



11674

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA
SALUD ANIMAL**

**“EFECTO DE NIVELES CRECIENTES DE FDN
SOBRE LA DIGESTIBILIDAD ILEAL DE LA
PROTEÍNA, AMINOACIDOS Y ENERGÍA EN
CERDOS EN CRECIMIENTO”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
EN EL AREA DE NUTRICIÓN ANIMAL

P R E S E N T A:
EDGAR PEREYRA FLORES

A S E S O R:
GERARDO MARISCAL LANDÍN



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

RESUMEN

Pereyra Flores Edgar. 2003. Efecto de niveles crecientes de FDN sobre la digestibilidad ileal de la proteína, aminoácidos y energía en cerdos en crecimiento.

Con el objetivo de evaluar el efecto de la FDN sobre la digestibilidad de los componentes de una ración se llevaron a cabo dos experimentos. 1) Se determinó la digestibilidad ileal aparente de la materia seca (DAMS), proteína cruda (DAP) y aminoácidos (DAA) de ingredientes comúnmente empleados para formular dietas para cerdos. Se utilizaron 8 cerdos híbridos (Duroc x Landrace), machos castrados de 60 kg de peso, canulados. Se elaboraron 8 dietas: (T1) Salvado de Maíz, (T2) Soya + Almidón, (T3) Canola + Almidón, (T4) Harina de Pollo + Soya + Almidón, (T5) Subproducto de Incubadora + Soya + Almidón, (T6) Salvado de Maíz + Soya + Almidón, (T7) Maíz + Soya y (T8) Sorgo + Soya. Se determinó la digestibilidad de las dietas experimentales por el método directo y la de las materias primas, por el método de diferencia. La DAMS de las dietas no mostró diferencias ($p > 0.05$) para los tratamientos de harina de subproducto de incubadora, harina de pollo, maíz, pasta de soya, salvado mezclado y pasta de canola. La dieta de salvado fue menos digestible (63.95 %) ($p < 0.05$). La DAP de las dietas fue similar, excepto para la dieta de salvado, que tuvo un valor inferior ($P < 0.05$) con respecto a las demás. De los aminoácidos esenciales (AAE) la dieta de salvado fue menos digestible promediando 73.5%, excepto para metionina que fue menos digestible en el sorgo (64.7%). La treonina presenta la menor digestibilidad (73.4%). De los aminoácidos no esenciales (AAN) la dieta de salvado de maíz presentó las menores digestibilidades promediando 71.9%. Alanina y glicina fueron menos digestibles en todos los tratamientos (78.0 y 74.1%, respectivamente). En general las dietas de maíz y pasta de soya fueron las más digestibles. De la digestibilidad las materias primas, la DAP fue más alta en maíz, pasta de soya y harina de subproducto de incubadora. El salvado de maíz fue el menos digestible. De los AAE, treonina presentó la menor digestibilidad (64.5%). La harina de

subproductos de incubadora tuvo una baja digestibilidad de metionina (45.4%). De los AAN, alanina, glicina y prolina fueron menos digestibles. En la harina de subproducto de incubadora la cistina presenta una baja digestibilidad (50.8%). 2) Se evaluó el efecto de la incorporación de niveles crecientes de Fibra Detergente Neutro (FDN) sobre la DAMS, digestibilidad ileal aparente de energía (DAE), DAP, y DAA; además de la digestibilidad fecal de proteína cruda, materia seca, energía y fibra detergente neutro. Se utilizaron 16 cerdos híbridos (Duroc x Landrace) machos castrados de 60 kg de peso, canulados. Se elaboraron 4 dietas con diferente contenido de FDN: 10.5% Tratamiento Control (TC), 12% Nivel 1 (N1), 13.5% Nivel 2 (N2) y 15% Nivel 3 (N3). La DAMS, DAE, DAP muestra una respuesta de tipo lineal ante cada incremento en el nivel de FDN, sucediendo lo mismo para los aminoácidos (excepto en arginina, isoleucina, valina, alanina y tirosina). En los aminoácidos no esenciales la disminución de la DAA por el incremento de FDN fue mayor ($p < 0.05$) para la glicina, cistina y prolina. La digestibilidad fecal muestra un efecto cuadrático para la proteína cruda y un efecto lineal para materia seca y energía. La disminución en la digestibilidad ileal de los nutrimentos evaluados puede estar determinada en función del tipo de fibra ya que si el ingrediente contiene en su estructura componentes solubles se favorecerá la formación de geles en torno al bolo alimenticio impidiendo que las enzimas actúen sobre los sustratos presentes en el intestino. Es posible considerar que a medida que se fue incrementando el nivel de FDN en la ración, la digestibilidad decreció debido a que en el contenido intestinal había proporcionalmente más materia seca aportada por el salvado de maíz, provocando que la secreción de moco se incrementara por efecto del material fibroso causando de este modo bajas digestibilidades de algunos aminoácidos que en este experimento se mostraron como poco digestibles. Los niveles de FDN de hasta 15% no afectaron severamente la digestibilidad de la dieta, lo que permite sugerir el empleo del salvado de maíz en la formulación de raciones para cerdos en crecimiento.

Palabras claves: FDN, digestibilidad, cerdos.

JURADO DE EXÁMEN

PRESIDENTE: Dr. MOISÉS MONTAÑO BERMUDEZ

VOCAL: Dr. GERMÁN BORBOLLA SOSA

SECRETARIO: Dra. TERCIA CESARIA REIS DE SOUZA

PIMER SUPLENTE: M. C. FRANCISCO CASTREJON PINEDA

SEGUNDO SUPLENTE: Dr. GERARDO MARISCAL LANDIN

DEDICATORIAS

Pá y Má: Gracias por haberme brindado su apoyo y su cariño, yo sé que sin ustedes la culminación de esta meta no habría sido posible. Están siempre en mis pensamientos y en todo lo que hago. Ustedes son ejemplo a seguir.

Muchos bules

Quely, Man, Gelo y Vero: El hecho de tener hermanos como ustedes es un orgullo, a pesar de las dificultades siempre la unión nos ha llevado a la felicidad. Sigamos como hasta ahora y verán que cada uno de nosotros logrará sus objetivos.

Gracias por estar conmigo

Luisito, Abuelito Jesús y Abuelita Leonides: Ustedes desde el cielo le han dicho a Dios que me cuide y que me guíe por el buen camino y que me dé fuerzas para librar las desventuras de la vida. Gracias por pedir por mí.

Los guardo en el corazón.

A mis cuñados Lalo, Olivia y Carlos: Gracias por estar siempre en compañía de todos nosotros, y por los momentos que hemos compartido en familia.

Peques: Lalo, Ale, Ivancito y Aline. Ustedes han entrado a mi corazón por la puerta grande. Acuérdense que los quiero mucho y que los consentiré todo el tiempo.

Su tío, Edgar

A mis amigos Juan, Mauricio, Betty y Jaime: ¿Saben? Ustedes me ayudaron más de lo que se imaginan. Muchas gracias por todos los ratos agradables que pasamos en un ambiente de fraternal compañerismo. Ojala y nuestra amistad perdure para toda la vida.

Cuentan conmigo de todo corazón.

Nora, Juanita, Tere, Sonia, Ariadna, Celia, Mariela, Erica y Don José: Gracias por tanta amabilidad y también muchas gracias por haberme permitido platicar tantas veces con ustedes.

AGRADECIMIENTOS A:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

CONSEJO NACIONAL DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y
PECUARIAS**

**CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN FISIOLOGÍA Y
MEJORAMIENTO ANIMAL**

A MI ASESOR

AL HONORABLE JURADO DE EXAMEN DE GRADO

INDICE

Resumen.....	I
Jurado de Examen.....	III
Dedicatorias.....	IV
Agradecimientos.....	V
Introducción.....	1
Revisión de Literatura.....	3
Hipótesis y Objetivos.....	23
Material y Métodos.....	24
Resultados.....	37
Discusión.....	46

Conclusiones.....	54
Bibliografía.....	55

LISTA DE CUADROS

1. Componentes de la fibra dietética y su solubilidad.
2. Composición química (gkg^{-1}) de las materias primas utilizadas para la elaboración de las dietas experimentales. (Base húmeda).
3. Composición (gkg^{-1}) de las dietas experimentales (Experimento 1).
4. Composición química (gkg^{-1}) analizada de las dietas experimentales (Experimento 1) (Base húmeda).
5. Composición (gkg^{-1}) de las dietas experimentales (Experimento 2).
6. Composición química (gkg^{-1}) analizada de las dietas experimentales (Experimento 2) (Base húmeda).
7. Digestibilidad ileal aparente de materia seca, proteína cruda y aminoácidos de las dietas experimentales del experimento 1.
8. Digestibilidad ileal aparente de proteína cruda y aminoácidos de las materias primas del experimento 1.
9. Digestibilidad ileal aparente de proteína cruda, materia seca, energía y aminoácidos de dietas compuestas del experimento 2.
10. Digestibilidad fecal de proteína cruda, materia seca, energía y FDN del experimento 2.

LISTA DE FIGURAS

- 1. Programación para cada uno de los periodos durante el experimento 1**
- 2. Programación para cada uno de los periodos durante el experimento 2**

1. INTRODUCCIÓN

Al realizar pruebas de digestibilidad de materias primas se pretende conocer la cantidad de nutrimentos que aporta un alimento. Al preparar una mezcla con ingredientes previamente evaluados mediante pruebas de digestibilidad, no debería presentarse ningún problema para estimar los nutrimentos útiles de la dieta. Sin embargo, lo anterior no es completamente cierto, ya que al realizar mezclas de materias primas con digestibilidades diferentes cada una, la digestibilidad estimada puede diferir de la digestibilidad verdadera de la dieta, lo que repercutirá en el aprovechamiento de la ración observándose una disminución en la expresión del potencial productivo de los animales.

Hoy en día, la utilización de subproductos es una alternativa que está en aumento (Huang et al., 1999; Schulze et al., 1995). Los salvados son utilizados principalmente como modificadores del comportamiento en el pie de cría. En un hato de engorda la importancia de la utilización de estos ingredientes radica en como puede modificarse la digestibilidad de los constituyentes de la dieta, esto en función del nivel de fibra empleado, (Kass et al., 1980a; Knowles et al., 1998).

La inclusión de una fuente de fibra en la ración de cerdos ha tomado importancia, ya que se menciona que debido a ésta la producción de canales magras ha ido en aumento, esto por la posibilidad que tiene la fibra de diluir los excesos de energía de la ración y por lo tanto disminuir la acumulación de grasa (Bair et al 1970; citado por Knowles et al., 1998). Igualmente importante es saber si la fibra modifica la digestibilidad de algunos nutrimentos, sobre todo cuando el metabolismo está en una etapa de transición (de un metabolismo encaminado a la síntesis de tejido muscular hacia un aumento en la síntesis de lípidos) (Knowles et al., 1998).

El objetivo del presente trabajo fue el de encontrar hasta que nivel de fibra en la ración no se afecta significativamente la digestibilidad de los demás componentes de la dieta.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia de la población microbiana sobre la digestibilidad de la fibra

El estómago representa cerca del 30 % del volumen total del tracto digestivo. En esta parte la digestión empieza con una disminución del pH. Alguna actividad microbiana puede ocurrir en la parte inferior del estómago pero solamente si el cerdo ingiere una gran cantidad de alimento. Con la secreción de enzimas en diferentes partes del tracto digestivo (saliva en la boca, jugo gástrico en el estómago, secreciones como jugo pancreático y biliar en el intestino delgado), los macronutrientes son digeridos a monómeros para carbohidratos y/o oligómeros para proteínas y lípidos que pueden ser absorbidos en el intestino delgado. El intestino delgado del cerdo es largo, lo que permite una digestión intensa. En el íleon posterior y especialmente en el ciego e intestino grueso, una intensa degradación bacteriana toma lugar. En el intestino grueso componentes alimenticios no digeridos (principalmente fibra dietética, lípidos y proteínas insolubles) y secreciones endógenas son fermentadas por los microorganismos, los cuales sintetizan ácidos grasos de cadena corta a partir de los nutrientes no absorbidos. Según Müller y Kirchgessner (citados por Caspar, 2001) dos terceras partes de la materia orgánica fermentada por los microorganismos puede ser utilizada por el animal. Además de los ácidos grasos de cadena corta, otros productos finales del metabolismo microbiano pueden encontrarse en el intestino grueso, tal es el caso del amoníaco y del metano, los cuales pueden ser absorbidos pero no son utilizados en el metabolismo intermediario del cerdo. En esta porción, solamente los ácidos grasos de cadena corta y algunas vitaminas pueden ser absorbidos, los cuales contribuirán a un suplemento de nutrientes para el animal (Caspar, 2001; Christensen et al., 1999; Kass et al., 1980ab; Stanogias et al., 1985b; Varel, 1987).

El crecimiento bacteriano y su participación en el metabolismo dependen de condiciones como son temperatura corporal y presencia de sustratos. Los

sustratos pueden estar disponibles para metabolizarse dependiendo del número de comidas, la composición, así como la estructura y tratamiento tecnológico de la dieta (Anugwa et al., 1989). Estos factores influyen particularmente la digestión en la parte baja del tracto digestivo. Aquí ante la presencia de los nutrientes, los microorganismos de diferentes especies están en continua competencia. Por lo tanto, los procesos digestivos afectan el crecimiento bacteriano. El cambio de pH en el estómago y después en el intestino delgado es además el factor limitante para los microorganismos (Kass et al., 1980b). Finalmente, la tasa de pasaje de la digesta hace que se limiten los procesos microbianos en diferentes partes del tracto digestivo (Caspar, 2001; Potkins et al., 1991b; Stanogias et al., 1985a).

Al hablar de digestión de fibra, se menciona que el estómago y el intestino delgado de los mamíferos no producen enzimas capaces de degradar la fibra dietética. La fibra es degradada por especies microbianas que producen celulasas, hemicelulasas, pectinasas y otras enzimas. Estos microorganismos son más numerosos en el ciego y en el colon de animales no rumiantes y prerumiantes. Los microorganismos presentes en el tracto digestivo posterior pueden ser clasificados como aeróbios facultativos, sin embargo los predominantes son los anaeróbios obligados. El grado de fermentación depende primariamente de la fuente de fibra dietética (van Laar et al., 2000) y de la presencia de nitrógeno, minerales y vitaminas que son esenciales para la nutrición de la población microbiana residente en todo el tracto digestivo posterior (Kass et al., 1980a; Varel, 1987; Varel y Yen, 1997).

El tiempo de permanencia de la digesta es mucho mayor en el intestino grueso que en el intestino delgado (Kass et al., 1980a; Rerat et al., 1987), y una considerable absorción de agua toma lugar en este sitio, incrementándose la proporción de materia seca. El mayor tiempo de residencia en el intestino grueso permite una activa fermentación bacteriana de la fibra; sin embargo la digestión de

la fibra es menor que la digestión de los componentes dietéticos no fibrosos del bolo (Caspar, 2001; Rerat et al., 1987).

2.2. La digestibilidad como un método para la determinación del valor nutritivo de los alimentos.

La digestión de los alimentos es una suma de diferentes procesos, los cuales están encaminados al desdoblamiento de las moléculas que componen el bolo alimenticio a formas menos complejas susceptibles de ser absorbidas, metabolizadas o excretadas. El objetivo de determinar la digestibilidad de alguna materia prima es el de estimar de la manera más adecuada que tan aprovechable es para el animal ese ingrediente, precisando los nutrimentos que aporta; para formular las raciones de una manera más eficiente.

La digestibilidad puede estimarse de diferentes maneras:

2.2.1. Digestibilidad aparente

Puede realizarse a nivel ileal y/o fecal. No se conoce la proporción de proteína que proviene del alimento y lo que es de origen endógeno.

La información que aporta es parcial y nos dice que proporción de un alimento fue asimilada por el animal (Low, 1982).

2.2.2. Digestibilidad verdadera

Se mide a nivel ileal y/o fecal, contempla en su cálculo la excreción de origen endógeno. El valor que se obtiene es más preciso de la proporción digestible de un alimento (Low, 1982).

Dentro de las ventajas de determinar la digestibilidad verdadera están:

- ✓ Ayuda a la elaboración de dietas en las cuales el aporte de los requerimientos es más apropiado.
- ✓ Permite suplementar de manera adecuada la proteína y aminoácidos
- ✓ Permite disminuir la excreción del nitrógeno excedente, lo cual disminuirá el deterioro o contaminación ambiental.

Dentro de los métodos para poder determinar la digestibilidad ileal y/o fecal, ya sea verdadera o aparente se encuentran la forma directa, por regresión y por diferencia, con los cuales se hace posible la estimación de la digestibilidad de una dieta o un ingrediente (Fan et al., 1995; Fan y Sauer, 1995).

2.3 Definiciones de Fibra

2.3.1. Fibra cruda

Mezcla homogénea de celulosa, hemicelulosa, lignina y otros glúcidos que son indigeribles por animales de estómago simple (Fernández y Jorgensen, 1986; Moughan et al., 1999; Tejada, 1992; William et al., 1985).

2.3.2. Fibra detergente neutro

Representa la matriz insoluble de la pared celular la cual está constituida por sustancias unidas con enlaces covalentes o íntimamente asociadas a través de puentes de hidrógeno (cristalinidad) u otra asociación intramolecular que las hace resistentes a las secreciones digestivas. Incluye a la celulosa, hemicelulosa y a la lignina (Fernández y Jorgensen, 1986; Moughan et al., 1999; Tejada, 1992; William et al., 1985)

2.3.3. Fibra detergente ácido

Consiste de celulosa, lignina, cutinas y cenizas insolubles en ácido (silicio). El ácido elimina la proteína y cualquier otro material soluble en ácido que interfiera con la determinación de lignina. Su determinación permite hacer un análisis más preciso de la digestibilidad de los forrajes (Fernández y Jorgensen, 1986; Moughan et al., 1999; Tejada, 1992).

2.3.4. Fibra dietética

Es la parte comestible de las plantas que es resistente a la digestión y absorción en el intestino delgado, así como a la fermentación parcial o completa en el intestino grueso. Es definida como la suma de polisacáridos y lignina que no es digerida por las secreciones endógenas del tracto gastrointestinal, esto incluye polisacáridos no amiláceos estructurales y no estructurales (celulosa, pectinas, β glucanos, pentosanos y xilanos), oligosacáridos. Así mismo, incluye a la fibra dietética soluble y a la fibra dietética insoluble (Bjergegaard et al., 1997; Caspar, 2001; Potkins et al., 1991a).

Excluye a sustancias asociadas a la pared celular de la planta como son los fitatos, cutinas, saponinas, lectinas, proteínas, silicón y otros compuestos inorgánicos; así como a compuestos indigestibles formados durante el calentamiento o procesamiento de materias primas (almidón resistente y productos de la reacción de Maillard), oligosacáridos y polímeros de carbohidratos de 50 a 60 unidades que no son recobrados en el análisis de fibra dietética (NAP, 2001; Bjergegaard et al., 1997; Caspar, 2001).

2.4. Características de los carbohidratos que componen a la fibra y su relación con la digestión

Los carbohidratos de los alimentos producen después de la digestión azúcares simples, ácidos orgánicos, todos ellos fuentes importantes de energía (Case et al., 1995). Tradicionalmente en la nutrición porcina, la contribución de la energía de los carbohidratos dietéticos ha sido representada indirectamente en la energía digestible (Stahly y Cromwell, 1986).

Los polisacáridos también son denominados glucanos, los cuales consisten de unidades de monosacáridos unidos por enlaces glucosídicos. Estos pueden ser clasificados como homopolisacáridos y heteropolisacáridos los cuales están constituidos por uno o más tipos de monosacáridos (NAP, 2001).

La fibra es un material formado por varios tipos de carbohidratos, entre los principales se incluyen la hemicelulosa, celulosa, pectina, mucílagos y gomas vegetales.

A continuación se mencionan los principales carbohidratos con sus características desde el punto de vista digestivo.

2.4.1. Almidón

Es uno de los polisacáridos más comunes en la naturaleza. Es el reservorio nutricional de las plantas, puede estar presente en dos formas: a) Amilosa que es el tipo no ramificado de almidón, el cual consiste de residuos de glucosa con enlace α -1,4. b) Amilopectina, la forma ramificada, la cual tiene un enlace α -1,6 por cada 30 enlaces α -1,4. Tanto la amilosa como la amilopectina son rápidamente hidrolizados por la enzima α amilasa secretada por las glándulas salivales y el páncreas. La α amilasa hidroliza los enlaces internos α -1,4 para

producir maltosa, maltotriosa y α dextrina. La maltosa consiste de dos residuos de glucosa con enlace α -1,4 y la maltotriosa de tres residuos con el mismo tipo de enlace. La α dextrina está constituida por muchas unidades de glucosa unidas por un enlace α -1,6 en adición a enlaces α -1,4. La maltosa y la maltotriosa son hidrolizados a glucosa por la maltasa mientras que la α dextrina es hidrolizada a glucosa por la α dextrinasa (NAP, 2001, Bjergegaard et al., 1997; Fernández y Jorgensen, 1986; Lehninger, 1995).

El almidón se divide en almidón rápidamente digestible, almidón lentamente digestible y almidón resistente. De estos tres tipos, los dos primeros pueden ser fragmentados en el intestino delgado; y el almidón resistente llegará hasta intestino grueso, lugar en donde desencadenará un proceso de fermentación (NAP, 2001, Bjergegaard et al., 1997).

2.4.2. Celulosa

La celulosa tiene un papel estructural más que nutricional. La celulosa es el compuesto orgánico más abundante en la naturaleza, contiene más de la mitad del carbono orgánico que existe. Es una sustancia fibrosa, resistente e insoluble que se encuentra en las paredes celulares de las plantas, en particular en cañas, tallos, troncos y en todos los tejidos vegetales leñosos. La celulosa constituye una gran parte de la masa de la madera, y el algodón es prácticamente celulosa pura. (Bjergegaard et al., 1997; Lehninger, 1995; William, 1985).

Es un polímero no ramificado de residuos de glucosa unidos con enlace β -1,4. Los mamíferos no cuentan con la enzima capaz de degradar a la celulosa que en este caso sería la celulasas, sin embargo en los animales rumiantes la celulosa es utilizada por bacterias que se encuentran en el rumen, las cuales contienen a la enzima específica para degradar este compuesto. También se menciona a las

termitas como utilizadoras de compuestos celulósicos al contar con la enzima. La celulosa es altamente cohesiva, los enlaces hidrógeno con los que cuenta su estructura hacen que este compuesto sea extremadamente resistente a la tensión, y le brinda insolubilidad (Bjergegaard et al., 1997; Lehninger, 1995; William, 1985).

2.4.3. Hemicelulosa

Es un conjunto heterogéneo de polisacáridos, cuya composición colectiva varía mucho de una especie a otra. Representa a los polisacáridos insolubles en agua, pero pueden solubilizarse en álcalis fuertes. Dentro de la célula vegetal, la hemicelulosa se localiza en las paredes. Constituye del 10 al 20% de la materia seca de los forrajes y subproductos agro industriales y 20-21% en los granos y raíces (NAP,2001, Bjergegaard et al., 1997; Rodríguez-Palenzuela; William, 1985).

2.4.4. Lignina

Dentro de la estructura de la celulosa se encuentra la lignina, la cual se considera como un compuesto derivado de los aminoácidos fenilalanina y tirosina. Forma parte de la matriz de las fibras celulósicas constituida por una o más unidades propano-fenólicas. Está covalentemente unida a la celulosa y tiene una composición heterogénea. La lignina es el único compuesto que forma parte de la fibra que no es un glúcido. Es altamente resistente a la degradación. Se encuentra en forrajes jóvenes (menos de 5%). Aumenta con la edad de la planta, pudiendo llegar al 12%. La lignina reduce la fermentabilidad de los compuestos fibrosos de la pared celular (NAP,2001, Bjergegaard et al., 1997; Rodríguez-Palenzuela; William, 1985).

2.4.5. Pectinas

Son polisacáridos capaces de formar geles, lo que obstruye el acceso de las enzimas digestivas en el intestino delgado al bolo alimenticio. Afectan la secreción de proteína endógena en el intestino delgado y la excreción de proteína endógena a través del ileon distal (NAP, 2001; Bjerregaard et al., 1997; Rodríguez-Palenzuela).

2.4.6. Mucílagos

Son productos viscosos de la célula vegetal. Se le suelen llamar así a las gomas de origen vegetal. Constituyen el endospermo de las semillas y son importantes para prevenir la deshidratación (NAP, 2001).

En el cuadro 1 se muestran los principales compuestos relacionados con la fibra en función a su solubilidad.

Cuadro 1. Componentes de la fibra dietética y su solubilidad

Solubilidad	Solubles	Insolubles
Compuesto		
Polisacáridos	Gomas Hemicelulosa Mucílagos Pectinas Fitatos	Celulosa Hemicelulosa
No polisacáridos		Lignina

2.5. Efecto de la fibra sobre la digestibilidad

En las dietas para cerdos, la fibra dietética es una parte integral. Un contenido incrementado de fibra está inversamente relacionado con la cantidad de nutrimentos disponibles así como con el contenido de energía, ya que una dieta con un alto contenido de fibra usualmente contiene menos energía metabolizable que una dieta con bajo contenido (Caspar, 2001; Scharama et al., 1999).

Los polisacáridos no amiláceos tienen sus mayores efectos en el consumo voluntario de alimento, llenado estomacal, flujo de la digesta, tasa de digestión de los alimentos y niveles intestinales de proteína endógena (Larsen et al., 1993; Mosenthin et al., 1994; Potkins et al., 1991b; Souffrant, 2001; Stanogias et al., 1985a).

Los polisacáridos no amiláceos pueden tener una significativa influencia en el peso y volumen de varios órganos digestivos y también sobre la proliferación celular del intestino (NAP, 2001; Anugwa et al., 1989; Larsen et al., 1994; Pond et al., 1988; Stanogias et al., 1985c).

Según Castle (citado por Stanogias et al., 1985a) el rápido paso de la digesta a través del tracto digestivo en los cerdos está más asociado a la cantidad de alimento consumido que al contenido de fibra en la dieta. La tasa de pasaje de la digesta está relacionada con las características físicas y químicas del alimento (tamaño de partícula, capacidad de retención y absorción de agua, volumen); así como el peso y/o edad del cerdo. Factores nutricionales como la lignificación o carencia de algunos nutrimentos van a influenciar el tiempo en que la digesta se mantendrá en el tracto digestivo, lugar donde el bolo intestinal estará expuesto a la acción de las enzimas digestivas y a la degradación microbiana, lo que determinará el grado de digestión que tendrá.

En cerdos en crecimiento una dieta con bajo contenido de fibra es comúnmente empleada, ya que favorece un máximo consumo de los nutrimentos disponibles y de energía (Caspar, 2001; Ramonet et al., 1999; Trowell et al., 1985; Varel y Yen, 1997).

Un animal que satisface su saciedad física y requerimientos nutricionales está menos estresado y por lo tanto su actividad física es menor lo que disminuye el gasto de energía (Caspar, 2001; Ramonet et al., 1999; Trowell et al., 1985; Varel y Yen, 1997).

La fibra puede ser considerada como un factor negativo en el suplemento total de energía para los animales ya que tiene un efecto depresivo sobre la absorción de nutrimentos en el intestino delgado. Las pérdidas de energía en forma de metano, hidrogeno, y calor de fermentación, así como una menor eficiencia de utilización de los ácidos grasos volátiles hacen de la fermentación postileal un sistema energéticamente menos eficiente que la digestión enzimática prececal (Varel y Yen, 1997).

La digestibilidad de la fibra dietética es menor en cerdos jóvenes en donde sus efectos negativos sobre la digestibilidad de la energía son mayores que en un animal adulto. Con el incremento de la edad y peso de los animales los efectos detrimentales del uso de fibra se reducen. El efecto detrimental es más pronunciado en el intestino delgado comparado con la digestibilidad de todo el tracto digestivo (Caspar, 2001; Fernández y Jorgensen, 1986; Longland et al., 1993).

La formación de complejos disminuye la digestibilidad de la proteína cruda, de la grasa y de la energía. En el caso de la proteína, se menciona que la inclusión de fibra repercute sobre la cantidad de tripsina y quimiotripsina que están disponibles

para digerir la proteína ya que la fibra tiene la capacidad de adsorberlas y por lo tanto de disminuir su actividad (den Hartog et al., 1988).

Sauer et al. (1991) estudiaron el efecto de la fuente de fibra sobre la digestibilidad de aminoácidos utilizando dos diferentes fuentes, una natural como es la paja de trigo y otra de un aislado de fibra. Observaron que la digestibilidad ileal de la materia seca y de la energía disminuyeron, de los aminoácidos esenciales la digestibilidad de treonina fue menor que la de arginina para las dos dietas con alto contenido de fibra con respecto al grupo control (bajo en fibra); de los aminoácidos no esenciales las digestibilidades fueron menores para glicina y cistina, lo que se asemeja con los resultados obtenidos previamente por Sauer en 1977 (citado por Sauer et al. (1991), quien reportó una alta digestibilidad de arginina y una baja digestibilidad de treonina, glicina y prolina. Los autores observaron que la inclusión de fibra disminuyó la digestibilidad de la materia seca, proteína cruda y energía cuando el cálculo de digestibilidad se hizo en función a todo el tracto digestivo. Cuando se calculó la digestibilidad ileal la inclusión de fibra resultó en una disminución en las digestibilidades de la proteína cruda así como en todos los aminoácidos no esenciales pero sobre todo de los aminoácidos esenciales.

2.5.1. Efecto de la fibra soluble

En el intestino delgado los polisacáridos de la fibra soluble forman un gel que protege al bolo alimenticio impidiendo que las enzimas digestivas actúen sobre los sustratos (Caspar, 2001; Svihus et al., 2000). En el intestino grueso el gel va a favorecer un proceso de fermentación (presencia de ácidos grasos volátiles como consecuencia de digestión de la fibra por la acción bacteriana) lo que afecta la digestibilidad (Rushen et al., 1999; Wiseman et al., 1999).

Los ácidos grasos volátiles productos de la fermentación tienen un efecto positivo sobre la proliferación de las células intestinales y consecuentemente sobre el

crecimiento del intestino en cerdos jóvenes (Caspar, 2001; Fernández y Jorgensen, 1986)

Una dieta con alto contenido de fibra soluble provoca que una mayor cantidad de agua sea ligada en el estómago incrementando el volumen de la digesta, disminuyendo el tránsito y estabilizando el pH a un nivel bajo (Caspar, 2001; Johansen et al., 1996).

La fibra dietética soluble es una fuente de nutrimentos común. Este tipo de fibra es eficientemente utilizada por la flora microbiana presente en el intestino grueso. Bach Knudsen citado por (Caspar, 2001) probó que la actividad microbiana en el intestino grueso se incrementa y que este incremento en la actividad no solamente causa una mejor utilización de los nutrimentos del alimento sino que aumenta la excreción de sustancias de origen microbiano.

En general los efectos de la fibra dietética soluble sobre la fisiología digestiva son los siguientes:

- ✓ Estimula secreciones pancreáticas
- ✓ Incrementa la viscosidad del alimento
- ✓ Incrementa el tiempo de retención en el intestino delgado
- ✓ Incrementa la secreción de nitrógeno endógeno
- ✓ Provoca una erosión mecánica de la superficie de la mucosa lo que causa pérdida de material endógeno
- ✓ Provoca una reducción en la digestión de nutrimentos, especialmente proteína, aminoácidos y minerales

2.5.2. Efecto de la fibra insoluble

Los polisacáridos insolubles no modifican la digestión en el intestino, sin embargo pueden adherir algunos aminoácidos lo que disminuirá la absorción de estos por las células intestinales. Estos compuestos son lenta o incompletamente fermentados, produciendo más masa fecal y su tasa de pasaje a través del tracto digestivo es mayor (Caspar, 2001).

Según Sauer et. al.(1977), Taverner et. al. (1981), De Lange (1989), (citados por Huang et. al. en el 2001) se ha demostrado que existe un incremento en la recuperación de proteína y aminoácidos de origen endógeno en la digesta del ileon terminal, cuando son incluidos en una ración libre de proteína fuentes de fibra insolubles en agua.

También, es importante recalcar que la capacidad de retención de agua que tiene la fibra brinda la oportunidad de que los productos de la digestión sean difundidos a través de toda la superficie de la mucosa intestinal, favoreciendo de esta manera la oportunidad de estos para ser absorbidos (Schulze et al., 1994).

2.5.2.1. Efecto de la fibra detergente neutro sobre la digestibilidad

La utilización de subproductos como fuente de fibra radica en las diferentes proporciones de endospermo que puedan contener; y de la cantidad de endospermo dependerá la proporción de FDN que contenga (Huang et al., 2001).

Un componente importante de la fibra dietética insoluble es la fibra detergente neutro. La proteína, aminoácidos, almidón y minerales ligados a la fracción FDN son poco digestibles debido a que las enzimas digestivas tienen acceso limitado a los componentes de la pared celular mientras ésta no sea removida y a los

componentes del contenido celular, disminuyendo de ésta manera la digestión y consecuentemente la absorción de los diferentes nutrimentos (Lenis et al., 1996).

Según Buraczewska (1988) (Citado por Schulze et al., 1994) se observó que la fermentación de la FDN en el intestino delgado varía entre un 10% y un 32%. Probablemente la fracción de hemicelulosa es la más fermentada en el intestino delgado.

Los componentes de la fibra de los granos de leguminosas son más digestibles que los de los granos de cereales, lo que sugiere que existe una relación entre la fuente de fibra y la digestibilidad aparente de estos componentes en el cerdo. Además del efecto depresor sobre la digestibilidad de los constituyentes mayores de FDN (celulosa, hemicelulosa y lignina), otros constituyentes como taninos y pectinas, pueden afectar la digestibilidad aparente de una fibra en particular debido a las propiedades físicas y químicas que poseen, lo que los hace que sean considerados como factores antinutricionales (Février et al., 2001; Stanogias et al., 1985a).

2.5.2.1.1. Digestibilidad ileal

Se menciona que un incremento en la cantidad de nitrógeno endógeno es debido al aporte de FDN. Este incremento se explica por una mayor secreción y/o por una menor reabsorción de las secreciones endógenas. Un valor elevado de nitrógeno en la digesta ileal puede ser debido a una reducida absorción del nitrógeno de origen exógeno posiblemente debido a que algunos nutrimentos pudieron ser adsorbidos por la fibra que fue adicionada a la ración (Lenis et al., 1996; Schulze et al., 1995).

Dentro de las secreciones de origen endógeno que son liberadas debido a la incorporación de una fuente de fibra se encuentran el jugo pancreático, la bilis, la

secreción de moco y la excreción de células epiteliales descamadas (Pöhland et al.; 1993; Ikegami et al., 1990).

La inclusión de 40% de salvado de trigo en una dieta para cerdos incrementó la secreción de jugo pancreático y proteína (Schulze et al., 1994).

Cuando se emplean niveles crecientes de aislados de fibra detergente neutro en dietas semisintéticas, la digestibilidad ileal aparente de la materia seca, nitrógeno, nitrógeno unido a FDN y cenizas disminuye linealmente, no siendo así para la digestibilidad de la FDN (Huang et al., 2001). Cerca del 20% de la FDN ingerida es digerida antes del final del ileon, ya que los cerdos no poseen las enzimas para hidrolizarla, ésta digestión puede ser el resultado de la fermentación bacteriana lo que indica que los animales pueden tener una suficiente actividad microbiana.

Se ha observado que un animal en etapa de crecimiento (25 Kg. en adelante) tiene la suficiente capacidad para poder asimilar una dieta en la cual se haya incluido FDN, sin que repercuta en el aprovechamiento de los nutrimentos (Fernández y Jorgensen, 1986; Lenis et al., 1996; Schulze et al., 1994;).

En un estudio realizado por Huang et. al. (2001) se utilizaron diferentes niveles de trigo, salvado de trigo y harina de trigo para establecer la relación entre la proteína cruda asociada con el contenido de FDN. La proporción de proteína cruda asociada con la FDN con respecto al total de proteína cruda en la digesta ileal, fue menor que la proporción de aminoácidos asociados con la FDN con respecto al total de aminoácidos en la digesta ileal. Esto se explica porque una considerable proporción de la proteína cruda en la digesta ileal esta presente en forma de nitrógeno no proteico como es el caso de nitrógeno en forma de amino azucares (glucosamina y galactosamina) o bien, amonio y urea.

Treonina, prolina, y glicina, están presentes en concentraciones relativamente grandes en la digesta ileal en cerdos alimentados con dietas libres de proteína. Las glicoproteínas contienen grandes cantidades de prolina y glicina. La desaparición de grandes cantidades de estos aminoácidos en el intestino grueso indican una descomposición preferencial de la proteína endógena no digerida. La contribución del amonio al total de proteína en el cerdo puede ocurrir bajo ciertas condiciones dietéticas, por ejemplo cuando el nitrógeno per sé es limitante para la síntesis de aminoácidos no esenciales (Sauer et al., 1991).

Usando dietas libres de proteína con diferentes niveles de una mezcla de fibra dietética (celulosa de madera, mazorca de maíz y paja de trigo), Mariscal et. al., (1995) estudiaron el efecto sobre el nitrógeno endógeno ileal y la producción de aminoácidos, observaron que mayores niveles de fibra dietética en la dieta no causaron un incremento en la pérdida de proteína endógena por kilogramo de materia seca consumida.

Se ha visto que la adición de una fuente de fibra ya sea natural o de un purificado de FDN, disminuye la aparición de nitrógeno amino en la sangre portal, lo que indica que se afecta la absorción de nitrógeno amino. Por otra parte también se ha visto que puede modificarse la digestibilidad del nitrógeno que se encuentra ligado a la FDN, cuando se adicionan fuentes purificadas de esta. Para comprobar esto Lenis et. al., (1996) utilizaron un purificado de fibra de salvado de trigo y en sus resultados determinaron que la digestibilidad del nitrógeno ligado a la FDN fue de 29.5 % y que la adición del purificado redujo la digestibilidad ileal aparente de la mayoría de los aminoácidos desde un 2 hasta un 5.5 %, pero en el caso de cistina, alanina y glicina la digestibilidad se redujo en 18, 16 y 12% respectivamente. Los mayores decrementos en la digestibilidad de cistina, alanina y glicina pudieron ser debidos a un alto nivel de estos aminoácidos en la proteína intestinal endógena. En cuanto al balance de nitrógeno se mostró un incremento en la excreción de nitrógeno en las heces y una disminución en el nitrógeno excretado en la orina.

Los valores de retención de nitrógeno y de utilización de nitrógeno digestible ileal fueron mayores que los de los animales que consumieron la dieta basal (Lenis et al., 1996).

2.5.2.1.2. Digestibilidad fecal

La disminución de la digestibilidad fecal de aminoácidos, resultante de la inclusión de fibra, puede deberse al incremento en la cantidad de nitrógeno bacteriano liberado en las heces. Si bien la concentración de nitrógeno bacteriano es menor en las heces de cerdos alimentados con fibra adicional, sobre una base cuantitativa, hay un incremento en la concentración. El porcentaje de nitrógeno bacteriano en heces alcanza del 72.2 % al 86.2 % dependiendo de la composición de la dieta. La cantidad depende del suplemento de energía fermentable para la microflora en el intestino grueso (Sauer et al., 1991).

Se ha encontrado que la digestibilidad fecal es menor cuando se utilizan aislados de fibra. De los aminoácidos esenciales la disminución de la digestibilidad de arginina (1.8 %) fue menor que para metionina (6.5 %); y cuando fue empleada la paja de trigo la disminución en la digestibilidad fue menor siendo de 0.5 % para histidina y 4.3% para metionina (Sauer et al., 1991).

También se ha visto que la fibra detergente neutro reduce la digestibilidad fecal e ileal del nitrógeno y aminoácidos, y causa un cambio de la excreción de nitrógeno en la orina a una excreción de nitrógeno en las heces lo que puede reducir la volatilización del amonio, por lo que más nitrógeno puede ser excretado en las heces como biomasa, lo que puede explicar la ligera depresión en la digestibilidad fecal aparente de nitrógeno (den Hartog et al., 1988).

La urea es considerada parte importante de la fuente de nitrógeno para crecimiento bacteriano, su cantidad depende del tipo y abundancia de energía

fermentable, además del flujo de nitrógeno a través del ileon terminal. El efecto de la FDN sobre la retención de nitrógeno depende del método de inclusión en la dieta y de la proporción energía-proteína dietética (Lenis et al., 1996).

2.6. Importancia del uso de fibra en la alimentación del cerdo para abasto

Dentro de las materias primas empleadas como fuente de fibra para la formulación de dietas para cerdos podemos mencionar a los subproductos del grano de trigo, maíz o subproductos de granos de destilería después de que les fue removida la fracción de carbohidratos soluble. El valor nutritivo de éstos ingredientes es muy variable, dependiendo de las proporciones de endospermo y partículas de salvado que contengan.

La inclusión de una fuente de fibra en la ración de cerdos ha tomado importancia, ya que se menciona que debido a ésta la producción de canales más magras ha ido en aumento, esto por la posibilidad que tiene la fibra de diluir los excesos de energía de la ración y por lo tanto disminuir la acumulación de grasa (Bair et al 1970, citado por Knowles et al., 1998). Igualmente importante es saber si la fibra modifica la digestibilidad de algunos nutrimentos, sobre todo cuando el metabolismo está en etapa de transición (de un metabolismo encaminado a la síntesis de tejido muscular hacia un aumento en la síntesis de lípidos)(Knowles et al., 1998).

Uno de los beneficios de emplear una fuente de fibra en la ración de cerdos es que en el tracto digestivo posterior se lleve a cabo una fermentación del material fibroso de la dieta, esta producirá ácidos grasos volátiles que pueden ser absorbidos constituyendo una buena fuente de energía, la cual puede aportar entre un 5 y un 30% de la energía de mantenimiento. Otro beneficio consiste en una disminución de la producción de amonio y menor pH de las heces lo que

causará una reducción en la emisión al medio ambiente de compuestos nitrogenados (Caspar, 2001).

En las raciones para cerdos existen ingredientes que son empleados rutinariamente; tal es el caso de los cereales y de las pastas de oleaginosas, de los cuales se tiene un amplio conocimiento de que nutrimentos aporta cada uno de ellos a la ración, así como también que digestibilidades presentan al ser utilizados en la formulación de una dieta. La utilización de subproductos de origen vegetal o animal es común, el empleo de estos ingredientes radica entre otras cosas, en tratar de mejorar el comportamiento de los animales ya sea en el aspecto reproductivo o productivo. Para el caso de la utilización de subproductos como fuente de algún nutrimento en específico (proteínas, grasas, minerales, fibra, etc) se menciona que la importancia de ellos está en su capacidad de modificar la digestibilidad ileal y/o fecal de los ingredientes que componen la ración.

En el presente trabajo se evaluó la digestibilidad de materias primas que son comúnmente empleadas en la formulación de raciones para cerdos y el efecto que puede tener la incorporación de un subproducto de cereal como lo es el salvado de maíz sobre la digestibilidad ileal y fecal del nitrógeno, aminoácidos, materia seca y energía.

3. HIPÓTESIS

El nivel de fibra detergente neutro no afecta la digestibilidad de la ración

4. OBJETIVOS

- ✓ Determinar si el incremento de FDN dietético disminuye la digestibilidad ileal aparente del nitrógeno, aminoácidos, materia seca y energía
- ✓ Determinar si el incremento de FDN dietético disminuye la digestibilidad fecal del nitrógeno, materia seca y energía

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. Localización

El presente trabajo se realizó en la granja experimental del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología (CENID-Fisiología), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Este centro se localiza en el Km 1.5 de la carretera Ajuchitlán-Colón, Municipio de Colón, Estado de Querétaro y está ubicado a 120° 00'00" longitud oeste y a 20° 43' 00" 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.

5.2. Experimento 1

Digestibilidad de Materias Primas

Se utilizaron 8 cerdos híbridos Duroc x Landrace machos castrados, con un peso de 27.4 ± 4.2 kg. Los animales se colocaron en jaulas metabólicas individuales para llevar a cabo la adaptación al manejo alimenticio, el cual consistió en dos comidas diarias; realizándose pesajes semanales. A los 45 Kg de peso los animales se prepararon para cirugía, se ayunaron por 24 h de sólidos y 12 h de líquidos. Se les colocó una cánula simple en "T" en el ileon distal, cercano a la válvula ileocecal, (Reís et al. 2000). Posterior a la cirugía los cerdos se colocaron nuevamente en las jaulas metabólicas las cuales tienen un comedero en forma de canoa y bebedero de chupón. Los animales se trataron durante 3 días posteriores a la cirugía con oxitetraciclina (5 mg por kg. de peso vivo) y con penicilina (10,000 UI)+dihidroestreptomicina (12.5 mg)+flumetasona (.0062 mg) por kg. de peso vivo para evitar problemas de infección. A partir del segundo día de la intervención quirúrgica se les proporcionaron 100 g de alimento, incrementándose este en 100 g diarios hasta que recuperaron el consumo previo a la cirugía. El periodo de

recuperación posquirúrgica tuvo una duración de tres semanas, periodo en el cual se adaptó a los animales al manejo que se realizaría durante la colecta de contenido ileal.

Cuando los animales alcanzaron un peso de 60 Kg se inició la fase experimental la cual tuvo una duración de 28 días y se dividió en cuatro periodos (semanas). En cada periodo los animales consumieron una de las dietas. El periodo se compuso de cinco días de adaptación a la dieta y dos días de colecta de la digesta ileal. La toma de muestras de la digesta ileal se realizó cada dos horas. La programación de cada periodo se esquematiza en la figura 1.

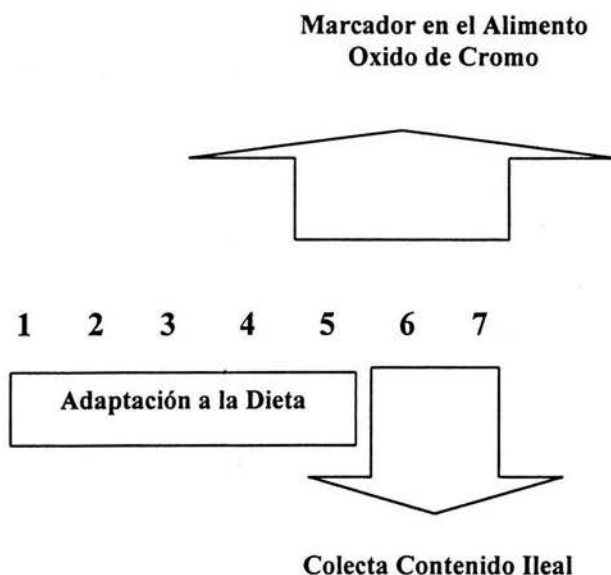


Figura 1. Programación para cada uno de los periodos durante el experimento 1

El alimento se ofreció dos veces al día (8:00 y 17:00) y los animales tuvieron libre acceso al agua.

El objetivo de este experimento fue realizar la determinación de la digestibilidad de materias primas que se emplearon en un segundo experimento en el cual se

elaboraron dietas compuestas empleando alguno de los ingredientes de esta prueba.

Se elaboraron 8 dietas (tratamientos):(T1) Salvado de Maíz, (T2) Pasta de Soya + Almidón, (T3) Pasta de Canola + Almidón, (T4) Harina de Subproducto de Pollo + Pasta de Soya + Almidón, (T5) Harina de Subproducto de Incubadora + Pasta de Soya + Almidón, (T6) Salvado de Maíz + Pasta de Soya + Almidón, (T7) Maíz + Pasta de Soya y (T8) Sorgo + Pasta de Soya. En todos los tratamientos se estimó la digestibilidad por el método directo y para la determinación de la digestibilidad ileal de las materias primas se utilizó el método de diferencia (Fan y Sauer, 1995), empleando las siguientes formulas:

Método directo:

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

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 (%)

Método por diferencia:

$$DA = (DD - DB \times SB) / SA$$

Donde:

DA = Digestibilidad ileal aparente del nutrimento en el ingrediente ensayo (porcentaje)

DD = Digestibilidad ileal aparente del nutrimento en la dieta ensayo (porcentaje)

DB = Digestibilidad ileal aparente del nutrimento en el ingrediente basal (porcentaje)

SB = Nivel de contribución del nutrimento del ingrediente basal de la dieta ensayo (porcentaje decimal)

SA = Nivel de contribución del nutrimento del ingrediente ensayo de la dieta ensayo (porcentaje decimal)

En donde:

$SB = 1 - SA$

En las dietas se utilizó óxido de cromo como marcador indigestible al 0.3% para determinar la digestibilidad ileal (Fenton y Fenton, 1979).

La composición de las dietas experimentales se muestra en los cuadros 2, 3 y 4.

Cuadro 2. Composición química (gkg⁻¹) de las materias primas utilizadas para la elaboración de las dietas experimentales. (Base húmeda)

Nutriente	Materia Prima						
	Salvado de Maíz	Pasta de Soya	Pasta de Canola	Maíz	Sorgo	Harina de subproducto de pollo	Harina de subproducto de incubadora
Materia Seca	891.2	899.5	901.0	900.3	889.6	931.8	919.5
Proteína Cruda	208.4	468.1	363.7	108.5	83.9	443.9	455.0
FDN	338.7	89.5	247.2	119.7	128.5	NA	NA
FDA	106.5	57.4	186.0	45.0	57.4	NA	NA
Aminoácidos esenciales							
Arginina	12.1	42.6	29.7	8.2	6.0	33.7	27.3
Histidina	7.1	10.1	12.7	4.7	2.3	5.8	6.3
Isoleucina	7.6	24.5	16.4	3.3	3.0	23.7	22.1
Leucina	23.8	44.2	34.4	10.1	9.2	37.6	35.3
Lisina	5.4	30.3	26.4	4.5	3.2	17.4	15.6
Metionina	3.4	7.8	8.9	2.0	1.1	17.5	16.9
Fenilalanina	9.7	28.9	19.6	4.7	4.3	16.5	21.3
Treonina	12.1	27.9	26.3	5.6	4.6	23.8	20.2
Valina	12.1	25.5	21.4	5.6	4.5	31.7	28.2
Aminoácidos no esenciales							
Alanina	17.1	24.8	22.1	7.2	7.4	26.4	24.2
Glicina	12.2	24.1	25.6	6.1	4.6	27.8	13.7
Ac. Aspartico	17.3	67.5	36.3	9.7	8.0	40.1	43.4
Cistina	4.3	8.3	10.2	2.7	1.3	30.6	10.4
Ac. Glutámico	45.3	111.7	90.3	20.8	16.4	58.2	64.5
Prolina	16.6	31.1	19.0	8.8	5.5	48.9	39.5
Serina	11.5	30.7	23.3	5.7	4.8	37.2	29.9
Tirosina	8.1	20.8	14.8	3.9	3.3	14.8	13.2

NA No analizado

Cuadro 3. Composición (gkg⁻¹) de las dietas experimentales (Experimento 1)

Ingrediente	Dieta							
	Salvado de Maíz	Pasta de Soya	Pasta de Canola	Harina de Subproducto de Pollo	Harina de Sub. de Incubadora	Salvado + Soya	Maíz	Sorgo
Pasta de Soya		341.8		256.3	256.3	256.3	176.8	222.4
Pasta de Canola			439.9					
H. de Sub. Pollo				90.1				
H. de Sub. Incubadora					88.1			
Salvado de Maíz	884.6					191.9		
Maíz							707.8	
Sorgo								662.2
Almidón		542.8	444.7	538.2	540.2	4369.4		
Azúcar	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Aceite Maíz	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
Ortofosfato	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
Carbonato	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
Minerales ^a	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Vitaminas ^b	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Sal	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Oxido de cromo	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0

^a Suministra por kilogramo de dieta: hierro, 70.0 mg; yodo, 0.56 mg; manganeso, 21.0 mg; selenio, 0.18 mg; cobre, 8.4 mg; zinc, 84.0 mg

^b Suministra por kilogramo de dieta: vitamina A, 6,400 UI; vitamina D, 1,280 UI; vitamina E, 30 UI; vitamina K, 70mg; colina, 75 mg; niacina, 24 mg; ácido pantoténico, 11.0 mg; riboflavina, 4.8 mg; B₁₂, 26 µg.

Cuadro 4. Composición química (gkg⁻¹) analizada de las dietas experimentales (Experimento 1) (Base húmeda)

Nutriente	Dieta							
	Salvado de Maíz	Pasta de Soya	Pasta de Canola	Harina de Sub. de Pollo	Harina de Sub. de Incubadora	Salvado + Soya	Maíz	Sorgo
Materia Seca	939.5	920.6	920.5	920.5	926.8	929.8	924.6	917.5
Proteína Cruda	146.6	155.5	135.0	154.1	154.8	165.8	161.8	159.0
Aminoácidos esenciales								
Arginina	10.6	13.0	9.6	14.0	11.9	8.4	13.3	12.4
Histidina	5.6	4.7	4.1	4.5	3.8	3.5	5.1	4.8
Isoleucina	5.4	6.6	4.6	7.0	5.8	3.7	6.6	7.4
Leucina	18.8	13.7	10.9	14.7	12.9	10.8	14.9	17.5
Lisina	4.7	10.9	8.8	9.2	9.5	6.7	8.4	9.2
Metionina	1.8	2.1	2.3	2.3	2.4	1.1	2.8	2.0
Fenilalanina	6.5	9.2	6.6	9.5	8.4	6.2	8.4	9.0
Treonina	9.0	7.3	6.8	7.6	7.0	4.9	9.1	6.8
Valina	7.8	7.2	6.2	7.9	6.8	4.9	8.4	8.5
Aminoácidos no esenciales								
Alanina	13.8	7.8	7.2	9.0	8.2	6.9	8.3	9.3
Glicina	9.2	7.8	8.5	9.5	6.9	6.1	7.5	8.5
Ac. Aspartico	14.2	21.2	12.3	21.4	19.2	13.2	14.1	18.7
Cistina	4.4	4.7	5.0	4.0	3.3	3.3	2.6	3.3
Ac. Glutámico	37.6	35.2	29.5	35.6	29.9	25.0	27.1	34.4
Prolina	10.6	6.7	8.4	4.9	7.4	6.1	5.5	11.7
Serina	9.8	9.9	7.5	12.2	10.1	6.8	7.8	9.4
Tirosina	6.2	6.1	4.2	6.4	5.3	4.3	5.0	6.4

El consumo de alimento de los animales se racionó a 2.5 veces sus requerimientos de energía digestible de mantenimiento. La energía digestible de mantenimiento se estimó en 110 Kcal./Kg.^{0.75}

Los datos se analizaron según un diseño de cuadro latino incompleto o cuadro de Youden utilizando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS. La comparación de medias entre tratamientos se realizó por la prueba de Tukey. El modelo empleado para este experimento fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + P_j + T_k + \varepsilon_{(ijk)}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable de respuesta del i-ésimo cerdo, en el j-ésimo periodo con el k-ésimo tratamiento

μ = Media general

C_i = Efecto del i-ésimo cerdo ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$)

P_j = Efecto del j-ésimo periodo ($j = 1, 2, 3, 4$)

T_k = Efecto del k-ésimo tratamiento ($k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$)

$\varepsilon_{(ijk)}$ = Error experimental asociado con la observación del i-ésimo cerdo, en el j-ésimo periodo y el k-ésimo tratamiento

5.3. Experimento 2

Digestibilidad de materias primas en relación con el nivel de FDN en la ración

Se utilizaron 16 cerdos híbridos Duroc x Landrace machos castrados con un peso de 60.3 ± 4.5 kg. El manejo al que fueron sometidos los animales fue similar al del experimento 1. Se realizaron 4 bloques de 4 animales cada uno. A cada animal que integraba un bloque le fue asignado uno de los cuatro tratamientos.

Cada periodo se compuso de: Cinco días de adaptación a la dieta, cinco días de colecta de heces y dos días de colecta de la digesta ileal. La toma de muestra de la digesta ileal se realizó cada dos horas. La colecta de heces se realizó diariamente durante 5 días a partir del día que las heces salieron marcadas con óxido férrico. La planeación de la colecta de heces así como del contenido ileal para cada periodo se esquematiza en la figura 2.

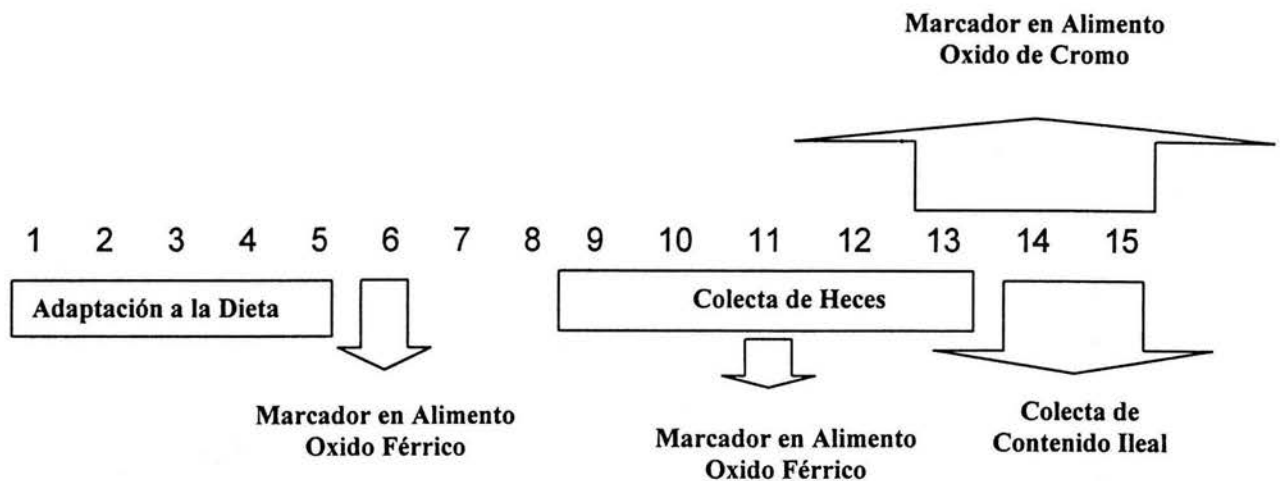


Figura 2. Programación para cada uno de los periodos durante el experimento 2

El alimento se ofreció dos veces al día (8:00 y 17:00) y los animales tuvieron libre acceso al agua.

Se elaboraron 4 dietas (tratamientos): (T1) Maíz + Soya (Control - 10.5 % FDN), (T2) Maíz + Soya + Nivel 1 de Salvado de Maíz (12% FDN) , (T3) Maíz + Soya + Nivel 2 de Salvado de Maíz (13.5% FDN) , (T4) Maíz + Soya + Nivel 3 de Salvado de Maíz (15% FDN). El nivel de 10.5 % de fibra detergente neutro fue el nivel obtenido con la mezcla maíz - pasta de soya. A los tratamientos 2, 3 y 4 se incorporó salvado de maíz para incrementar de manera progresiva el nivel de FDN en la ración. Para la determinación de la digestibilidad ileal se empleó la formula del método directo empleada en el experimento 1.

La composición de las dietas experimentales se muestra en los cuadros 5 y 6.

Cuadro 5. Composición (gkg^{-1}) de las Dietas Experimentales (Experimento 2)

Ingrediente	Dieta			
	Control 10.5 %	Nivel 1 12%	Nivel 2 13.5%	Nivel 3 15%
Maíz	762.6	716.6	670.9	625.3
Pasta de Soya	155.9	136.7	117.4	98.0
Salvado de Maíz	0.0	65.7	131.0	196.4
Aceite Maíz	40.0	40.0	40.0	40.0
Carbonato de Calcio	17.9	19.2	20.5	21.9
Ortofosfato	10.4	8.4	6.3	4.1
Sal	3.5	3.5	3.5	3.5
L-Lisina	2.5	2.4	2.4	2.3
Vitaminas ^a	1.8	1.8	1.8	1.8
Triptosine	1.4	1.9	2.4	2.9
Minerales ^b	0.8	0.8	0.8	0.8
Treonina	0.2	-	-	-
Oxido de cromo	3.0	3.0	3.0	3.0

^a Suministra por kilogramo de dieta: vitamina A, 6,400 UI; vitamina D, 1,280 UI; vitamina E, 30 UI; vitamina K, 70mg; colina, 75 mg; niacina, 24 mg; ácido pantoténico, 11.0 mg; riboflavina, 4.8 mg; B₁₂, 26 µg.

^b Suministra por kilogramo de dieta: hierro, 70.0 mg; yodo, 0.56 mg; manganeso, 21.0 mg; selenio, 0.18 mg; cobre, 8.4 mg; zinc, 84.0 mg

Cuadro 6. Composición química (gkg⁻¹) analizada de las dietas experimentales (Experimento 2) (Base húmeda)

Ingrediente	Dieta			
	Control 10.5 % FDN	Nivel 1 12% FDN	Nivel 2 13.5% FDN	Nivel 3 15% FDN
Materia Seca	904.3	908.3	904.9	907.1
Proteína Cruda	128.7	127.7	140.2	135.7
FDN	103.5	121.8	138.3	149.2
Energía Bruta (Mcal)	4.2	4.2	4.2	4.1
<u>Aminoácidos esenciales</u>				
Arginina	8.8	9.8	11.0	9.6
Histidina	3.9	4.6	4.9	5.0
Isolucina	2.6	4.3	5.3	5.0
Leucina	9.8	12.3	14.4	13.3
Lisina	9.3	9.8	9.8	9.4
Metionina	1.8	1.7	1.7	1.4
Fenilalanina	5.3	6.2	7.1	6.1
Treonina	6.4	6.9	7.8	7.1
Valina	3.8	6.3	7.4	7.3
<u>Aminoácidos no esenciales</u>				
Alanina	7.4	8.5	9.8	9.2
Glicina	6.6	7.2	8.1	7.4
Ac. Aspartico	13.5	14.0	15.5	13.3
Cistina	2.9	2.9	2.7	2.4
Ac. Glutámico	24.1	27.1	31.6	28.0
Prolina	8.3	11.8	12.2	8.4
Serina	7.3	7.6	8.8	7.5
Tirosina	4.3	5.2	5.8	5.0

El consumo de alimento de los animales se igualó a 2.5 veces sus requerimientos de energía digestible de mantenimiento. La energía digestible de mantenimiento se estimó en $110 \text{ Kcal./Kg.}^{0.75}$.

Se utilizó óxido de cromo como marcador indigestible al 0.3% para determinar la digestibilidad ileal (Fenton y Fenton, 1979); y óxido férrico al 0.3% para marcar el inicio y final de la colecta de heces. Para poder determinar la digestibilidad fecal se realizó la determinación de cenizas insolubles (Mc Carthy, et al., 1974).

Para este segundo experimento se realizó un diseño de bloques al azar, en donde los datos obtenidos se analizaron utilizando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS. La comparación de medias entre tratamientos se realizó por la prueba de Tukey y la tendencia de la respuesta (lineal o cuadrática a través de contrastes ortogonales (Steel y Torrie, 1985). El modelo estadístico empleado es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + T_j + \varepsilon_{(ij)}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable de respuesta del k-ésimo animal en el j-ésimo tratamiento dentro del i-ésimo bloque

μ = Media general

B_i = Efecto del i-ésimo bloque ($i= 1, 2, 3, 4$)

T_j = Efecto del j-ésimo tratamiento (1, 2, 3, 4)

$\varepsilon_{(ij)}$ = Error experimental

5.4. Manejo de las muestras

En la colecta de la digesta ileal se emplearon bolsas de plástico de 10 x 15 cm a las cuales se les agregó 10 ml de HCl al 0.2 N para evitar la proliferación

bacteriana. El contenido de cada bolsa se vació en un contenedor de plástico que se mantuvo a -20°C hasta su liofilización. Las heces se colectaron en bolsas de plástico las cuales se congelaron a -20°C hasta su homogeneización y análisis.

Al final de cada periodo de colecta, la digesta ileal (primer y segundo experimento) y las heces (segundo experimento) se homogeneizaron, a partir de las cuales se tomó una muestra para ser liofilizada durante 48 hs, posteriormente se molieron a través de una criba de 1 mm (molino Arthur H. Thomas Co., Philadelphia, PA).

A la digesta ileal se le determinó proteína cruda y materia seca (A.O.A.C., 1995); fibra detergente neutro (Van Soest, et al., 1991); energía por calorimetría y cromo (Fenton y Fenton, 1979).

A las heces se les determinó proteína cruda y materia seca (A.O.A.C., 1995); fibra detergente neutro (Van Soest et al., 1991); energía por calorimetría y cenizas insolubles (McCarthy et al., 1974).

Los aminoácidos se determinaron por cromatografía en fase reversa previa hidrólisis ácida a 110° C durante 24 h (A.O.A.C., 1990). Los aminoácidos azufrados se transformaron a metionina sulfona y ácido cisteico (A.O.A.C., 1995), previo a la hidrólisis ácida.

6. RESULTADOS

Experimento 1

En el cuadro 7 se muestran los resultados de la digestibilidad ileal aparente de la materia seca, proteína cruda y aminoácidos de las dietas del experimento 1. La digestibilidad ileal aparente de la materia seca no mostró diferencias ($p > 0.05$) para los tratamientos de harina de subproducto de incubadora, harina de pollo, maíz, pasta de soya, salvado mezclado y pasta de canola, de estos tratamientos, el de pasta de canola fue el que presentó la menor digestibilidad (82.3 %) siendo similar a sorgo (74.6 %) el cual con respecto a los tratamientos anteriores fue diferente ($P < 0.05$). El salvado fue diferente a los demás ($P < 0.05$) teniendo la menor digestibilidad (64.0 %) de materia seca. La digestibilidad de proteína cruda de los tratamientos fue similar, excepto para el salvado, que tuvo un valor inferior ($P < 0.05$) con respecto a los demás. Para el caso de la digestibilidad de los aminoácidos esenciales en general el tratamiento de salvado de maíz fue el que mostró las menores digestibilidades ($P < 0.05$), excepto para metionina que fue similar en digestibilidad al sorgo. Los tratamientos de maíz y pasta de soya fueron los que tuvieron las digestibilidades numéricamente más altas para la mayoría de los aminoácidos, excepto en lisina de harina de pollo, sin que esto lo hiciera diferente a los demás. Los tratamientos de pasta de canola, harina de subproducto de incubadora y maíz mezclado fueron los tratamientos que presentaron digestibilidades intermedias. Para la leucina y treonina no se observaron diferencias entre tratamientos. La treonina tiene la menor digestibilidad en la mayoría de los tratamientos. En cuanto a los aminoácidos no esenciales el salvado de maíz fue el que presentó las menores digestibilidades y solamente para el caso de la prolina la harina de pollo mostró el valor más bajo de digestibilidad. Como en el caso de los aminoácidos esenciales nuevamente el maíz y la pasta de soya fueron los tratamientos que mostraron las digestibilidades más altas y el resto de los tratamientos excepto el salvado de maíz presentaron

valores intermedios. Para la alanina y la serina no se observaron diferencias entre tratamientos.

En el cuadro 8 se muestran los resultados de digestibilidad ileal aparente de las materias primas del experimento 1. La digestibilidad de proteína cruda fue más alta en maíz, por otro lado el salvado de maíz fue el que mostró la menor digestibilidad. En general el maíz y la pasta de soya fueron los ingredientes con las mayores digestibilidades, teniendo resultados similares la harina de subproducto de pollo. Cabe resaltar que entre los aminoácidos esenciales se muestra a la lisina como el aminoácido que presenta la mayor digestibilidad entre tratamientos, como en las demás variables, el salvado de maíz presentó la menor digestibilidad. La treonina, presentó la menor digestibilidad entre todos los tratamientos, y dentro de ésta el tratamiento de pasta de soya es el que tiene la mayor digestibilidad y el salvado mezclado la menor.

Cuadro 7. Digestibilidad ileal aparente de materia seca, proteína cruda y aminoácidos de las dietas experimentales del experimento 1

Variable	Tratamiento	Salvado de Maíz	Pasta de Soya	Pasta de Canola	Harina de Sub. Pollo	Harina de Sub. Incub.	Salvado + Soya	Maíz + Soya	Sorgo + Soya	EEM
Digestibilidad ileal aparente										
Materia seca		64.0 ^c	84.9 ^a	82.3 ^{ab}	87.3 ^a	87.7 ^a	84.0 ^a	84.9 ^a	74.6 ^b	1.71
Proteína cruda		61.3 ^b	82.9 ^a	80.3 ^a	80.8 ^a	82.4 ^a	83.8 ^a	84.8 ^a	75.2 ^a	2.72
Aminoácidos esenciales										
Arginina		80.9 ^b	92.5 ^a	87.9 ^{ab}	88.8 ^a	90.2 ^a	89.5 ^a	93.4 ^a	87.6 ^a	1.48
Histidina		73.4 ^b	84.9 ^a	86.5 ^a	88.1 ^a	83.3 ^a	82.4 ^{ab}	88.1 ^a	79.5 ^{ab}	2.13
Isolucina		70.0 ^b	84.5 ^a	76.8 ^{ab}	81.6 ^a	82.5 ^a	80.4 ^{ab}	86.1 ^a	82.4 ^a	2.45
Leucina		81.3	86.4	83.3	83.7	84.8	84.0	87.8	83.3	1.90
Lisina		67.9 ^b	91.9 ^a	88.9 ^a	92.1 ^a	90.2 ^a	89.2 ^a	91.5 ^a	90.7 ^a	2.28
Metionina		74.6 ^{ab}	83.8 ^a	88.3 ^a	85.6 ^a	74.6 ^{ab}	73.6 ^{ab}	80.9 ^a	64.7 ^b	3.47
Fenilalanina		78.2 ^b	89.0 ^a	84.4 ^{ab}	84.8 ^{ab}	86.4 ^{ab}	84.6 ^{ab}	87.8 ^a	85.8 ^{ab}	1.89
Treonina		69.3	78.1	74.3	72.8	74.1	69.9	77.8	71.1	2.88
Valina		66.3 ^b	82.0 ^a	75.4 ^{ab}	77.3 ^{ab}	79.2 ^a	78.7 ^a	86.5 ^a	80.3 ^a	2.64
Aminoácidos no esenciales										
Alanina		77.9	77.1	80.1	78.8	76.6	76.3	81.5	75.2	2.60
Glicina		61.6 ^b	76.9 ^{ab}	79.0 ^a	74.6 ^{ab}	74.3 ^{ab}	72.2 ^{ab}	81.1 ^a	73.6 ^{ab}	3.58
Ac. Aspartico		69.6 ^b	84.8 ^a	79.8 ^{ab}	83.5 ^a	82.6 ^a	78.4 ^{ab}	84.2 ^a	81.3 ^a	2.16
Cistina		67.9 ^b	90.2 ^a	89.8 ^a	77.4 ^{ab}	80.5 ^{ab}	84.9 ^{ab}	85.2 ^a	84.3 ^{ab}	3.92
Ac. Glutámico		77.8 ^b	88.4 ^a	88.3 ^a	88.0 ^a	88.4 ^a	84.2 ^{ab}	89.1 ^a	85.9 ^a	1.78
Prolina		66.9 ^{bc}	86.0 ^a	74.9 ^{ab}	59.2 ^c	82.2 ^a	79.4 ^a	82.9 ^a	80.3 ^a	2.38
Serina		75.0	84.8	79.2	76.1	79.7	78.5	84.0	80.2	2.38
Tirosina		78.3 ^c	86.9 ^{ab}	78.7 ^{bc}	84.6 ^{abc}	84.7 ^{abc}	84.1 ^{abc}	87.6 ^a	82.2 ^{abc}	1.85

^{abc} Letras distintas en el mismo renglón son diferentes P<0.05

Cuadro 8. Digestibilidad ileal aparente de proteína cruda y aminoácidos de las materias primas del experimento 1

Variable	Tratamiento	Salvado de Maíz ^a	Pasta de Soya ^a	Pasta de Canola ^a	Harina de Sub. Pollo ^b	Harina de Sub. Incub. ^b	Salvado de Maíz ^b	Maíz ^b	Sorgo ^b
Digestibilidad ileal aparente									
Proteína cruda		61.3	82.9	80.3	74.6	81.1	86.7	87.0	61.0
<u>Aminoácidos esenciales</u>									
Arginina		80.9	92.5	87.9	77.2	82.7	80.2	94.1	78.3
Histidina		73.4	84.9	86.5	97.0	77.6	74.2	91.3	68.9
Isolucina		70.0	84.5	76.8	71.9	75.4	66.7	87.4	77.8
Leucina		81.3	86.4	83.3	74.9	79.3	76.0	88.9	76.9
Lisina		67.9	91.9	88.9	92.3	84.7	80.8	90.8	88.3
Metionina		74.6	83.8	88.3	89.9	45.4	42.0	77.3	28.6
Fenilalanina		78.2	89.0	84.4	71.5	78.0	70.9	86.2	79.6
Treonina		69.3	78.1	74.3	55.6	60.8	43.9	76.9	57.2
Valina		66.3	82.0	75.4	62.0	69.7	67.8	90.8	76.5
<u>Aminoácidos no esenciales</u>									
Alanina		77.9	77.1	80.1	82.2	73.7	72.3	85.6	70.7
Glicina		61.6	76.9	79.0	66.3	65.2	56.9	85.2	66.8
Ac. Aspartico		69.6	84.8	79.8	78.6	74.9	58.1	83.0	74.2
Cistina		67.9	90.2	89.8	38.4	50.8	68.2	79.4	73.0
Ac. Glutámico		77.8	88.4	88.3	86.2	79.8	71.0	89.7	80.9
Prolina		66.9	86.0	74.9	9.0	66.9	59.0	79.3	69.1
Serina		75.0	84.8	79.2	49.2	63.5	58.6	82.8	71.0
Tirosina		78.3	86.9	78.7	76.9	77.1	74.7	88.1	72.8

^a Digestibilidad estimada por el método directo

^b Digestibilidad estimada por el método de diferencia

Experimento 2

En el cuadro 9 se presentan los resultados de digestibilidad ileal aparente de materia seca, energía, proteína cruda y aminoácidos de las dietas compuestas del experimento 2. En cuanto a la digestibilidad de la materia seca se muestra que a partir del primer nivel de inclusión de salvado de maíz (12 % FDN) los coeficientes de digestibilidad aparente disminuyeron, mostrándose dos grupos, el tratamiento control con la mayor digestibilidad de entre todos los tratamientos (89.8%) y el que corresponde a los tres niveles de incorporación, los cuales promedian una digestibilidad de 82.8 %, siendo similares entre si ($P>0.05$), pero diferentes del control ($P<0.05$). Para el caso de la digestibilidad ileal aparente de la energía bruta se formaron dos grupos, el del tratamiento control con la digestibilidad más alta (90.9 %) y el de los tres niveles de incorporación del salvado de maíz, siendo similares entre si ($P>0.05$), pero diferentes del control ($P<0.05$). En cuanto a la proteína cruda se observó algo muy similar a lo ocurrido con la materia seca y la energía, un grupo que corresponde a la dieta control que fue el que mostró el valor más alto de digestibilidad (88.5 %) y, otro que corresponde a los tres niveles de incorporación de salvado de maíz (12 %, 13.5 % y 15 %) que promediaron una digestibilidad de 81.2 %; estos últimos siendo similares entre si ($P>0.05$), pero diferentes del tratamiento control ($P<0.05$). En lo que respecta a los aminoácidos, la digestibilidad ileal aparente se comportó de manera similar a lo observado para las variables anteriores. En el caso de los aminoácidos esenciales se observó que a medida que se incorporaba salvado de maíz como fuente de FDN se disminuía la digestibilidad en casi todos estos ($P<0.05$), no siendo así para los aminoácidos arginina, isoleucina, leucina, treonina y valina los cuales no mostraron diferencias entre si. De los aminoácidos esenciales, al igual que en el experimento 1 la treonina presenta la menor digestibilidad de todos los aminoácidos. Para los aminoácidos no esenciales se observó nuevamente que el tratamiento control es el que mostró mayor digestibilidad, disminuyendo ésta a medida que se incorporó salvado de maíz. Esta disminución fue mayor ($p<0.05$) para la glicina, cistina y

prolina que tuvieron una digestibilidad en el tratamiento control de 84.8 % hasta 76.3 % en el nivel 15% de FDN; de 90.3 % a 76.7 % para cistina y de 91.7 % a 79.6 % para prolina. De este grupo de aminoácidos los que no mostraron diferencias entre tratamientos ($P>0.05$) fueron alanina y tirosina. La comparación entre tratamientos a través de contrastes ortogonales muestra que de las variables analizadas, en cuanto a la digestibilidad ileal aparente, en este experimento se mostró un efecto lineal ante el incremento de FDN en la ración, excepto para los aminoácidos arginina, isoleucina, leucina, valina, alanina y tirosina los cuales no mostraron diferencias entre tratamientos.

En el cuadro 10 se presentan los resultados de la digestibilidad fecal de la proteína cruda, materia seca, energía y fibra detergente neutro del experimento 2. Para las variables analizadas, al igual que para la digestibilidad ileal aparente, se realizaron comparaciones entre tratamientos a través de contrastes ortogonales observándose en el caso de la proteína cruda un efecto de tipo cuadrático y para la materia seca y la energía un efecto lineal. En proteína cruda la mayor digestibilidad se presentó en el tratamiento control (86.9 %) siendo similar ($P>0.05$) al tratamiento con 13.5 % de FDN y este último fue similar ($P>0.05$) al tratamiento con el nivel máximo de FDN. De los cuatro tratamientos el nivel de 12 % de FDN presentó la menor digestibilidad, siendo similar ($P>0.05$) con la dieta 15 % de FDN y diferente ($P<0.05$) del control y de la dieta con 13.5% de FDN. La digestibilidad fecal de la materia seca mostró dos grupos, un grupo fue el control que presentó una digestibilidad de 88.6 % y, el otro lo conformaron los tres niveles de salvado de maíz como fuente de FDN, los cuales promediaron una digestibilidad de 82.3 %. Estos tres últimos son similares entre si ($P>0.05$), pero diferentes al tratamiento control ($P<0.05$). En lo que respecta a la digestibilidad fecal de la energía se observó lo mismo que para materia seca, un grupo en el que se encontró el tratamiento control con una digestibilidad de 88.7 % y, otro, en el que se encontraron los tres niveles de FDN (12 %, 13.5 % y 15 %) con un promedio de 81.8 %, siendo similares entre si ($P>0.05$), y diferentes al control

($P < 0.05$). La mayor digestibilidad de FDN la tuvo el tratamiento control (62.5 %), siendo similar ($P > 0.05$), al segundo y tercer nivel de salvado de maíz (13.5 % y 15 % de FDN), y diferente al nivel 12 % de FDN ($P < 0.05$). Por otro lado comparando a los tres niveles (12 %, 13.5 % y 15 %) se observa que son estadísticamente similares ($P > 0.05$) entre si.

Cuadro 9. Digestibilidad ileal aparente de materia seca, energía, proteína cruda y aminoácidos de dietas compuestas del experimento 2

Variable	Tratamiento	Control FDN 10.5%	FDN 12%	FDN 13.5%	FDN 15%	EEM
Digestibilidad ileal aparente						
Materia seca ^A		89.8	83.8	82.7	81.9	0.78
Energía ^A		90.9	86.0	84.6	83.8	0.78
Proteína cruda ^A		88.5	81.3	81.7	80.6	0.68
<u>Aminoácidos esenciales</u>						
Arginina		95.1	91.9	89.5	91.0	1.57
Histidina ^A		90.7	86.7	85.7	85.7	0.88
Isoleucina		84.7	83.8	83.4	83.1	1.53
Leucina		90.9	88.0	87.4	86.8	1.09
Lisina ^A		94.9	90.8	90.6	90.6	0.80
Metionina ^A		87.0	82.0	82.4	78.2	1.65
Fenilalanina ^A		94.6	92.1	91.9	91.4	0.35
Treonina		86.9	77.8	77.2	77.5	1.89
Valina		85.3	85.2	84.0	83.5	1.41
<u>Aminoácidos no esenciales</u>						
Alanina		86.9	81.0	80.3	81.5	1.31
Glicina ^A		84.8	79.3	77.4	76.3	1.58
Ac. Aspartico ^A		89.6	83.1	83.0	81.5	1.21
Cistina ^A		90.3	85.0	81.8	76.7	1.37
Ac. Glutámico ^A		92.0	88.1	87.7	86.9	0.92
Prolina ^A		91.7	89.1	83.9	79.6	1.44
Serina ^A		89.4	82.7	82.6	81.1	1.36
Tirosina		91.1	88.0	87.2	85.8	1.23

^A Efecto lineal P<0.05

Cuadro 10. Digestibilidad fecal de proteína cruda, materia seca, energía y FDN del experimento 2

Tratamiento Variable	Control 10.5%	FDN 12%	FDN 13.5%	FDN 15%	EEM
Proteína Cruda ^B	86.9	76.9	83.4	80.4	1.14
Materia Seca ^A	88.6	81.3	83.7	81.9	0.70
Energía ^A	88.7	81.4	84.1	80.0	0.69
FDN	62.5	47.8	55.2	51.2	2.74

^A Efecto lineal $P < 0.05$

^B Efecto cuadrático $P < 0.05$

7. DISCUSIÓN

Las digestibilidades que presentaron las dietas compuestas del primer experimento muestran valores que se asemejan a los resultados de digestibilidad obtenidos en dietas elaboradas con ingredientes similares. En general la dieta que incluyó salvado de maíz presenta los menores valores de digestibilidad, y de los aminoácidos esenciales, la treonina es el aminoácido que tiene la menor digestibilidad. Lo anterior confirma reportes de otras investigaciones en los cuales se menciona que en la digesta ileal las glicoproteínas de origen endógeno son ricas en este aminoácido, lo que provoca una menor digestibilidad de treonina; lo mismo sucede en el caso de los aminoácidos no esenciales alanina, glicina, cistina y prolina, los cuales de manera variable pero consistente presentan valores de digestibilidad bajos. Existen reportes de que estos aminoácidos están presentes en cantidades relativamente altas en cerdos que fueron alimentados con dietas libres de proteína (Lenis et al. 1996 y Sauer et al 1991).

Al evaluar las digestibilidades de las materias primas se observa que al igual que en las digestibilidades de las dietas compuestas, el maíz y la pasta de soya fueron más digestibles. De entre todos los aminoácidos esenciales la lisina es uno de los aminoácidos que tienen las mayores digestibilidades en la mayoría de los tratamientos y la treonina tiene valores de digestibilidad por abajo del promedio de los demás; y en los aminoácidos no esenciales alanina, glicina, cistina y prolina mostraron un comportamiento similar. La explicación de los bajos valores de digestibilidad de estos aminoácidos se encuentra en sus concentraciones relativamente altas en la digesta ileal. De los aminoácidos esenciales en la harina de subproducto de incubadora, la metionina tuvo la menor digestibilidad, 45.38 %, valor inferior a las digestibilidades que muestra este aminoácido en las demás materias primas. La cistina para esta materia prima también muestra una baja digestibilidad, sin embargo la cistina muestra su menor valor en el tratamiento de harina de subproducto de pollo. Lo observado en el caso de estos aminoácidos

(metionina y cistina) puede deberse a que estos subproductos son ricos en estos aminoácidos pero se presentan con una baja disponibilidad lo que los hace poco digestibles y por lo tanto sus porcentajes de recuperación a nivel ileal son mayores.

El efecto depresivo del incremento de FDN sobre la digestibilidad ileal aparente en el presente trabajo se observó a partir del primer nivel de inclusión de salvado observándose una disminución de 6.04 % en la digestibilidad ileal aparente de la materia seca cuando el nivel de FDN se incrementó de 10.5 a 12 % y conforme existió este incremento se presentó una disminución de tipo lineal. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Sauer et al. (1991) quienes observaron una disminución en la digestibilidad de la materia seca cuando se utilizaron como fuentes de fibra paja de trigo y un aislado de fibra; coincidiendo también con Huang et al. (2001) quienes utilizaron aislados de fibra detergente neutro, observaron que conforme se incrementó el nivel de FDN la digestibilidad ileal de la materia seca disminuía linealmente.

De la misma manera, la digestibilidad ileal aparente de la energía fue afectada por el incremento en el nivel de FDN, teniendo reducciones de 4.9 % del tratamiento control al nivel de 12 % y a medida que el nivel de FDN se incrementó la digestibilidad disminuyó linealmente. Estos datos concuerdan con los presentados por den Hartog et al. (1988) quienes demostraron que la incorporación de cualquier fuente de fibra disminuía la digestibilidad de la energía; y también con los reportados por Sauer et al (1991) quienes reportaron que se disminuyó la digestibilidad de la energía de manera lineal al utilizar dos fuentes de fibra como son paja de trigo y un aislado de fibra.

Al igual que para la materia seca y la energía, la digestibilidad ileal aparente de la proteína cruda se vio afectada por el incremento de FDN. El tratamiento control presentó una digestibilidad de 88.5 % y esta disminuyó 7.13 unidades

porcentuales al incrementarse a 12 % el nivel de FDN. A partir de este nivel no hubo diferencia debida al incremento de FDN a causa del salvado de maíz, sin embargo se observó un efecto lineal ante cada incremento de la fibra detergente neutro. La disminución en la digestibilidad de la proteína cruda observada en el presente estudio concuerda con lo reportado por Huang et al. (2001), quienes demostraron que ante la incorporación de aislados de fibra detergente neutro la digestibilidad ileal aparente de la proteína sufrió una disminución lineal; coincidiendo también con lo reportado por Sauer et al. (1991), quienes utilizaron diferentes fuentes y niveles de fibra para ver su efecto sobre la digestibilidad, comprobaron que la proteína cruda presentó valores de digestibilidad bajos cuando se emplearon dietas con alto contenido de fibra, independientemente de la fuente de esta. Por otro lado también Varel y Yen (1997) y den Hartog et al. (1988) señalaron que el nivel de fibra disminuyó la digestibilidad de la proteína cruda, y según Caspar (2001) esta disminución es más drástica cuando se observan los resultados a nivel ileal.

En lo que respecta a los aminoácidos se pudo observar una respuesta lineal, teniendo en general el tratamiento control los mayores valores de digestibilidad, y los tres niveles de FDN (12, 13.5 y 15 %) valores similares entre si pero con una tendencia a una disminución lineal. En esta investigación se observó que de los aminoácidos esenciales en el tratamiento control la arginina mostró la más alta digestibilidad, coincidiendo esto con lo reportado por Sauer et al. (1991), quienes mencionan que en dietas a base de diferentes fuentes de fibra, la arginina fue el aminoácido que mostró la mayor digestibilidad. En este estudio, treonina fue el aminoácido esencial que mostró el menor valor de digestibilidad, teniendo en promedio un valor inferior de 80 %; éste resultado coincide al presentados por Sauer et al. (1991) quienes reportaron que la treonina presenta regularmente los menores valores de digestibilidad aún en dietas que son libres, o con bajos niveles de fibra. De los aminoácidos no esenciales en este experimento la glicina, cistina y prolina fueron los aminoácidos más afectados en sus valores de digestibilidad ileal

aparente; a medida que se incrementó el nivel de FDN. La glicina mostró una digestibilidad que fue de 84.8 % a 76.3 % para el nivel de 15 % de FDN, ese valor fue inferior a los demás. Estos resultados son similares a los mostrados por Lenis et al. (1996), quienes mencionan que de los aminoácidos no esenciales la glicina es de los que presentan los menores valores de digestibilidad, teniendo una reducción hasta del 12 % esto al utilizar un purificado de fibra de salvado de trigo. En el caso de la cistina el tratamiento control presentó una digestibilidad de 90.3 %, disminuyéndose de manera lineal la digestibilidad conforme existió un incremento en el nivel de FDN, llegando hasta un valor de 76.7 % en el máximo nivel de FDN (15%), este valor estuvo por abajo del presentado por los demás tratamientos y para el resto de los aminoácidos. Por otro lado la prolina fue el aminoácido que mostró una marcada disminución en la digestibilidad, de 91.7 % para el tratamiento control, hasta 79.6 % para el nivel máximo de FDN. Estos resultados concuerdan con los de Lenis et al. (1996), quienes al utilizar un purificado de salvado de trigo observaron primeramente una disminución en la digestibilidad ileal aparente de la cistina del 18 %, siendo similares a los resultados presentados por Sauer et al. (1991) , quienes además de la reducción en la digestibilidad que muestra la cistina también mencionan a la prolina como uno de los aminoácidos con bajos valores de digestibilidad cuando los niveles de FDN se incrementan. Lenis et al. (1996), mencionan que además de la cistina y glicina, la alanina también disminuye su digestibilidad, no siendo así en el presente trabajo.

Una de las causas de la disminución en la digestibilidad de la materia seca, proteína, energía y aminoácidos está determinada por el efecto que tiene la fibra sobre la tasa de paso a través de todo el tracto digestivo, haciendo que los nutrimentos presentes en el intestino delgado sean indisponibles para las enzimas. En el caso de la proteína se menciona que la fibra tiene la capacidad de adherir a la tripsina y la quimiotripsina, enzimas necesarias para el desdoblamiento de las cadenas de aminoácidos motivo por el cual no pueden ejercer su acción (den Hartog et al., 1998). Otra de las causas por las que se pueden presentar bajas

digestibilidades de los nutrimentos está en función del tipo o fuente de fibra ya que se ha comprobado que cuando el ingrediente contiene en su estructura componentes solubles se favorecerá la formación de geles en torno al bolo alimenticio, impidiendo de esta forma que las enzimas actúen sobre los sustratos presentes en el intestino delgado (Caspar, 2001; Svihus et al., 2000). En el caso particular de este experimento se puede mencionar que el salvado de maíz empleado tiene una cantidad de fibra dietética soluble de aproximadamente 20 % y la pasta de soya de 50 %, cantidades que probablemente hayan favorecido la formación de gel impidiendo así que los nutrimentos presentes en el bolo alimenticio pudieran ser desdoblados y absorbidos a nivel intestino delgado.

Por otro lado se menciona que la fibra dietética tiene la posibilidad de unir a través de atracciones electrostáticas a los componentes del bolo alimenticio, uniendo de esta forma a su estructura nutrimentos que en su defecto, y en condiciones normales estarían disponibles para ser desdoblados y absorbidos, pero ante esta situación, y debido a que los enlaces que forma la fibra con los nutrimentos son difíciles de hidrolizar, hacen indisponibles para las secreciones digestivas a los componentes del alimento (Fernández y Jorgensen, 1986; Moughan et al. 1999). Otra de las posibles causas en la disminución del aprovechamiento de los sustratos presentes en el intestino, puede ser que la fibra dietética tiene como parte de su estructura a nutrimentos como son proteína y algunos polisacáridos los cuales pueden aportar nutrimentos útiles para el animal, pero debido a las características propias de la fibra que la hacen indigestible tanto a las secreciones como a las enzimas, estos nutrimentos no pueden ser desdoblados ya que se vuelven inaccesibles porque estas enzimas no son capaces de desdoblar a los componentes de la pared celular y por lo tanto tampoco a los componentes celulares. (Lenis et al., 1996). En el caso particular de treonina, glicina, cistina y prolina al igual que en el caso de digestibilidad de las dietas y de materias primas del primer experimento, mostraron digestibilidades consistentemente menores con respecto a los demás, lo que confirma la presencia de estos aminoácidos en las

secreciones de origen endógeno como son las glicoproteínas. También es posible considerar que a medida que se fue incrementando el nivel de FDN en la ración, la digestibilidad de estos aminoácidos decreció de una manera más notoria que para el resto de los aminoácidos, lo que puede deberse a que el contenido intestinal tenía proporcionalmente más materia seca aportada por el salvado de maíz, provocando que la secreción de moco por parte de las células del intestino delgado estuviera incrementada por efecto del material fibroso, lo que consecuentemente favoreció una mayor cantidad de treonina, alanina, glicina, prolina y cistina disminuyéndose de esta manera la digestibilidad de estos aminoácidos.

En el presente trabajo se mostró una respuesta cuadrática en la digestibilidad fecal aparente de la proteína cruda. El tratamiento control fue el que tuvo la mayor digestibilidad de entre todos los tratamientos. Algo contrario a lo que se esperaba, es que no se mostró un efecto de tipo lineal como el que se presentó para el caso de todas las variables en la digestibilidad ileal, ya que en este caso de digestibilidad fecal, la proteína, en el segundo nivel de FDN (12%), tuvo una disminución de 10 puntos porcentuales, alejándose de esta manera del efecto lineal esperado; y los niveles de 13.5 y 15 % mostraron un efecto menos severo teniendo una reducción de aproximadamente 5 % con una tendencia al efecto lineal en cuanto a la disminución en la digestibilidad por efecto del incremento de FDN. Autores como Lenis et al. (1996) y den Hartog et al. (1988), demostraron que la digestibilidad fecal de nitrógeno disminuyó en función de un incremento progresivo en los niveles de FDN, mencionando también que este efecto era marcado cuando se evaluaba la digestibilidad de aminoácidos, siendo la metionina el aminoácido que presentaba los menores valores de digestibilidad.

Materia seca y energía mostraron un comportamiento muy similar a lo observado en la digestibilidad ileal aparente. Su digestibilidad fecal aparente disminuyó

linealmente a medida que se incorporó el salvado de maíz como fuente de FDN en las dietas de 12, 13.5 y 15 %.

El comportamiento que mostraron las variables en cuanto a digestibilidad fecal aparente puede explicarse de varias maneras, por una parte se menciona que dos terceras partes de la materia orgánica fermentada por los microorganismos en el intestino grueso puede ser utilizada por el animal, a pesar de que los productos absorbidos por esta vía son utilizados de manera menos eficiente que los absorbidos a nivel de intestino delgado (Caspar, 2001; Christensen et al., 1999; Kass et al., 1980; Stanogias et al., 1985; Varel, 1987). También es importante mencionar que dependiendo del tipo de fibra que se encuentre en el intestino grueso, y de condiciones como son la temperatura corporal y presencia de sustratos el crecimiento bacteriano va a verse modificado (Anugwa et al., 1989; van Laar et al., 2000; Kass et al., 1980a; Varel, 1987 y Varel y Yen, 1997). Por otro lado también se menciona que los ácidos grasos volátiles producidos por la fermentación del material fibroso presente en el intestino grueso, van a favorecer un proceso de proliferación de células intestinales y consecuentemente el crecimiento del intestino (Caspar, 2001 y Fernández y Jorgensen, 1986). En el caso de este experimento la digestibilidad fecal aparente la proteína cruda mostró una mayor disminución en el tratamiento con 12 % de FDN, comparándolo con el control. Los niveles 13.5 y 15 % de FDN disminuyeron en menor grado que el nivel 12 %. Lo sucedido en este tratamiento puede ser debido a que esta dieta tiene una menor cantidad de FDN aportada por el salvado de maíz y al tener poca FDN el material presente en el intestino grueso fue más fermentable, desencadenándose de esta forma un proceso de proliferación bacteriana para desdoblar los nutrimentos disponibles, lo que pudo haber incrementado la cantidad de nitrógeno de origen bacteriano recuperado a nivel fecal, teniendo consecuentemente un valor de digestibilidad fecal aparente menor con respecto a los tratamientos 13.5 y 15 %, los cuales mostraron valores de digestibilidad

mayores al nivel de 12 %. De las variables analizadas se mostró la FDN con una tendencia al efecto lineal, sin embargo esto no fue significativa ($p>0.05$).

8. CONCLUSIONES

1. La dieta de salvado de maíz presentó la menor digestibilidad, posiblemente por el efecto que tiene una dieta alta en fibra sobre la digestibilidad de los nutrimentos.
2. Los aminoácidos treonina, alanina, glicina, cistina y prolina fueron los que mostraron las menores digestibilidades.
3. El maíz y las pasta de soya fueron los ingredientes más digestibles.
4. La cistina fue poco digestible en la harina de subproductos de pollo y harina de subproductos de incubadora.
5. Metionina tuvo una baja digestibilidad en la harina de subproductos de incubadora.
6. El nivel de fibra detergente neutro disminuyó linealmente la digestibilidad ileal aparente de la materia seca, la energía y la proteína cruda.
7. El nivel de FDN no afectó la digestibilidad de arginina, isoleucina y valina.
8. Glicina, cistina y prolina fueron los aminoácidos más afectados en su digestibilidad ileal aparente ante el incremento de FDN en la ración.
9. La digestibilidad fecal aparente de proteína cruda, materia seca y energía disminuyó conforme se incrementó la FDN.

9. BIBLIOGRAFIA

- Anugwa F. O. I.; Varel V. H.; Dickson J. S. ; Pond W. G. ; Krook L. P. 1989. Effects of dietary fiber and protein concentration on growth, feed efficiency, visceral organ weights and large intestine microbial populations of swine. *J. Nutr.* 119: 879-886.
- AOAC. 1995. Association of Official Analytical Chemist. 16 Th. Ed. Official Methods of Analysis, Washington, D. C.
- Bjerregaard I. C.; Sorensen H.; Sorensen S. 1997. Dietary Fibres. Important parts of high quality food and feeds. *J. Anim. Feed Sci.* 6: 145-161.
- Case; Carey; Hirakawa. 1995. *Nutrición Canina y Felina. Manual para Profesionales.* Harcourt Brace. Madrid, España. 1995. Capítulo 2: 17-20
- Caspar W. 2001. The role of dietary fiber in the digestive physiology of the pig. *Anim. Feed Sci. Technol.* 90: 21-23.
- Christensen D. N.; Knudsen K. E. B. ; Wolstrup J.; Jensen, B. B. 1999. Integration of ileum cannulated pigs and in vitro fermentation to quantify the effect of diet composition on the amount of short-chain fatty acids available from fermentation in the large intestine. *J. Sci. Food Agric.* 79: 755-762.
- den Hartog L. A.; Huisman J.; Thielen W. J. G.; van Schayk G. H. A.; Boer H.; van Weerden E. J. 1988. The effect of including various structural polysaccharides in pig diets on ileal and faecal digestibility of amino acids and minerals. *Livest. Prod. Sci.* 18: 157-170.

- Fan M. Z.; Sauer W. C. 1995. Determination of apparent ileal 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.; McBurney M. I. 1995. Estimation by regression analysis of endogenous amino acid levels in digesta collected from the distal ileum of pigs. *J. Anim. Sci.* 73: 2319-2328.
- Fenton T. W.; Fenton M. 1979. An improved procedure for determination of chromic oxide in feed and feces. *Can. J. Anim. Sci.* 59-63.
- Fernández J. A.; Jorgensen J. N. 1986. Digestibility and absorption of nutrients as affected by fibre content in the diet of the pig. Quantitative aspects. *Livest. Prod. Sci.* 15: 53-71.
- Février C.; Lechevestrier Y.; Lebreton Y.; Jaguelin-Peyraud Y. 2001. Prediction of the standardized ileal true digestibility of amino acids from the chemical composition of oilseed meals in the growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 90: 103-115.
- Guisi-Perier A.; Fiszlewics M.; Rérat A. 1989. Influence of diet composition on intestinal volatile fatty acid and nutrient absorption in unanesthetized pigs. *J. Anim. Sci.* 67: 386-402.
- Huang S. X.; Sauer W. C.; Marty B. 2001. Ileal digestibilities of neutral detergent fiber, crude protein, and amino acids associated with neutral detergent fiber in wheat shorts for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 2388-2396.

- Huang S. X.; Sauer W. C.; Marty B.; Hardin R. T. 1999. Amino acid digestibility in different samples of wheat shorts for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 77: 2469-2477.
- Ikegami S.; Tsuchihashi F.; Harada H.; Tsuchihashi N.; Nishide E.; Innami S. 1990. Effect of viscous indigestible polysaccharides on pancreatic-biliary secretion and digestive organs in rats. *J. Nutr.* 120: 353-360.
- Johansen H. N. Knudsen K. E. B.; Sandstrom B.; Skjoth F. 1996. Effects of varying content of soluble dietary fibre from wheat flour and oat milling fractions on gastric emptying in pigs. *Br. J. Nutr.* 75: 339-351.
- Kass M. L.; van Soest P. J.; Pond W. G.; Lewis B.; McDowell R. E. 1980a. Utilization of dietary fiber from alfalfa by growing swine. I. Apparent digestibility of diet components in specific segments of the gastrointestinal tract. *J. Anim. Sci.* 50: 175-191.
- Kass M. L.; van Soest P. J.; Pond W. G. 1980b. Utilization of dietary fiber from alfalfa by growing swine. II. Volatile fatty acid concentrations in and disappearance from the gastrointestinal tract. *J. Anim. Sci.* 50: 192-197.
- Knowles T. A.; Southern L. L.; Bidner T. D.; Kerr B. J.; Friesen K. G. 1998. Effect of dietary fiber or fat in low – crude protein, crystalline amino-supplemented diets for finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 76: 2818-2832.
- Larsen F. M.; Moughan P. J.; Wilson M. N. 1993. Dietary fiber viscosity and endogenous protein excretion at the terminal ileum of growing rats. *J. Nutr.* 123: 1898-1904.

- Larsen F. M.; Wilson M. N.; Moughan P. J. 1994. Dietary fiber viscosity and amino acid digestibility, proteolytic digestive enzyme activity and digestive organ weights in growing rats. *J. Nutr.* 124: 833-841.
- Lehninger A. L. 1995. *Principios de Bioquímica. Segunda Edición.* Ediciones Omega. Barcelona, España. Pág. 197-207.
- Lenis N. P.; Bikker P.; van der Meulen J.; van Diepen J. Th. M.; Bakker J. G. M.; Jongbloed A. W. 1996. Effect of dietary neutral detergent fiber on ileal digestibility and portal flux of nitrogen and amino acids and on nitrogen utilization in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 74: 2687-2699.
- Longland A. C.; Low A. G.; Quelch D. B.; Bray S. P. 1993. Adaptation to the digestion of non-starch polysaccharide in growing pigs fed on cereal or semi-purified basal diets. *Br. J. Nutr.* 70: 557-566.
- Low A. G. 1982. Digestibility and availability of amino acids from feedstuffs of pigs: A review. *Livest. Prod. Sci.* 9: 511-520.
- Mariscal L. G.; Sève B.; Colléaux Y.; Lebreton Y. 1995. Endogenous amino nitrogen collected from pigs with end-to-end ileorectal anastomosis is affected by the method of estimation and altered by dietary fiber. *J. Nutr.* 125: 136-146.
- Mc Carthy J. F.; Aherne F. X.; Okat D. B. 1974. Use of insoluble ash an index material for determining apparent digestibility with pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 54: 107-109.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

- Mosenthin R.; Sauer W.C.; Ahrens F. 1994. Dietary pectin's effect on ileal and fecal amino acid digestibility and exocrine pancreatic secretions in growing pigs. *J.Nutr.* 124: 1222-1229.
- Moughan P. J.; Annison G.; Rutherford S. M.; Wiseman J. 1999. The chemical and physical description of feedstuffs. Australian Food Council, Barton ACT 2600. Australia.
- NAP. 2001. Dietary reference intakes proposed definition of dietary fiber. A report of the panel on the definition of dietary fiber and the standing committee on the scientific evaluation of dietary reference intakes. Food and Nutrition Board. Institute of Medicine. Washington, D. C. Pág. 1-48.
- Pöhland U.; Souffrant W. B. Sauer W. C. ; Mosenthin R. ; de Lange C. F. M. 1993. Effect of feeding different diets on the exocrine pancreatic secretion of nitrogen, amino acids and enzymes in growing pigs. *J. Sci. Food Agric.* 62: 229-234.
- Pond W. G. 1987. Thoughts on fiber utilization in swine. *J. Anim. Sci.* 65: 497-499.
- Pond W. G.; Jung H. G.; Varel V. H. 1988. Effect of dietary fiber on young adult genetically lean, obese, and contemporary pigs: body weight, carcass measurements, organ weights and digesta content. *J. Anim. Sci.* 66: 699-706.
- Potkins Z. V.; Lawrence T. L. J.; Thomlinson J. R. 1991a. Effects on ileal apparent digestibility in the growing pig of replacing barley with bran, oatmeal by-product, guar gum and pectin. *Anim. Feed Sci. Technol.* 35: 171-179.

- Potkins Z. V.; Lawrence T. L. J.; Thomlinson J. R. 1991b. Effects of structural and non-structural polysaccharides in the diet of the growing pig on gastric emptying rate of passage of digesta to the terminal ileum and through the total gastrointestinal tract. *Br. J. Nutr.* 65: 391-413.
- Ramonet Y.; Meunier-Salaün M. C.; Dourmad J. Y. 1999. High-fiber in pregnant sows: digestive utilization and effects on the behavior of animals. *J. Anim. Sci.* 77: 591-599.
- Reis T. C.; Mar B. B.; Mariscal L. G. 2000. Canulación de cerdos posdestete para pruebas de digestibilidad ileal: Desarrollo de una metodología. *Tec. Pecu. Méx.* 39: 143-150.
- Rerat A.; Fiszlewics M.; Guisi A.; Vaugelade P. 1987. Influence of meal frequency on postprandial variations in the production and absorption of volatile fatty acids in the digestive tract of conscious pigs. *J. Anim. Sci.* 64: 448-456.
- Rodriguez-Palenzuela P., García J., de Blas C. Fibra soluble y su implicación en nutrición animal: enzimas y probióticos. XIV Curso de Especialización Avances en Nutrición y Alimentación Animal. Universidad Politécnica de Madrid.
- Rushen S. J.; Farmer C. 1999. Effects of oat-based high-fibre diet on insulin, glucose, cortisol and free fatty acid concentrations in gilts. *Anim. Sci.* 69: 395-401.
- SAS., 1999. SAS/STAT User's Guide. SAS Inst. Inc., Cary, N. C. USA.

- Sauer W. C.; Mosenthin R.; Ahrens F.; den Hartog L. A. 1991. The effect of source of fiber on ileal and fecal amino acid digestibility and bacterial nitrogen excretion in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 69: 4070-4077.
- Scharama J. W.; Bakker G. M. C. 1999. Changes in energy metabolism in relation to physical activity due to fermentable carbohydrates in group-housed growing pigs. *J. Anim. Sci.* 77: 3274-3280.
- Schulze H.; van Leeuwen P.; Verstegen M. W. E.; Huisman J.; Souffrant W. B.; Ahrens F. 1994. Effect of level of dietary neutral detergent fiber on ileal apparent digestibility and ileal nitrogen losses in pigs. *J. Anim. Sci.* 72: 2362-2368.
- Schulze H.; van Leewen P.; Verstegen M. W. A.; van den Berg J. W. O. 1995. Dietary level and source of neutral detergent fiber and ileal endogenous nitrogen flow in pigs. *J. Anim. Sci.* 73: 441-448.
- Souffrant W. B. 2001. Effect of dietary fibre on ileal digestibility and endogenous nitrogen losses in the pig. *Anim. Feed Sci. Technol.* 90: 93-102.
- Stahly T. S.; Cromwell G. L. 1986. Responses to dietary additions of fiber (alfalfa meal) in growing pigs housed in a cold, warm or hot thermal environment. *J. Anim. Sci.* 63: 1870-1876.
- Stanogias G.; Pearce G. R. 1985a. The digestion of fiber by pigs. The effects of amount and type of fibre on apparent digestibility, nitrogen balance and rate of passage. *Br. J. Nutr.* 53: 513-530.

- Stanogias G.; Pearce G. R. 1985b. The digestion of fibre by pigs. Volatile fatty acid concentrations in large intestine digesta. *Br. J. Nutr.* 53: 531-536.
- Stanogias G.; Pearce G. R. 1985c. The digestion of fibre by pigs. The effects of amount and type of fibre on physical characteristics of segments of the gastrointestinal tract. *Br. J. Nutr.* 53: 537-548.
- Steel R. G.; Torrie J. H. 1985. *Bioestadística Principios y Procedimientos. Capítulo 9. Análisis de Varianza II: Clasificaciones múltiples.* Ed. Mc Graw Hill. Pág. 188-226.
- Svihus B.; Edvardsen D. H.; Bedford M. R.; Gullord M. 2000. Effect of methods of analysis and heat treatment on viscosity of wheat, barley and oats. *Anim. Feed Sci. Technol.* 88: 1-12.
- Tejada I. 1992. *Control de calidad y análisis de alimentos para animales. Sistema de Educación Continua en Producción Animal, A.C. México.*
- Trowell H.; Burkitt D.; Heaton K. 1985. *Dietary fibre, Fibre-Depleted foods and disease.* Ed. Academic Press Inc. London U. K. Capítulo 7: 133-144.
- van Laar H.; Tamminga S.; Williams B. A.; Verstegen M. W. A. 2000. Fermentation of endosperm cell walls of monocotyledon and dicotyledon plant species by faecal microbes from pigs. The relationship between cell wall characteristics and fermentability. *Anim. Feed Sci. Technol.* 88: 13-20.
- van Soest P. J.; Roberston J. B.; Lewis B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.

- Varel V. H. 1987. Activity of fiber-degrading microorganisms in the pig large intestine. *J. Anim. Sci.* 65: 488-496.
- Varel V. H.; Yen J. T. 1997. Microbial perspective on fiber utilization by swine. *J. Anim. Sci.* 75: 2715-2722.
- William W.; Cole D.J.A. 1985. Recent advances in animal nutrition. Cap. 2 Definition of fibre in animal feeds. Ed. Butterworths. Pag. 55-70.
- Wiseman J.; Redshaw M.S.; Jagger S.; Nute G. R.; Whittington F. W.; Wood J. D. 1999. Influence of type and dietary rate of inclusion of non-starch polysaccharides on skatole content and meat quality of finishing pigs. *Anim. Sci.* 69: 395-401.