Dieta			Periodo		EEM
	1	2	3	1	2	
Digestibilidad Aparente						
Materia Seca	86.7 ^a	72.2 ^b	79.6 ^c	78.8	78.0	0.36
Proteína	86.9 ^a	75.5 ^b	82.5 ^c	81.1	80.7	0.25
Digestibilidad estandarizada						
Proteína	97.7 ^a	86.1 ^b	93.7 ^c	92.0	91.6	0.25

^{abc} Medias dentro de dietas con literales distintas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

EEM: error estándar de la media.

1. dieta de referencia (100% de la proteína provino de la caseína); 2 dieta de referencia + pasta de canola (30% de la dieta); 3. dieta de referencia + pasta de canola peletizada (30% de la dieta).

La digestibilidad aparente de la MS y PC y estandarizada de la PC fue mayor ($P < 0.05$) en la dieta que contenía solamente caseína. No se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) tanto en el efecto periodo como en la interacción periodo*tratamiento. Las dietas experimentales que contenían pasta de canola y pasta de canola peletizada, presentaron diferencias ($P < 0.05$) en la digestibilidad

aparente de la MS y PC y estandarizada de PC, siendo mayores para la dieta que contenían pasta de canola peletizada (79.6, 82.5 y 93.7 respectivamente).

Los promedios generales para digestibilidad ileal aparente de los aa de las dietas experimentales se presentan en el Cuadro 10. La digestibilidad aparente de los aa fue mayor ($P < 0.05$) en la dieta que contenía caseína como única fuente de proteína.

Cuadro 10.
Promedios generales para digestibilidad ileal aparente (%) de aminoácidos de las dietas experimentales en lechones.

Nutriente	Dieta			Periodo		EEM
	1	2	3	1	2	
Aminoácidos						
Indispensables						
Arginina	92.3 ^a	75.0 ^b	82.7 ^c	82.0	81.9	0.31
Histidina	94.3 ^a	77.2 ^b	84.2 ^c	83.8	83.8	0.31
Isoleucina	92.5 ^a	76.5 ^b	83.4 ^c	82.8	82.8	0.31
Lisina	94.7 ^a	78.5 ^b	85.3 ^c	85.3	84.2	0.31
Fenilalanina	92.9 ^a	75.7 ^b	82.8 ^c	82.4	82.3	0.25
Treonina	90.1 ^a	74.0 ^b	81.4 ^c	81.1	80.0	0.37
Valina	92.0 ^a	75.5 ^b	81.7 ^c	81.9	81.3	0.31
Leucina	94.1 ^a	78.7 ^b	84.9 ^c	85.0	84.1	0.25
Metionina	93.5 ^a	71.9 ^b	84.7 ^c	83.8 ^A	80.0 ^B	0.44
Dispensables						
Cistina	92.2 ^a	74.1 ^b	79.8 ^c	80.6	79.9	0.37
Alanina	90.7 ^a	73.1 ^b	82.4 ^c	81.3	80.3	0.31
Ácido Aspártico	91.4 ^a	77.9 ^b	83.6 ^c	83.2	83.1	0.18
Ácido Glutámico	93.6 ^a	76.9 ^b	84.8 ^c	84.0	83.6	0.25
Glicina	90.4 ^a	75.6 ^b	83.0 ^c	82.8 ^A	80.9 ^B	0.41
Prolina	94.5 ^a	76.2 ^b	84.1 ^c	84.0	83.5	0.25
Serina	91.1 ^a	73.9 ^b	81.4 ^c	81.3 ^A	80.0 ^B	0.25
Tirosina	95.1 ^a	79.3 ^b	85.9 ^c	85.6	85.3	0.25

^{abc} Medias dentro de dietas con diferentes literales son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

^{AB} Medias dentro de periodos con diferentes literales son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

EEM = error estándar de la media.

1. dieta de referencia (100% de la proteína provino de la caseína); 2 dieta de referencia + pasta de canola (10% de la dieta); 3. dieta de referencia + pasta de canola peletizada (10% de la dieta).

Entre las digestibilidades aparentes de los aa de las dietas que contenían los dos tipos de canola se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$). De los aa indispensables, la metionina presenta la mayor variación en los valores de digestibilidad (17.8%). Similarmente, la alanina presentó la mayor variación (12.7%) en los valores de digestibilidad de los A.A. dispensables. La digestibilidad ileal aparente de los aa serina, metionina y glicina presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) entre periodos. Los valores de digestibilidad aparente de estos aa disminuyen del período 1 (81.3, 83.8 y 82.8) al período 2 (80.0, 80.0 y 80.9, respectivamente), sin encontrarse diferencias significativas ($P > 0.05$) en la interacción.

6.1.2. Digestibilidad de la pasta de canola.

Los promedios de digestibilidad de la PC. y aa de las materias primas por el método de la diferencia se presenta en el Cuadro 11. Se presentaron diferencias ($P < 0.05$) significativas entre las digestibilidades aparentes de la PC de los dos tipos de canola. La digestibilidad de la PC. varió de 73.0 a 81.6 entre la pasta de canola y la pasta de canola peletizada respectivamente. Se presentaron diferencias ($P < 0.05$) significativas entre las digestibilidades aparentes en los aa en los dos tipos de canola. De los aa indispensables, la metionina presenta la mayor variación en los valores de digestibilidad (17.8%). Similarmente, la glicina presentó la mayor variación (20.2%) en los valores de digestibilidad de los aa dispensables. En la pasta de canola peletizada la digestibilidad ileal aparente de los aa limitantes como es el caso de lisina, treonina y metionina aumentaron significativamente en un 10.9, 12.2 y 17.8% respectivamente. La digestibilidad aparente de lisina, leucina, metionina y serina disminuyó 2.15, 1.8, 5.5 y 2% respectivamente entre el periodo 1 y el 2. No se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) en la interacción periodo*tratamiento.

Cuadro 11.
Promedios generales para digestibilidad ileal aparente (%) de proteína y aminoácidos de las materias primas en lechones.

Nutriente	Materia Prima			Periodo		EEM
	Caseína	Pasta de canola	Pasta de canola peletizada	1	2	
Proteína	86.9 ^a	73.0 ^b	81.6 ^c	79.9	79.3	0.25
Aminoácidos						
Indispensables						
Arginina	92.3 ^a	70.3 ^b	79.9 ^c	79.1	79.3	0.31
Histidina	94.3 ^a	73.9 ^b	82.2 ^c	81.8	81.6	0.37
Isoleucina	92.5 ^a	74.1 ^b	82.0 ^c	81.5	81.2	0.31
Lisina	94.7 ^a	75.0 ^b	83.2 ^c	83.5 ^A	81.7 ^B	0.31
Fenilalanina	92.9 ^a	71.4 ^b	80.2 ^c	79.8	79.5	0.31
Treonina	90.1 ^a	71.3 ^b	80.0 ^c	79.5	78.3	0.37
Valina	92.0 ^a	72.2 ^b	79.6 ^c	79.9	79.0	0.43
Leucina	94.1 ^a	76.1 ^b	83.2 ^c	83.6 ^A	82.1 ^B	0.31
Metionina	93.5 ^a	69.6 ^b	82.0 ^c	82.1 ^A	77.6 ^B	0.85
Dispensables						
Cistina	92.2 ^a	59.2 ^b	69.1 ^c	71.1	69.3	0.68
Alanina	90.7 ^a	69.2 ^b	80.1 ^c	78.7	77.3	0.37
Ácido Aspártico	91.4 ^a	74.8 ^b	81.7 ^c	81.3	81.2	0.18
Ácido Glutámico	93.6 ^a	74.1 ^b	83.3 ^c	82.5	81.7	0.25
Glicina	90.4 ^a	64.7 ^b	77.8 ^c	76.3	75.1	0.69
Prolina	94.5 ^a	72.8 ^b	82.5 ^c	81.9	81.0	0.34
Serina	91.1 ^a	71.3 ^b	80.5 ^c	79.9 ^A	78.3 ^B	0.25
Tirosina	95.1 ^a	77.6 ^b	84.8 ^c	84.5	84.3	0.30

^{abc} Medias dentro de materia primas con literales distintas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

^{AB} Medias dentro de periodos con diferentes literales son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).
EEM = error estándar de la media.

6.1.3. Determinación de la actividad enzimática.

Los promedios de la actividad enzimática total de la tripsina, carboxipeptidasa A, carboxipeptidasa B y quimotripsina se presentan en el Cuadro 12.

Para el caso de la tripsina se presentaron diferencias entre tratamientos ($P < 0.05$). La actividad enzimática total de la tripsina fue menor ($P < 0.05$) en la dieta que contenía caseína (2322 UI/g de páncreas). Entre la pasta de canola y la pasta

de canola peletizada se presentaron diferencias ($P < 0.05$), siendo los animales del tratamiento 2 los que presentaron la mayor actividad total (3025 UI/g de páncreas).

La actividad total de la Carboxipeptidasa B fue menor en la dieta que contenía solamente caseína (7395 UI/g de páncreas). No se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre el tratamiento 1 y 3 (7166 y 7936 UI/g de páncreas, respectivamente). Las dietas experimentales que contenían pasta de canola y pasta de canola peletizada, presentaron diferencias ($P < 0.05$) significativas, siendo mayor la actividad total para la dieta que contenía pasta de canola (11100 UI/g de páncreas).

Cuadro 12.
Promedios para actividad total (UI/g de páncreas) de las enzimas pancreáticas en lechones alimentados con diferentes dietas.

Enzima	Dieta			EEM
	1	2	3	
En Páncreas (UI/g de tejido) ⁵				
Tripsina ¹	2322 ^a	3025 ^b	2634 ^c	54.3
Carboxipeptidasa B ²	7166 ^a	11100 ^b	7936 ^a	213.7
Carboxipeptidasa A ³	5840 ^a	7324 ^b	6968 ^b	105.0
Quimotripsina ⁴	97125	97095	9750	1101.3

^{abc} Medias dentro de dietas con literales distintas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

EEM = error estándar de la media.

1. dieta de referencia (100% de la proteína provino de la caseína); 2 dieta de referencia + pasta de canola (10% de la dieta); 3. dieta de referencia + pasta de canola peletizada (10% de la dieta).

¹ UI Tripsina = Micromoles de arginina hidrolizada por minuto.

² UI Carboxipeptidasa A = Micromoles de fenilalanina hidrolizada por minuto.

³ UI Carboxipeptidasa B = Micromoles de arginina o lisina hidrolizada por minuto.

⁴ UI Quimotripsina = Micromoles de tirosina hidrolizada por minuto.

⁵ UI/g = Unidades Internacionales por gramo de páncreas.

La actividad total de la Carboxipeptidasa A se presenta en el Cuadro 12. Se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos. La actividad total de la Carboxipeptidasa A fue menor ($P < 0.05$) en la dieta que contenía solamente caseína (5840 UI/g de páncreas). Las dietas experimentales que

contenían pasta de canola y pasta de canola peletizada, no presentaron diferencias ($P > 0.05$) significativas en la actividad total (7324 y 6968 UI/g de páncreas, respectivamente).

La actividad total de la quimotripsina se presenta en el Cuadro 12. No se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre el tratamientos.

6.2. EXPERIMENTO 2.

6.2.1 Digestibilidad de las dietas experimentales.

Los animales se recuperaron rápidamente de la cirugía y permanecieron saludables; el consumo de alimento se normalizó dentro de los tres días posteriores a la cirugía. Sin embargo, uno de los animales tuvo que ser eliminado de un periodo, debido a que no consumió alimento experimental durante los días de muestreo. Los animales al final del experimento no presentaron adhesiones ni anomalías intestinales.

Cuadro 13.

Promedios generales para digestibilidad ileal aparente (%) de la materia seca y aparente y estandarizada de proteína de las dietas experimentales en cerdos en crecimiento.

Nutriente	Dieta			EEM
	1	2	3	
Digestibilidad Aparente				
Materia Seca	93.8 ^a	85.3 ^b	85.7 ^b	0.40
Proteína	89.1 ^a	83.9 ^b	83.7 ^b	0.55
Digestibilidad Estandarizada				
Proteína	95.7 ^a	90.3 ^b	90.3 ^b	0.55

^{abc} Medias dentro de dietas con literales distintas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

EEM = error estándar de la media.

1. dieta de referencia (100% de la proteína provino de la caseína); 2 dieta de referencia + pasta de canola (30% de la dieta); 3. dieta de referencia + pasta de canola peletizada (30% de la dieta).

Los promedios generales para digestibilidad ileal aparente de MS, PC y estandarizada de la PC de las dietas experimentales se presentan en el Cuadro 13. La digestibilidad aparente de la MS y PC y estandarizada de la PC fue mayor ($P < 0.05$) en la dieta que contenía caseína.

Cuadro 14.
Promedios generales para digestibilidad ileal aparente (%) de aminoácidos de las dietas experimentales en cerdos en crecimiento.

Nutriente	Dieta			EEM
	1	2	3	
Aminoácidos				
Indispensables				
Arginina	91.5 ^a	85.4 ^b	85.5 ^b	0.95
Histidina	94.1 ^a	86.4 ^b	85.2 ^b	0.65
Isoleucina	95.5 ^a	88.2 ^b	87.8 ^b	0.50
Lisina	95.2 ^a	87.3 ^b	88.1 ^b	0.60
Fenilalanina	95.6 ^a	88.2 ^b	88.6 ^b	0.45
Treonina	89.4 ^a	76.2 ^b	76.4 ^b	1.15
Valina	94.8 ^a	87.6 ^b	86.6 ^b	0.55
Leucina	95.5 ^a	88.3 ^b	88.5 ^b	0.45
Metionina	97.0 ^a	87.9 ^b	89.4 ^b	1.22
Dispensables				
Cistina	90.5 ^a	80.9 ^b	80.1 ^b	1.55
Alanina	86.3 ^a	76.4 ^b	76.3 ^b	1.20
Ácido Aspártico	92.2 ^a	81.6 ^b	82.1 ^b	0.75
Ácido Glutámico	96.0 ^a	89.3 ^b	89.3 ^b	0.45
Glicina	75.6	69.9	71.0	2.10
Prolina	94.1 ^a	91.5 ^b	91.8 ^b	0.13
Serina	91.9 ^a	80.4 ^b	77.9 ^b	1.05
Tirosina	95.5 ^a	86.7 ^b	87.3 ^b	0.50

^{abc} Medias dentro del mismo renglón con literales distintas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

EEM = error estándar de la media.

1. dieta de referencia (100% de la proteína provino de la caseína); 2. dieta de referencia + pasta de canola (30% de la dieta); 3. dieta de referencia + pasta de canola peletizada (30% de la dieta).

Entre la pasta de canola y la pasta de canola peletizada no se no presentaron diferencias ($P > 0.05$) en la digestibilidad aparente de la MS y PC y estandarizada de PC.

Cuadro 15.
Promedios generales para digestibilidad ileal aparente (%) de proteína y aminoácidos de las materias primas en cerdos en crecimiento.

Nutriente	Materia Prima			EEM
	Caseína	Pasta de Canola	Pasta de canola peletizada	
Proteína	89.1 ^a	81.3 ^b	81.3 ^b	0.75
Aminoácidos				
Indispensables				
Arginina	91.5 ^a	84.1 ^b	85.3 ^b	1.25
Histidina	94.1 ^a	84.7 ^b	84.5 ^b	0.95
Isoleucina	95.5 ^a	85.2 ^b	84.3 ^b	1.10
Lisina	95.2 ^a	83.9 ^b	85.9 ^b	1.02
Fenilalanina	95.6 ^a	85.0 ^b	86.2 ^b	0.90
Treonina	89.4 ^a	71.8 ^b	73.3 ^b	2.00
Valina	94.8 ^a	83.8 ^b	83.2 ^b	0.22
Leucina	95.5 ^a	84.2 ^b	85.3 ^b	1.10
Metionina	97.0 ^a	85.8 ^b	88.0 ^b	1.49
Dispensables				
Cistina	90.5 ^a	77.9 ^b	77.5 ^b	1.98
Alanina	86.3 ^a	74.5 ^b	75.9 ^b	1.70
Ácido Aspártico	92.2 ^a	77.5 ^b	79.4 ^b	1.35
Ácido Glutámico	96.0 ^a	86.0 ^b	86.5 ^b	0.95
Glicina	75.6 ^a	68.9 ^b	68.9 ^b	2.04
Prolina	94.1 ^a	85.9 ^b	86.0 ^b	0.38
Serina	91.9 ^a	71.6 ^b	68.9 ^b	2.55
Tirosina	95.5 ^a	80.2 ^b	82.6 ^b	1.25

^{abc} Medias dentro del mismo renglón con literales distintas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

EEM = error estándar de la media.

Los promedios generales para digestibilidad ileal aparente de los aa. de la dietas experimentales se presentan en el Cuadro 14. Al igual que la digestibilidad ileal

aparente de la PC, la digestibilidad aparente de los aa fue mayor ($P < 0.05$) en la dieta de caseína, con excepción de glicina, aminoácido para el cual no hubo diferencias ($P > 0.05$). No se presentaron diferencias ($P > 0.05$) entre las digestibilidades aparentes de los aa de los dos tipos de canola.

6.2.2. digestibilidad de la pasta de canola.

Los promedios generales para digestibilidad aparente de la PC y aa de las materias primas por el método de la diferencia se presentan en el Cuadro 15 .

No se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en la digestibilidad aparente de la PC y aa en las diferentes pastas de canola.

6.2.2. Determinación de la actividad enzimática.

Los promedios de la actividad enzimática total de la tripsina, carboxipeptidasa A, carboxipeptidasa B y quimotripsina se presentan en el Cuadro 16.

Cuadro 16.
Promedios para actividad total (UI/g de páncreas) de las enzimas pancreáticas en cerdos en crecimiento alimentados con diferentes dietas.

Enzima	Dieta			EEM
	1	2	3	
En Páncreas (UI/g de tejido) ⁵				
Tripsina ¹	2674 a	3835 b	3254 c	43.4
Carboxipeptidasa B ²	6042 a	8058 b	8342 b	55.7
Carboxipeptidasa A ³	9321 a	20484 b	17119 c	140.0
Quimotripsina ⁴	204050	211058	228900	2878.0

^{abc} Medias dentro de dietas con literales distintas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

EEM = error estándar de la media.

1. dieta de referencia (100% de la proteína provino de la caseína); 2 dieta de referencia + pasta de canola (30% de la dieta); 3. dieta de referencia + pasta de canola peletizada (30% de la dieta).

¹ UI Tripsina = Micromoles de arginina hidrolizada por minuto.

² UI Carboxipeptidasa A = Micromoles de fenilalanina hidrolizada por minuto.

³ UI Carboxipeptidasa B = Micromoles de arginina o lisina hidrolizada por minuto.

⁴ UI Quimotripsina = Micromoles de tirosina hidrolizada por minuto.

⁵ UI/g = Unidades Internacionales por gramo de páncreas.

Para el caso de la tripsina se presentaron diferencias entre tratamientos ($P < 0.05$). La actividad enzimática total de la tripsina fue menor ($P < 0.05$) en la dieta que contenía caseína (2674 UI/g de páncreas). Entre la pasta de canola y la pasta de canola peletizada se presentaron diferencias ($P < 0.05$), siendo los animales del tratamiento 2 los que presentaron la mayor actividad total (3835 UI/g de páncreas).

La actividad total de la carboxipeptidasa B presentó diferencias ($P < 0.05$) significativas entre tratamientos. La actividad total fue menor en la dieta que contenía solamente caseína (6042 UI/g de páncreas). Las dietas experimentales que contenían pasta de canola y pasta de canola peletizada, no presentaron diferencias ($P > 0.05$) significativas.

La actividad total de la carboxipeptidasa A presentó diferencias ($P < 0.05$) significativas entre tratamientos. La actividad total de la carboxipeptidasa fue menor ($P < 0.05$) en la dieta que contenía solamente caseína (9321 UI/g de páncreas). Las dietas experimentales que contenían pasta de canola y pasta de canola peletizada presentaron diferencias ($P < 0.05$) significativas en la actividad total (20484 y 17119 UI/g de páncreas, respectivamente), siendo mayor la actividad total para la dieta que contenía pasta de canola.

La actividad total de la quimotripsina no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos.

7. DISCUSIÓN.

7.1. EXPERIMENTO 1.

Los contenidos de PC, aa y MS de las pastas de canola (Cuadro 8), fueron similares a los encontrados por Imbeah *et al.*, (1988), Bell y Keith (1991), Bell (1993a), Fan *et al.*, (1996), Fan y Sauer (1995), Grala *et al.*, (1997). Por su parte los contenidos de MS, PC y aa de la caseína concuerda con los datos publicados por Nyachoti *et al.* (1997) y NRC (1998).

7.1.1 Digestibilidad de las dietas experimentales.

La disminución en la digestibilidad ileal aparente de la PC y aa de las diferentes dietas experimentales (Cuadro 9), es un resultado directo de sustituir una fuente de proteína altamente digestible (caseína) con una de menor digestibilidad (pasta de canola). Esto puede deberse principalmente a los altos contenidos de fibra y factores antinutricionales que posee la pasta de canola. de Lange *et al.* (1990) y Grala *et al.* (1997) demostraron que la fibra (FDN) de la canola, afecta considerablemente las pérdidas ileales de nitrógeno alimenticio y nitrógeno endógeno en cerdos. Las pectinas, celulosa y hemicelulosa, son los carbohidratos más abundantes en las cáscaras de la pasta de canola, estos compuestos no son digeridos por la enzimas intestinales (Bell, 1984). Los animales jóvenes son más susceptibles a estos factores y muestran depresiones más severas cuando son expuestos a ellos. Además, la presencia de taninos en la cáscara de canola (Bell, 1993a) también puede disminuir la digestibilidad ileal de la pasta de canola, como lo mencionan para el caso del sorgo y del frijol.

La inclusión de pectinas en la dieta disminuye los valores de digestibilidad ileal aparente de aa, debido a que sus propiedades de viscosidad y gelificación disminuyen la digestión y absorción de nutrientes por reducir la mezcla de los

contenidos intestinales, interfiriendo con la unión de enzima-sustrato y por formar una capa de agua estática, que crea una barrera física a la absorción de nutrientes (Anderson *et al.*, 1990). Además, estos componentes pueden interactuar con los aa liberados durante la hidrólisis de la proteína. Esta interacción permite que algunos aa puedan escapar a la absorción en el intestino delgado llegando al íleon distal y pasar al intestino grueso (Grala *et al.*, 1998). Como consecuencia de lo anterior, estos componentes pueden disminuir la digestibilidad ileal aparente de los aa (Mosenthin *et al.*, 1994; Bjerregaard *et al.*, 1991) por aumentar los niveles de PC y aa endógenos en íleon distal (Fan *et al.*, 1996), incrementando la descamación y pérdida de células de la mucosa (Mariscal-Landín *et al.*, 1995) y produciendo la proliferación de células epiteliales y de la mucosa (Jin *et al.*, 1994; Bjerregaard *et al.*, 1991). Los taninos dietarios pueden disminuir la digestibilidad de la PC y aa a través de diferentes mecanismos, incluyendo la formación de puentes de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas de sus grupos hidroxilos con los grupos carbonilo de las proteínas dietarias, disminuyendo la actividad de la pepsina gástrica, de la tripsina y quimotripsina pancreática y de las peptidasas intestinales del borde en cepillo, cambiando la morfología de la mucosa gastrointestinal, disminuyendo la absorción transmembranal de nutrientes, e incrementando las secreciones endógenas de proteína (Jansman, 1993). La diferencia del efecto período encontrada en la digestibilidad ileal aparente de los aa serina y glicina puede deberse a sus altas concentraciones en mucinas y sales biliares conjugadas respectivamente (Fan *et al.*, 1995).

7.1.2 Digestibilidad de la pasta de canola.

La digestibilidad ileal aparente de la PC y aa obtenida por el método de la diferencia para la pasta de canola peletizada, fue superior que para la pasta de canola (Cuadro 11). Esa menor digestibilidad pudo deberse al contenido de proteína que se encuentra dentro de la fracción de fibra (componentes de la pared celular), ya que la cáscara de canola contiene aproximadamente 22.5% de P.C

(Bell, 1993b), donde las enzimas digestivas tienen acceso restringido para la digestión (Bjergegaard *et al.*, 1991). La mayor digestibilidad ileal aparente de la PC y aa de la pasta de canola peletizada puede deberse a que el peletizado (tratamiento térmico y proceso hidrotermal), pudo romper la matriz de las paredes celulares y modificar la estructura química de sus constituyentes, volviéndolos más susceptibles a la degradación enzimática en el intestino delgado, lo cual mejora la digestibilidad y utilización de los nutrientes, especialmente la de los aminoácidos (Näsi, 1991).

La baja digestibilidad ileal aparente de algunos aa de la pasta de canola como glicina, treonina y serina, se debe principalmente a sus concentraciones relativamente altas en las secreciones endógenas. El nivel y tipo de fibra afectan la digestibilidad aparente de aa por incrementar las pérdidas endógenas de aa.

La glicina es el mayor constituyente (ácido glicocólico) de las sales biliares, conformando más del 90% del contenido total de aa secretados en el jugo biliar de porcinos (Souffrant, 1991). Las sales biliares son degradadas en el íleon distal por las bacterias intestinales y aproximadamente el 90% es reabsorbida vía transporte activo, entrando a la circulación entero-hepática (Souffrant, 1991). Sin embargo, la glicina deconjugada escapa a esta reabsorción (Fan *et al.*, 1995).

La adición de fibra insoluble (celulosa, hemicelulosa y lignina) incrementa la descamación de las células de la mucosa intestinal y aumenta la producción de mucinas. La celulosa es el principal constituyente en la cáscara de la semilla de canola (Fan *et al.*, 1996). La mucinas "nativas" representan cerca de un 95% de las glucoproteínas, las cuales son ricas en treonina, serina y prolina (Neutra y Forstner, 1987). La baja digestibilidad de treonina, puede deberse en parte, a su baja tasa de absorción en el intestino delgado. Además, basados en la especificidad de proteasas y peptidasas endógenas, treonina es el último aa liberado por la hidrólisis enzimática en la proteína (Low, 1980).

La diferencia en el efecto período encontrada en la digestibilidad ileal aparente de los aa serina, metionina, leucina y lisina, puede deberse a un incremento en las secreciones endógenas correspondiendo esto a un aumento en el consumo

(Caine *et al.*, 1997). Estudios realizados por Souffrant, (1991) muestran que la proteína secretada en los jugos pancreáticos e intestinales contienen una alta concentración de ácido aspártico, ácido glutámico, leucina y treonina. Aunque los contenidos de aminoácidos azufrados en los jugos pancreáticos y en las mucinas son usualmente inferiores (Neutra y Forstner, 1987). Se ha observado que la fibra en ingredientes como cebada y pasta de canola incrementaron la secreción de lisina endógena (Nyachoti *et al.*, 1997). Como se mencionó anteriormente, la digestibilidad de la serina está afectada por la secreción de mucinas. Además la disminución en la digestibilidad aparente de estos aa puede deberse a un disminución en la recuperación de aa endógenos.

7.1.3 Determinación de la actividad enzimática.

Valette *et al.* (1992) encontraron una mayor actividad de las enzimas tripsina, carboxipeptidasa A y carboxipeptidasa B en dietas que contenían canola comparadas con dietas que contenían caseína. Esto se debe principalmente a los altos contenidos de fibra y factores antinutricionales (principalmente taninos) que posee la pasta de canola. Además la secreciones pancreáticas de las enzimas proteolíticas son sensibles al tipo de fuente y estructura de la proteína en la dieta. La composición de la dieta puede modular la secreción pancreática. Un aumento significativo en la actividad de las proteasas pancreáticas ha sido observado en presencia de altas cantidades de pasta de canola en la dieta (Valette *et al.*, 1992). Esto puede deberse a la inclusión de fibra en la dieta, ya que dependiendo del tipo de fibra, se incrementará la secreción de jugo pancreático (Imbeah *et al.*, 1988). Las diferencias encontradas en la actividad total de las enzimas tripsina, Carboxipeptidasa A y Carboxipeptidasa B, entre los dos tipos de canola, pueden deberse a que el tratamiento térmico degrada los polisacáridos estructurales de la fibra y de la matriz de la pared celular de la canola (Näsi, 1991), haciéndolos mas accesibles al ataque enzimático. En el caso del frijol, la inactivación de factores antinutricionales por un adecuado proceso térmico, mejora la digestibilidad de la

proteína por desnaturalización, lo cual abre la estructura polimerizada de las proteínas (van der Poel *et al.*, 1990). Además un inadecuado proceso térmico afecta la digestibilidad, debido a que los inhibidores de tripsina y quimotripsina forman complejos insolubles en el íleon de lechones e inhiben la acción proteolítica de la enzima tripsina (Rajko y Szabo, 1997), lo cual produce una alta tasa de secreción, resultado de un mecanismo de retroalimentación negativa (Imbeah *et al.*, 1988).

Es muy difícil realizar comparaciones de resultados en la actividad enzimática pancreática, ya que muchos autores reportan los valores de actividad enzimática en otras unidades y además utilizan otras técnicas para la determinación de dichos valores. Para las enzimas Carboxipeptidasa A y B no fue posible comparar los datos reportados en este trabajo, debido a que no se encontraron publicaciones donde se evaluaran estas enzimas en lechones.

7.2. EXPERIMENTO 2.

7.2.1 Digestibilidad de las dietas experimentales.

La digestibilidad aparente de MS y PC y estandarizada de PC de la dieta de referencia, son similares a los encontrados por Nyachoti *et al.* (1997). La digestibilidad aparente de la dieta de caseína (Cuadro 13), fue mayor que la de las dietas que contenían pasta de canola. Esto se debe principalmente a los altos contenidos de fibra y factores antinutricionales que posee la pasta de canola.

En datos reportados por Nyachoti *et al.* (1997), no se observaron diferencias en la digestibilidad aparente de glicina entre caseína y canola. Sin embargo, estos resultados no excluyen un posible efecto detrimental de los taninos en la digestibilidad aparente de los aa.

7.2.2. digestibilidad de la pasta de canola.

El proceso térmico no afectó la digestibilidad ileal aparente de la MS, PC y aa de la pasta de canola peletizada (Cuadro 15). En estudios con animales en crecimiento, no hubo efecto de peletizar con vapor, expandir o peletizar y expandir en la digestibilidad aparente de la PC (van der Poel *et al.*, 1998). Grala *et al.*, (1998) encontraron que tostado o descascarillando pasta de canola, no se afectó la digestibilidad aparente de la PC y aa, debido a que el peso del animal está positivamente correlacionado con el coeficiente de digestibilidad aparente de la PC, ya que el animal mejora con la edad su capacidad digestiva proteolítica básica y los efectos de la FDN (celulosa, hemicelulosa y lignina) disminuyen con la madurez del cerdo (Bell y Keith, 1989).

Los altos valores de digestibilidad ileal aparente de la PC encontrados en los dos tipos de pasta de canola (Cuadro 14), pueden deberse al nivel de inclusión de la materia prima, ya que en trabajos realizados por varios autores (Imbeah *et al.*, 1988; Bell, 1993a; Fan *et al.*, 1996; Fan y Sauer, 1995; Grala *et al.*, 1997; Grala *et al.*, 1998) utilizaron mayores niveles de inclusión de pasta de canola. Los valores de digestibilidad aparente de los aa y PC de los dos tipos de pasta de canola obtenidos en el experimento, son mayores que los obtenidos por Imbeah *et al.*, (1988), Fan y Sauer (1995), Fan *et al.*, (1996), Grala *et al.*, (1998) y Nyachoti *et al.*, (1997). Estos resultados se encuentran dentro de los rangos publicados por Pedersen y Boisen (2002) y Southern, (1991).

7.2.3. Determinación de la actividad enzimática.

Al igual que para el caso de los lechones, la actividad de las enzimas fue menor para el tratamiento que solo contenía caseína, ya que la secreción pancreática de las enzimas proteolíticas son sensibles al tipo de fuente y estructura de la proteína en la dieta. Sin embargo las diferencias encontradas en la actividad total de las enzimas tripsina y carboxipeptidasa B, no afectaron la digestibilidad de la

PC y aa ya que el animal mejora con la edad su capacidad digestiva proteolítica básica y los efectos de la FDN (celulosa, hemicelulosa y lignina) disminuyen con la madurez del cerdo (Bell y Keith, 1989).

Como en el caso de los lechones es muy difícil realizar comparaciones en sí de resultados en la actividad enzimática pancreática, ya que muchos autores reportan los valores de actividad enzimática en otras unidades y además utilizan otras técnicas para la determinación de dichos valores.

8. CONCLUSIONES.

- La peletización peletizado mejoró la digestibilidad y utilización de nutrientes de la pasta de canola, especialmente el de los aminoácidos, en lechones recién destetados.
- La actividad total de las enzimas pancreáticas se vió afectada por la peletización, presentando un decremento en la actividad.
- El proceso térmico (peletización) no mejoró la digestibilidad de la materia seca, proteína y aminoácidos de la pasta de canola, en animales adultos. Además el peletizado no afectó la actividad total enzimática en los animales adultos.

9. IMPLICACIONES.

Los resultados de este trabajo permitirán utilizar de manera más eficiente la pasta de canola en lechones recién destetados ya que se podrán utilizar los coeficientes de digestibilidad ileal de la proteína y aminoácidos adecuados a ese tipo de animales. Sin embargo se recomienda una mayor profundización en dicho estudio, para la obtención de una mayor confiabilidad en los datos de digestibilidad.

10. BIBLIOGRAFÍA.

- Aguilera, B.A., Mariscal, L.G., Souza, R.T.C. 2001. Efecto de niveles crecientes de caseína sobre la excreción endógena de nitrógeno y la actividad pancreática. X Congreso Nacional de AMENA. p. 65-66.
- Anderson, J.W., Deakins, D.A. Floore, T.L., Smith, B.M. and Whitis, S.E. 1990. Dietary fiber and coronary hearth disease. Food Sci. Nutr. 29:95-147.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis (15TH Ed.) Association of Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Bell, J.M. 1984. Nutrients and toxicants in rapessed meal: A review. J. Anim. Sci. 58:996-1010.
- Bell, J.M. 1993a. Factors affecting the nutritional value of canola meal: a review. Can. J. Anim. Sci. 73: 679-697.
- Bell, J.M. 1993b. Nutritional evaluation of dehulled canola meal for swine. Pages 64-67 in Research on canola seed, oil, and meal. The Tenth Project Report. Canadian Council of Canola Research, Winnieg, MB.
- Bell, J.M., Keith, M.O. 1989. Factors affecting the digestibility by pigs of energy and protein in wheat, barley and sorgum diets suplemented with canola meal. Anim. Feed Sci. Technol. 24:253-265.
- Bell, J.M., Keith, M.O. 1991. A survey of variation in the chemical composition of commercial canola meal produced en Western Canadian crushing plants. Can. J. Anim. Sci. 71:497-506.

- Bell, J.M., Rakow, G., Downey, R.K. 1999. Mineral composition of oil-free seed of *Brassica napus*, B. Rapa and B. Juncea as affected by location and year. *Can. J. Anim. Sci.* 79: 405-408.

- Bergmeyer, H.U. 1974. *Methods of enzymatic analysis*. Edition. Academic Press. New York.

- Bjerregaard, C., Eggum, B.O., Jensen, S.K., Sorensen, H. 1991. Dietary fibers in oilseed rape: Physiological and antinutritional effects in rats of isolated IDF and SDF added to diet. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 66:69-79.

- Bradshaw, R., Ericsson., Walsh, K., Neurath, H. 1969. The amino acid sequence of bovine carboxipeptidase A. *Proc Natl. Acad. Sci. USA.* 63:1389-1391.

- Butts, C.A., Moughan, P.J., Smith, W.C., Reynolds, G.W., Garrick, D.J. 1993. The effect of food dry matter intake on endogenous ileal amino acid excretion determined under peptide alimentation in the 50 kg liveweight pig. *J. Sci. Food Agric.* 62:235-243.

- Caine, W.R., Sauer, W.C., Tamminga, S., Verstegen, M.W.A., Schulze, H. 1997. Apparent ileal digestibilities of amino acids in newly weaned pigs fed diets with protease-treated soybean meal. *J. Anim. Sci.* 75:2962-2969.

- Castell, A.G., Cliplef, R.L. 1993. Evaluation of pea screening and canola meal as a supplementary protein source in barley-based diets fed to growing- finishing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 73:129-139.

- Ciria, J. 1995. Digestibilidad. En: Buxade, C. Zootecnia, Bases de producción animal. II. Reproducción y alimentación animal (Ed. Mundi Prensa). p. 169-179.
- de Lange, C.M.M, Souffrant, W.B., Sauer, W.C. 1990. Real ileal protein and amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs as determined with the ¹⁵N-Isotope dilution technique. J. Anim. Sci. 68:409-418.
- Easter, R.A., Tanskley, T.D. 1973. A technique for re-entrant ileocecal cannulation of swine. J. Anim. Sci. 36:1099-1103.
- Fan, M.Z., Sauer, W.C. 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., Sauer, W.C., de Lange C.M.F. 1995. Amino acid digestibility in soybean meal, extruded soybean and full-fat canola for early-weaned pigs. Anim. Feed Sci. Technol. 52:189-203.
- Fan, M.Z., Sauer, W.C., Gabert, V.M. 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., Fenton, M. 1979. An improved procedure for the determination of chromic oxide in feed and feces. Can. J. Anim. Sci. 59:631-634.
- Folk, J., Piez, K., Carroll, W., Gladner, J. 1960. Carboxipeptidase B. V. Purification and characterization of the porcine enzyme. J. Biol. Chem. 235-272.

- Furuya, S., Kaji, Y. 1989. Stimulation of the true ileal digestibility of amino acid and nitrogen from their apparent values for growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 26:271-275.
- Grala, W., Verstegen, M.W.A., Jansman, A.J.M., Huisman, J., van Leeusen, P. 1998. Ileal apparent protein and amino acid digestibilities and endogenous nitrogen losses in pigs fed soybean and rapessed products. *J. Anim. Sci.* 76:557-568.
- Grala, W., Verstegen, M.W.A., van Leeuwen, P., Huisman, J., Jansman, A.J.M., Taminga, S. 1997. Nitrogen balance of pigs as affected by feedstuffs causing different endogenous nitrogen flow at terminal ileum. *Livest. Prod. Sci.* 48:143-155.
- Imbeah, M., Sauer, W.C., Mosenthin, R. 1988. The prediction of the digestible amino acid supply in barley-soybean meal or canola meal diets and pancreatic enzyme secretion in pigs. *J. Anim. Sci.* 66:1409-1417.
- INRA. 1984. L'alimentation des animaux monogastriques: porc, lapin, volailles. Institut National de la Recherche Agronomique. Paris, France.
- Jansman, A.J.M. 1993. Tannins in feedstuffs for single-stomached animals. *Nutr. Res. Rev.* 6:209-236.
- Jensen, M.S., Jensen, S.K., Jakobsen, K. 1997. Development of digestive enzymes in pigs with emphasis on lipolytic activity in the stomach and pancreas. *J. Anim. Sci.* 75. 437-445.

- Jin, L., Reynolds, L.P., Redmer, D.A., Caton, J.C., Crenshaw, J.D. 1994. Effects of dietary fiber on intestinal growth, cell proliferation, and morphology in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 72:2270-2278.
- Köhler, T., Verstegen, M.W.A., Huisman, J., den Hartog, L.A., Ahrens, F. 1992. Effect of ileo-rectal anastomosis and post-valve T- caecum cannulation of growings pigs. 1. Growth performance, N-balance and intestinal adaptation. *Br. J. Nutr.* 68:293-303.
- Leskanich. C.O., Mathews, K.R., Warkup, C.C., Noble, R.C., Hazzledine, M. 1997. The effect of dietary oil containing (n-3) fatty acids on the fatty acid, physicochemical and organoleptic characteristics of pig meat. *J. Anim. Sci.* 75:673-317.
- Liener, I.E. 1989. Antinutritional factors in legume seed: State of the art. In: J. Huisman, A.F.P. van der Poel and I.E. Liener (Eds), *Recent advances in antinutritional factors in legume seeds*. Pudoc Wageningen, The Netherlands. p. 121-128.
- Low, A.G. 1980. Nutrient absorption in pigs. *J. Sci. Food Agric.* 31:1087-1130.
- Low, A.G. 1990. Protein evaluation in pigs and poultry. In: *Physiology Digestive Feedstuffs Evaluation*. Butterworth, London, p. 91-114.
- Makkink, C.A., Verstegen, M.W.A. 1990. Pancreatic secretion in pigs. *J. Physiol. Anim. Nutr.* 64:190-208.
- Makkink, C.A., Bernsten, J.M. Op den Kamp., Kemp, B., Verstegen, M.W. 1994. Gastric protein breakdown and pancreatic enzyme activities in

response to two different dietary protein sources in newly weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 72: 2843-2850.

- Mariscal-Landín, G. 1992. Facteurs de variation de l'utilisation digestive des acides amines chez le porc. Ph.D. Thesis. Rennes University. 134 pp.
- Mariscal-Landín, G., Séve, B., Colléaux, Y., Lebreton, Y. 1995. Endogenous amino nitrogen collected from pigs end-to-end ileorectal anastomosis is affected by the method of estimation and altered by dietary fibre. *J. Nutr.* 125:136-146.
- Mosenthin, R.H., Sauer, W.C., Ahrens, F. 1994. Dietary pectine's effect on ileal and fecal amino acid digestibility and exocrine pancreatic secretions in growing pigs. *J. Nutr.* 124:1222-1229.
- Näsi, M. 1991. Digestibility and protein utilization responses of soybean and rapeseed meal to physical and enzymatic treatments in diets for growing pigs. *J. Agric. Sci. Finl.* 57:263-269.
- Näsi, M., Siljander-Rasi, H. 1991. Effects of processing on digestibility and protein utilization of rapeseed meal of medium and low glucosinolate type in diets for growing pigs. *J. Agric. Sci. Finl.* 63:475-482.
- Neutra, M.R., Forstner, J.T. 1987. Gastrointestinal mucus: synthesis, secretion and function. In: L.R. Johnson (Editor) *Physiology of Gastrointestinal Tract*, 2ed. Raven Press, New York, p. 975-1009.
- NRC. 1998. Nutrients requirement of swine, 10th Revised Ed. National Research Council.

- Nyachoti, C.M., de Lange, C.F.M., Schulze, H. 1997. Estimating endogenous amino acid at the terminal ileum and true ileal amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs using homoarginine method. *J. Anim. Sci.* 75:3206-3213.
- Odle, J., Zijlstra, T., Donovan, S.M. 1996. Intestinal effects of milkborn growth factors in neonates of agriculture importance. *J. Anim. Sci.* 74:2509-2522.
- Pedersen, C., Boisen, S. 2002. Establishment of tabulated values for standardized ileal digestibility of crude protein and essential amino acid in common feedstuffs for pigs. *Acta Agric, Scand., Sect. A, Animal Sci.* 52:121-140.
- Pluske, J.R., Hampson, D.J., Williams, I.H. 1997. Factors influencing the structure and function of the small intestine in weaned pigs: a review. *Livest. Prod. Sci.* 51:215-236.
- Rajko, R., Szabo, G. 1997. Designing experiments for reducing antinutritive agents in soybean by microwave energy. *J. Agric. Food Chem.* 45: 3565-3569.
- Reboud, J.P., Ben, A.A., Desnuelle, P. 1962. Variations de la teneur en enzymes du páncreas de rat en fonction de la composition de régimes. *Biochim. Biophys. Acta.* 58:326.
- Reis de Souza, T.C., Mar, B.B., Mariscal, L.G. 2000. Canulación de cerdos posdestete para pruebas de digestibilidad ileal: Desarrollo de una metodología. *Téc. Pecu. Méx.* 38:143-150.

- Reis de Souza, T.C., Mariscal, L.G. 1997. El destete, la función digestiva y la digestibilidad de los alimentos en cerdos jóvenes. *Téc. Pecu. Mex.*, 35: 145.
- Sauer, W., Ozimek, L. 1986. Digestibility of amino acid in swine: Results and their practical applications. A review. *Livest. Prod. Sci.* 15:367.
- Soria, R.J., Alvendaño, R. y Ortiz, C.A. 1987. Levantamiento fisiológico del estado de Querétaro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Guanajuato. México.
- Souffrant, W.B. 1991. Endogenous nitrogen losses during digestion in pigs. In: Versteng, M.W.A., J. Huisman, den Hartog, L.A. (Eds.), *Digestive physiology in pigs: Endogenous Losses During Digestion in Pigs. Proceeding of the 5th International Symposium On Digestive Physiology in Pigs.* EAAP Publication no. 54, Pudoc, Wageningen, p.147-166.
- Southern, L.L. 1991. Digestible amino acids and digestible amino acids requirements for swine. *Byokyoowa Technical Review No. 2.* 165p.
- Valette, P., Malouin, H., Corring, T., Savoie, L., Gueugneau, A.M., Berot, S. 1992. Effects of diets casein and rapeseed on enzyme secretion from the exocrine pancreas in the pig. *Br. J. Nutr.* 67: 215-222.
- van der Poel, A.F.B., Schoterman, A., Bosh, M.W. 1998. Effect of expander conditioning and/or pelleting of a diet on ileal digestibility of nutrients and on feed intake after choice feeding of pigs. *J. Sci. Food Agric.* 76:87.
- van der Poel, A.F.B., Blonk, J., Van Zuijchem, D.J., van Oort, M.G. 1990. Thermal inactivation of lectines and trypsin inhibitor activity during steam

processing of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and effects on protein quality. *J.Sci. Food Agric.* 53: 215-228.

- van Leeuwen, P., van Kleef, D.J., van Kempen, G.J.M., Huisman, J., Verstegen, M.W.A. 1991. The post-valve T-caecum cannulation technique in pigs applicated (sic) to determine the digestibility of amino acid in maize, groundnut, and sunflower seed. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 65:183.193.

- Williams, P.E.V. 1995. Digestible amino acid for non-ruminant animal: Theory and recent challenges. *Anim. Feed Sci. Technol.* 53:173.

- Xu, R.J. 1996. Development of the new born GI tract and its relation to colostrum/milk intake: a review. *Reprod. Fertil. Dev.* 8, 35-48.

- Yu, F., Moughan, P.J., Barry, T.N., McNab, W,C. 1996. The effect of condensed tannins form heated and unheated cottonseed on ileal digestibility of amino acids for the growing rat and pig. *Br. J. Nutr.* 76: 359-140.