



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

EFFECTO DE CUATRO SORGOS CON  
DIFERENTES NIVELES DE TANINOS  
SOBRE LA DIGESTIBILIDAD ILEAL DE LA  
PROTEINA, AMINOACIDOS Y ACTIVIDAD  
ENZIMATICA EN CERDOS EN  
CRECIMIENTO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

(NUTRICION ANIMAL)

PRESENTA:

ING. ZOOT. JUAN HUMBERTO AVELLANEDA CEVALLOS

ASESOR: DR. GERARDO MARISCAL LANDIN

CUAUTITLAN IZCALLI EDO. DE MEXICO

1999

TESIS CON  
FALLA DE COPIA

274219



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## RESUMEN

### EFFECTO DE CUATRO SORGOS CON DIFERENTES NIVELES DE TANINOS SOBRE LA DIGESTIBILIDAD ILEAL DE LA PROTEINA, AMINOACIDOS Y ACTIVIDAD ENZIMATICA EN CERDOS EN CRECIMIENTO

**Juan Humberto Avellaneda Cevallos**  
**Asesor : Dr. Gerardo Mariscal-Landín**

Con el objeto de evaluar el efecto del contenido de taninos condensados de cuatro tipos de sorgos, sobre la digestibilidad ileal de nutrientes y la actividad de las proteasas pancreáticas en cerdos, se realizaron dos estudios. En el primero, 18 cerdos castrados canulados antes de la válvula ileo-cecal fueron alimentados con dietas formuladas para contener 9 % de proteína cruda. Las dietas contenían niveles diferentes de taninos (0.13, 0.40, 0.83 y 0.91 %) como tratamiento. El diseño experimental utilizado fue de bloques fijos, con el peso vivo como criterio de bloqueo. Las variables de respuesta fueron la digestibilidad ileal aparente (DIA) de la materia seca, proteína y aminoácidos y verdadera (DIV) de la proteína y aminoácidos. La DIA de la materia seca disminuyó ( $P < 0.05$ ) en 8.68 y 10.84 % cuando el nivel de taninos pasó de 0.13 a 0.40 y 0.91 % (78.07 vs 71.29 y 69.60 % respectivamente). Similarmente, la DIA de la proteína decreció ( $P < 0.05$ ) cuando el nivel de taninos se incrementó de 0.13 a 0.40 % de taninos, teniendo este incremento un efecto detrimental de 16.22 %. En el resto de los tratamientos no se observaron diferencias ( $P > 0.05$ ). Un nivel de taninos 3 veces superior (0.13 vs 0.40 %), disminuyó ( $P < 0.05$ ) en un 13.45 % la DIV de la proteína (80.55 vs 69.71 %

respectivamente). La DIA de los aminoácidos isoleucina, lisina, treonina, valina y triptófano, decreció ( $P < 0.05$ ) en 11.96, 36.56, 38.64, 14.81 y 19.07 %, respectivamente, cuando el nivel de taninos pasó de 0.13 a 0.40 %. La DIV de los aminoácidos histidina, isoleucina, lisina, metionina, treonina y valina, disminuyó ( $P < 0.05$ ) en 13.06, 11.09, 23.91, 11.87, 28.85 y 13.74, respectivamente, cuando el nivel de taninos se incrementó de 0.13 a 40 %. No se observaron diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ) para la DIV de estos aminoácidos entre los demás tratamientos estudiados. En el experimento 2, se utilizaron los mismos 18 cerdos del experimento 1, para evaluar la actividad enzimática específica (AEE) y total (AET) de la tripsina y de la quimotripsina en el tejido pancreático (TP) y en el contenido intestinal (CI). El diseño experimental utilizado fue de bloques fijos, con el peso vivo como criterio de bloqueo. Las dietas proporcionadas fueron las mismas que en el primer experimento. No se presentaron diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ) en la AEE y AET de la tripsina y quimotripsina en el TP, y de la AET en CI de yeyuno e íleon. Se presentaron diferencias ( $P < 0.05$ ) en la AET de tripsina en el CI de duodeno cuando el nivel de taninos pasó de 0.13 a 0.83 y 0.91 %, con ligeros incrementos en la AET de 1056.86 y 2244.26 UI/g de digesta, respectivamente.

## **DEDICATORIA**

Dedico mi tesis de grado a mis seres más queridos, por el amor, comprensión, sacrificio y apoyo que me brindaron.

A la memoria de mi querido y siempre recordado Padre, Juan Avellaneda Reales.

A mi tierna y adorada madre, Laura Cevallos.

A mi esposa María Antonieta Vázquez C. y a mi hijo Juan Pablo, que son todo en mi vida y a quienes quiero y amo mucho.

A mis hermanos Amparo, Zetty y Marcos

A mis sobrinas y sobrinos.

A mi primo Gary.

A mis suegros y Cuñados.

A mis amigos de Ecuador, Ings. Eva Arechua, Jenny Torres, Manuel Haz, Julio César Vargas, Julio Rivera, George Aguirre, Luis Jaramillo, Néstor, Roque, Gorky, Dr. Sixto Sánchez, Marco Castro, Glenda, Carmita, Mayra Viteri, Blanquita.

A mis compañeros y amigos de la Maestría, María Luz, Héctor Jairo, Marcelo, José Cruz, Benito Mar, José María, Juan Serafín, Lorenzo.

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor agradece por su colaboración, apoyo y dedicación constante para la realización de sus estudios de posgrado y para la culminación de la presente tesis a:

Dr. Gerardo Mariscal Landín, Asesor del presente trabajo. Así como a los Dres. Carlos Vásquez Peláez, Fernando Cisneros González, Sergio Gómez Rosales, Germán Borbolla Sosa, sinodales del mismo.

A la U.G.R.P.G. (Unión Ganadera Regional de Porcicultores de Guanajuato) y a la Fundación Guanajuato Produce A.C. por el Financiamiento brindado para la realización del presente trabajo de investigación.

Ings. Manuel Haz, Rector de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo; Gorky Díaz Coronel, Coordinador de la Unidad de Investigaciones; Roque Vivas, Decano de la Facultad de Ingeniería Zootécnica; a los miembros del Honorable Consejo Universitario así como también a todos los empleados y trabajadores de la UTEQ.

Dr. Nelson Robbely, Director de FUNDACYT; Lcd. Kim Killingsworth, Christina Korinek, Asesoras del Programa FUNDACYT-LASPAU; Ings. Irma Jara y Edgar Izquierdo, Coordinadores de Capacitación, por el apoyo económico para la realización de mis estudios de posgrado.

Al M.V.Z. José Rafael Morales Cruz, Director de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro, a la M.C. Araceli Aguilera Barreyro, Coordinadora del Laboratorio de Nutrición Animal, así como a la Dra. Tércia Cesária Reis de Souza, catedrática de ésta Facultad, por la asesoría y apoyo brindado en la determinación de la actividad de las enzimas estudiadas.

A los Drs. José Luis Romano, Myriam Leal, Armando Shimada, Irma Tejada, Lilia Soto, Felipe Ruiz, Quim. Erika Ramírez, así como a las demás personas que laboran en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias de México (INIFAP).

## CONTENIDO

	Página
<b>RESUMEN</b> .....	ii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	v
<b>CONTENIDO</b> .....	vii
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	x
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	xii
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. REVISION DE LITERATURA</b> .....	3
<b>2.1. La digestibilidad como método para determinar el valor biológico de los alimentos</b> .....	3
2.1.1. Importancia de determinar la digestibilidad .....	3
2.1.2. Definición de digestibilidad .....	3
2.1.3. Factores que afectan a la digestibilidad .....	5
2.1.4. Tipos de digestibilidad .....	7
2.1.4.1. <b>Digestibilidad fecal</b> .....	7
2.1.4.2. <b>Digestibilidad ileal</b> .....	7
2.1.5. <b>Métodos para determinar la digestibilidad</b> .....	8
2.1.5.1. <b>Método directo</b> .....	8
2.1.5.2. <b>Método de diferencia</b> .....	9

2.1.5.3. <b>Método de regresión</b> .....	10
2.1.6. Técnicas para determinar la digestibilidad ileal .....	11
2.2. <b>Generalidades y estructura del grano de sorgo</b> .....	13
2.3. <b>Composición química del grano de sorgo</b> .....	15
2.4. <b>Valor biológico del grano de sorgo</b> .....	16
2.5. <b>Taninos</b> .....	17
2.5.1. Definición .....	17
2.5.2. Clasificación de los taninos .....	17
2.5.3. Métodos utilizados para la determinación de taninos .....	18
2.5.4. Efectos de los taninos sobre la digestibilidad .....	21
3. <b>HIPÓTESIS</b> .....	23
4. <b>OBJETIVOS</b> .....	23
5. <b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	24
5.1. <b>Localización</b> .....	24
5.2. <b>Experimento 1</b> .....	25
5.2.1. Animales .....	25
5.2.2. Tratamientos y diseño experimental .....	26
5.2.3. Mediciones experimentales .....	30
5.2.4. Análisis estadístico .....	32
5.3. <b>Experimento 2</b> .....	33
5.3.1. Animales .....	33
5.3.2. Tratamientos y diseño experimental .....	33

5.3.3. Mediciones experimentales .....	34
5.3.4. Análisis estadístico .....	34
6. <b>RESULTADOS</b> .....	36
7. <b>DISCUSION</b> .....	46
8. <b>CONCLUSIONES</b> .....	52
9. <b>RECOMENDACIONES</b> .....	54
10. <b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	55

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro N°</b>		<b>Página</b>
1.	Conformación de los períodos experimentales .....	26
2.	Composición química (%) de los sorgos utilizados en el experimento (Base Seca) .....	27
3.	Composición de las dietas experimentales .....	28
4.	Composición química (%) analizada de las dietas experimentales (Base seca) .....	29
5.	Concentración (g/kg de MS) de proteína y aminoácidos endógenos .....	31
6.	Digestibilidad ileal aparente (%) de la materia seca, aparente y verdadera de la proteína .....	37
7.	Digestibilidad ileal aparente (%) de los aminoácidos de las dietas con diferente contenido de taninos condensados .....	39
8.	Digestibilidad ileal verdadera (%) de los aminoácidos de las dietas con diferente contenido de taninos condensados .....	41
9.	Peso y contenido de proteína en el páncreas y actividad enzimática de la tripsina en el páncreas y en el contenido intestinal .....	44

10. Actividad enzimática de la quimotripsina en el páncreas y en el contenido intestinal .....	45
--	----

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura N°</b>		<b>Página</b>
1.	Taninos hidrolizables .....	19
2.	Taninos condensados .....	20

## 1. INTRODUCCION

La porcicultura, es una de las industrias de mayor importancia en el sector primario. En México, esta rama de la industria pecuaria utiliza al sorgo como el principal cereal en la elaboración de las dietas usadas en la alimentación de cerdos. Sin embargo, este cereal varía ampliamente en su contenido de taninos, los cuales son factores antinutricionales que afectan el valor nutritivo de este. Esta variación en el perfil nutricional causada por la presencia de estos factores antinutricionales ha propiciado que algunos autores (Gualtieri y Rapaccini, 1990) consideren que el uso del sorgo como un ingrediente en la alimentación de no rumiantes representa un serio problema, y que su uso en estos debe ser limitado. Esto hace importante, establecer la relación existente entre el nivel de taninos y la calidad nutricional de los sorgos como un criterio de predicción de su valor biológico.

En la actualidad, para alcanzar este objetivo los nutriólogos cuentan con dos herramientas técnicas que les pueden auxiliar en dar una respuesta adecuada a esta problemática. La primera consiste en formular las raciones bajo el concepto de proteína ideal, el cual se caracteriza por mantener una relación constante de los aminoácidos con respecto a la lisina dietética (Fuller et al., 1989; Baker y Chung, 1992). La segunda, es emplear los coeficientes de digestibilidad ileal verdadera de la proteína y de los aminoácidos en la formulación de raciones (Cichon y Sauer, 1991).

La repercusión práctica de formular las raciones alimenticias utilizando estas dos herramientas son de importancia técnica y económica ya que el ajuste de la cantidad de los aminoácidos limitantes al perfil de la proteína ideal, permite disminuir el nivel de proteína dietaria sin afectar el comportamiento productivo del cerdo, además de disminuir el nitrógeno excretado por las vías fecal y urinaria, reduciendo así la contaminación ambiental (Henry, 1988). Esto permite una mejora en la eficiencia con la cual la proteína alimenticia es transformada en carne, disminuyendo así, el desperdicio metabólico de los nutrientes (Mariscal, 1997).

## **2. REVISION DE LITERATURA**

### **2.1. La digestibilidad como método para determinar el valor biológico de los alimentos.**

#### **2.1.1. Importancia de determinar la digestibilidad.**

Debido a que la digestión de los alimentos se debe a una sucesión de procesos ordenados al final de los cuales, las moléculas generalmente complejas de las sustancias alimenticias son escindidas en otras más sencillas que pueden ser absorbidas y metabolizadas o excretadas, es importante conocer la digestibilidad de un alimento, lo que permitirá estimar su aporte de nutrimentos y a través de esto, formular de una manera más eficiente las dietas que se suministran a los animales domésticos.

#### **2.1.2. Definición de digestibilidad.**

El valor nutricional de una ración, un alimento o un nutrimento puede ser expresado mediante el coeficiente de digestibilidad (CD), que corresponde a la fracción de las

sustancias ingeridas que no es excretada (Ciria, 1995). La digestibilidad se puede determinar de tres maneras (Low, 1982).

**1°- Digestibilidad aparente**, cuando solamente se mide la cantidad excretada del nutriente como se esquematiza en la siguiente ecuación:

$$\text{CDa (\%)} = \frac{\text{Ni} - \text{Ne}}{\text{Ni}} \times 100$$

Donde: CDa = Coeficiente de digestibilidad aparente.

Ni = Nutriente ingerido

Ne = Nutriente excretado

**2°.- Digestibilidad verdadera**, cuando se ha estimado la excreción endógena de nitrógeno y/o aminoácidos del tracto digestivo, este valor se utiliza para corregir el coeficiente de digestibilidad aparente. Las principales pérdidas endógenas, provienen de mucoproteínas, enzimas intestinales y pancreáticas, saliva, secreciones biliares y gástricas, y células descamadas de la mucosa intestinal (Souffrant, 1991), así como de la proteína de origen bacteriano (Schulze et al. 1994, Caine et al. 1999).

La siguiente ecuación estima la digestibilidad verdadera:

$$\text{CDv (\%)} = \frac{\text{Ni} - (\text{Ne} - \text{Nen})}{\text{Ni}} \times 100$$

Donde: CDv = Coeficiente de digestibilidad verdadera.

Ni = Nutriente ingerido.

Ne = Nutriente excretado.

Nen = Nutriente de origen endógeno, expresado como cantidad de nutriente que aparece en el contenido ileal o en heces de animales que consumen dietas libres de ese nutriente (Ciria, 1995)

**3°.- Digestibilidad real**, se obtiene cuando se utiliza el marcaje del nitrógeno endógeno con el isótopo pesado  $^{15}\text{N}$  (de Lange et al., 1990).

### **2.1.3. Factores que afectan a la digestibilidad.**

Los factores que afectan a la digestibilidad pueden agruparse en dos: El primero está representado por aquellos que están ligados directamente con el animal y el segundo, corresponde a los factores que están relacionados con el alimento. Entre los factores ligados al animal, se mencionan el peso y la edad como los más importantes (Ciria, 1995). Mariscal-Landín et al., (1995) observaron una mayor pérdida endógena de nitrógeno, asociada esta con el mayor consumo de materia seca

por kilogramo de peso metabólico. Así mismo, Bengala Freire et al. (1988) mencionan que los resultados de digestibilidad obtenidos de cerdos en crecimiento y finalización, no necesariamente se aplican a lechones. Para emitir esta aseveración, ellos se basan en que la diferencia en la digestibilidad del alimento para cerdos de 28 a 35 días y de 35 a 42 días de edad, difieren y es superior para los animales de mayor edad. Entre los factores relacionados al alimento que afectan a la digestibilidad de los nutrimentos, se encuentran la composición química y al procesamiento de los alimentos. La influencia de la *composición química* de los alimentos sobre su digestibilidad, esta determinada principalmente por la presencia de ciertos *factores antinutricionales* como los taninos (Cousins et al., 1981; Sauer y Ozimek, 1986; Ciria, 1995; Jansman et al., 1995); inhibidores de tripsina (Le Guen et al., 1995), así como por el nivel de fibra dietaria, componente que es una mezcla heterogénea de carbohidratos estructurales (celulosa, hemicelulosa, pectinas) y lignina (Englyst, 1989; Potkins et al., 1991) que afecta negativamente la digestibilidad de la proteína, del almidón, de la grasa y de los minerales (Low, 1982; Graham et al., 1986; Grahan y Aman, 1987, Li et al., 1994). Este efecto puede ser debido al cambio de la tasa de absorción de los nutrientes ó al aumento en las excreciones endógenas (Taverner et al., 1981; Green et al., 1987; Schulze et al., 1995). El *procesamiento de los alimentos* es otro de los factores relacionados con el alimento, que afecta negativamente a la digestibilidad de los nutrimentos, debido a que sus características físicas influyen notablemente sobre ésta. Generalmente la molienda de los granos aumenta la digestibilidad de los alimentos, especialmente en

aquellas especies animales que no efectúan una masticación muy cuidadosa (Ciria, 1995).

#### **2.1.4. Tipos de digestibilidad.**

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

##### **2.1.4.1. Digestibilidad fecal.**

Es una técnica fácil de realizar que consiste en medir la diferencia entre la cantidad de cada nutrimento consumido y la cantidad excretada en las heces. Sin embargo, esta técnica tiene el inconveniente de que la cantidad digestible de un alimento se ve afectada por las bacterias que se encuentran presentes en el intestino grueso, por lo que el perfil de aminoácidos es muy diferente al colectado a nivel ileal (Ciria, 1995).

##### **2.1.4.2. Digestibilidad Ileal.**

La digestibilidad ileal, tiene como finalidad incrementar la exactitud en la determinación del aporte de los nutrientes, y por lo tanto de eficientizar la

formulación de raciones para animales domésticos. Se determina mediante la colecta de la digesta ileal antes de atravesar la válvula ileo-cecal. El uso de la técnica de digestibilidad ileal en lugar de la digestibilidad fecal, permite medir la digestibilidad de origen enzimático que se lleva a cabo en el intestino delgado, al obtener la muestra antes del ciego e intestino grueso del cerdo, con lo que se evita la fermentación microbiana del alimento (Williams, 1995).

#### **2.1.5. Métodos para determinar la digestibilidad.**

Existen tres métodos que pueden ser empleados para determinar la digestibilidad de los alimentos, siendo estos: el método directo, por diferencia y por regresión.

##### **2.1.5.1. Método directo.**

El método directo es una técnica en el que la dieta ensayo es formulada de tal manera que el alimento a ensayar, sea la única fuente de proteína y aminoácidos. Esta técnica es utilizada principalmente para determinar el coeficiente de digestibilidad de la proteína y de los aminoácidos, en aquellos ingredientes que contienen altos niveles de proteína, siendo menos confiable para ingredientes de bajo contenido de proteína y aminoácidos, por el efecto cuadrático que experimenta

la digestibilidad de estos ingredientes, debido a un mayor peso específico de la excreción endógena (Fan y Sauer, 1995a; Fan et al., 1996).

### 2.1.5.2. Método de diferencia.

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

$$\mathbf{Ddif} = \frac{(\mathbf{Dd} - \mathbf{Db} * \mathbf{Sb})}{\mathbf{Sa}}$$

Donde:

**Ddif** = Digestibilidad por diferencia.

**Dd** = Digestibilidad de un nutriente en la dieta a evaluar (%).

**Db** = Digestibilidad de un nutriente en la dieta basal (%).

**Sb** = Nivel de contribución de un nutriente de la dieta basal en la dieta a evaluar  $\mathbf{Sb} = 1 - \mathbf{Sa}$ .

$S_a$  = Nivel de contribución de un nutriente a evaluar a la dieta ensayo.

### 2.1.5.3. Método de regresión.

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

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

Donde:

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

$D_a$  = Digestibilidad de un nutriente en la dieta ensayo (%)

$D_b$  = Digestibilidad de un nutriente en la dieta basal (%).

$S_{bi}$  = Nivel de contribución de un nutriente de la dieta basal a la dieta ensayo,

$$S_{bi} = 1 - S_a.$$

$S_a$  = Nivel de contribución de un nutriente ensayo a la dieta ensayo.

### 2.1.6. Técnicas para determinar la digestibilidad Ileal.

La técnica de *sacrificio* es la más antigua y simple que ha sido empleada en la determinación de la digestibilidad. Esta técnica presenta el inconveniente de proporcionar una sola muestra de digesta por animal y materia prima estudiada (Donkoh et al., 1994ab), lo que conlleva a utilizar un mayor número de animales para su determinación. Además, se corre el riesgo de que la muestra de digesta a coleccionar sea contaminada por un mayor número de células de la mucosa intestinal que pueden desprenderse al momento del sacrificio del animal (Low, 1980). En la actualidad, se han desarrollado técnicas quirúrgicas que tienen como finalidad implantar una cánula a nivel ileal, para que a través de la cual se puedan realizar muestreos repetidos de la digesta que pasa a través de tracto gastrointestinal. La primera técnica desarrollada, fue la de insertar una *cánula simple en "T"* a nivel del íleon distal aproximadamente 15 cm antes de la válvula ileo-cecal (Graham y Aman, 1986; Morgham y Smith, 1987; Imbeah et al., 1995). Es fácil de colocar y no presenta molestias para el animal, aunque su inconveniente es que a veces no se pueden obtener muestras representativas, debido al diámetro interno de la cánula que no permite captar muestras homogéneas (variación en composición); a la frecuencia y duración del muestreo y a las características físicas y químicas de la dieta (viscosidad y contenido de fibra) (Sauer y Ozimek, 1986).

Otra de las técnicas, es la implantación de una *Cánula re-entrante* que tiene la finalidad de permitir la colección total del contenido ileal, evitando así la utilización de marcadores. En la actualidad existen variantes de la técnica de inserción de cánula re-entrante, encontrándose entre ellas la canulación *Ileo-ileal* (Ivan y Farrell, 1976), así como la canulación *Ileo-Cecal* (Van Leeuwen et al., 1987; Easter y Tanksley, 1973). La inserción de una cánula re-entrante ileo-ileal o ileo-cecal en comparación de una cánula simple en “T”, causa seccionamiento del intestino delgado y la ruptura de los complejos mioeléctricos, lo que no le permite mantener un estado fisiológico normal al intestino delgado (Sauer y Ozimek, 1986). Además, los estudios de digestibilidad en cerdos fistulados con cánulas re-entrantes, son perturbados a menudo por problemas de bloqueo de la cánula. El grado de manifestación del problema de bloqueo dependerá del volumen de fibra cruda de la dieta, del diámetro de la criba a través de la cual la dieta fue molida, la viscosidad de la digesta y de la cantidad de digesta que atraviesa la cánula. Sin embargo, los problemas de bloqueo ocurren con menor frecuencia en cerdos fistulados con cánula ileo-cecal que con los fistulados con una cánula re-entrante ileo-ileal (Sauer y Ozimek, 1986).

Darcy et al. (1980), desarrollaron la técnica de canulación *ileocólica post-válvular*. El empleo de esta técnica, permite conservar el funcionamiento normal del esfínter ileocecal, así como el muestreo de la digesta de acuerdo a su llegada normal al

intestino grueso. Esta técnica, permite medir también la digestibilidad ileal de dietas ricas en fibra que no se han molido finamente, sin embargo es una técnica quirúrgica complicada y estresante para los animales experimentales. La preparación de cerdos mediante *anastomosis ileo-rectal*, es otra de las técnicas empleada para estudios de digestibilidad, es una técnica quirúrgica mediante la cual el intestino grueso es completamente separado desde el intestino delgado. Esto permite que todo el contenido intestinal sea excretado y colectado vía anal. Mientras que, las secreciones provenientes del intestino grueso son excretadas a través de una cánula exteriorizada por el flanco derecho del animal (Green et al., 1988; Viljoen et al., 1997).

## **2.2. Generalidades y estructura del grano de sorgo.**

El sorgo es un cereal que procede de una planta de aproximadamente 80 cm de altura. Es una semilla esférica que difiere en tamaño al grano de maíz lo que permite que se adapte a varias técnicas de molienda. El grano es una esfera aplanada con una longitud de 4 mm, un ancho de 3.5 mm y un grosor de 2.5 mm, aproximadamente, y su peso varía entre 8 y 50 mg, teniendo un promedio de 28 mg (Rooney y Clark, 1968; Wall y Blessin, 1969). El grano de sorgo está compuesto de tres partes importantes: una capa externa, un tejido de almacenamiento o endospermo y el germen. Además, cada una de estas unidades está compuesta por otras subestructuras. *La capa externa* (pericarpio) es también conocida como epidermis y

contiene pigmentos y ceras. La capa media está constituida por gránulos de almidón incluidos en una densa red proteica. La capa interna, está formada por células en forma de cruz y tubulares. Un gran número de variedades presentan una capa de células altamente pigmentadas bajo el pericarpio, la cual es conocida como testa (Rooney y Clark, 1968).

El *endospermo* del sorgo, está conformado por una capa de aleurona y porciones de endospermo córneo y harinoso. La primera, se localiza inmediatamente debajo del pericarpio y consiste de pequeñas células densas con un contenido relativamente alto de aceite y proteína. El endospermo córneo está localizado debajo de la aleurona y está constituido por pequeñas células que contienen almidón, las cuales están entremezcladas con una gruesa matriz proteica, que se compone de los llamados cuerpos proteicos. El endospermo harinoso está localizado en el centro del grano y está rodeado por el endospermo córneo. El germen está firmemente incrustado en el grano y es difícil de remover durante la molienda del sorgo (Rooney y Clark, 1968). En términos generales, el endospermo el germen y el salvado (pericarpio y algunos tejidos asociados) conforman el 82, 10 y 8 % del grano de sorgo, respectivamente (Wall y Blessin, 1969).

### 2.3. Composición química del grano de sorgo.

Alrededor del 90 % del almidón y 80 % de la proteína total están localizados en el endospermo; el germen contiene a su vez aproximadamente el 75 % del extracto etéreo (Rooney y Clark, 1968). En conjunto el grano de sorgo posee una composición similar a la del maíz, excepto por un menor contenido de aceite. En términos generales tiene un contenido relativamente bajo en fibra (2 %), proteína (8 a 12 %) y almidón (72 a 76 %). El germen contiene aproximadamente 28 % de aceite, 19,5 % de proteína y 10 % de cenizas. El salvado consiste casi enteramente de celulosa y hemicelulosa (Wall y Blessin, 1969).

Basados en la solubilidad, las proteínas de la semilla de sorgo han sido clasificadas en albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas. (Guiragossian et al., 1978). El cuerpo proteico del grano es el sitio de acumulación de las *kafirinas* (la principal prolamina del grano de sorgo), la cual es una proteína acuosa soluble en alcohol y la más abundante entre las proteínas del sorgo. Shull et al. (1991) mencionan que las *kafirinas* se clasifican en  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  de acuerdo a su solubilidad, estructura y peso molecular (23000-25000, 16000-20000 y 28000 para la  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ , respectivamente). Las *kafirinas* son las últimas proteínas del grano de sorgo en ser digeridas, estando este fenómeno probablemente determinado en parte por la composición y estructura del cuerpo proteico del grano de sorgo en las que éstas están localizadas (Hamaker

et al., 1986). Oria et al. (1995) mencionan que, las  $\alpha$ -kafirinas comprenden el 80 % del total de las kafirinas, localizándose en la región clara-interna del cuerpo proteico, la  $\beta$  y  $\gamma$ -kafirinas, se encuentran en la zona oscura externa del cuerpo proteico del grano de sorgo. La menor digestibilidad de las  $\alpha$ -kafirinas, puede ser debida a su localización interna en la matriz proteica, mientras que la menor digestibilidad de la  $\beta$  y  $\gamma$ -kafirinas puede deberse a su participación en la conformación de poliproteínas resistentes a la digestión, ya que estas contienen una alta proporción de puentes disulfuro.

#### **2.4. Valor biológico del grano de sorgo.**

La calidad de la proteína del sorgo depende de la composición de aminoácidos y de la proporción de los diferentes tipos de proteínas que constituyen este cereal (Mosse et al., 1988). De igual forma, Sauer y Ozimek (1986) y Cousins et al. (1981) mencionan, que la diferencia en el contenido de nutrientes, así como de la digestibilidad de la proteína y de los aminoácidos puede ser el resultado de una serie de factores agronómicos, entre los que destacan la variedad, la aplicación de fertilizantes y las condiciones ambientales durante el período de desarrollo de la planta, alterando éstas últimas las cantidades totales y relativas de las proteínas del grano de sorgo; generando cambios en la composición y digestibilidad de sus aminoácidos.

## **2.5. Taninos.**

### **2.5.1. Definición.**

El término taninos es difícil de definir de una manera precisa, pero su característica esencial es que son compuestos polifenólicos, que se encuentran presentes en forma natural en las plantas, y que al combinarse con las proteínas las precipitan (Mangan, 1988). Los taninos son considerados como un grupo de polifenoles de alto peso molecular que se encuentran en el pericarpio del grano (Dendy, 1995). Hallin et al. (1996) señalan que estos componentes fueron llamados taninos, porque convierten las pieles de los animales en cuero durante el proceso de curtido (en inglés tanning). Los taninos se presentan naturalmente en plantas polifenólicas (*Lotus*, *Vicia Faba*, *Leucaena leucocephala*) y tienen influencia en el valor nutritivo de las leguminosas forrajeras (Bressani et al., 1983; Reed, 1995) de los pastos y de las frutas (Hallin et al., 1996).

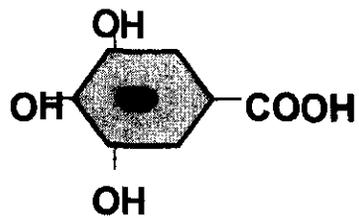
### **2.5.2. Clasificación de taninos.**

Los taninos usualmente se dividen en dos grupos (Hallin et al., 1996). El grupo de los taninos hidrolizables (TH) y el de los taninos condensados (TC). Los taninos

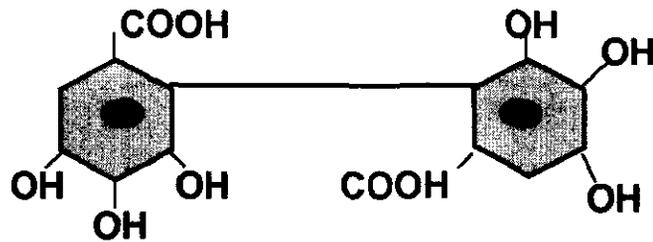
hidrolizables (Figura 2) son ésteres del ácido gálico y del ácido elágico de centros moleculares que consisten de polialcoholes tales como los azúcares y los fenoles como la catequina. El  $\beta$ -penta-O-galoil-D-glucosa es el ácido tánico y es el compuesto modelo para este grupo de taninos. Los taninos hidrolizables son además clasificados de acuerdo al producto de hidrólisis; los galotaninos producen ácido gálico y glucosa y los elagitaninos producen ácido elágico y glucosa (Reed, 1995) y se encuentran presentes en el té verde y la acacia (Mangan, 1988). Los Taninos condensados (Figura 3) son polímeros de enlaces de flavo-3-ol mediante un enlace de carbón interflavano que no es susceptible a hidrólisis. Las antocianidinas más comúnmente producidas son la cianidina y la delfinidina; de las correspondientes proantocianidina, la procianidina y la prodelfinidina son sus productos, los cuales están presentes en *Leucaena leucocephala* y el sorgo (Reed, 1995; Hallin, 1996).

### **2.5.3. Métodos utilizados para la determinación de taninos.**

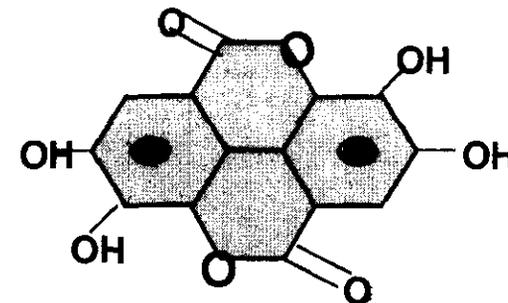
Los procedimientos colorimétricos comúnmente usados para el análisis de taninos son el de Folin-Dennis y el de Folin-Ciocalteu, la reacción butanol HCL (Hallin, 1996) y la reacción de la vainillina HCL (Price et al., 1978). Reed (1995) menciona que aunque la AOAC, no tiene un método oficial para el análisis de taninos en leguminosas forrajeras, el reactivo Folin-dennis es recomendado para el análisis de



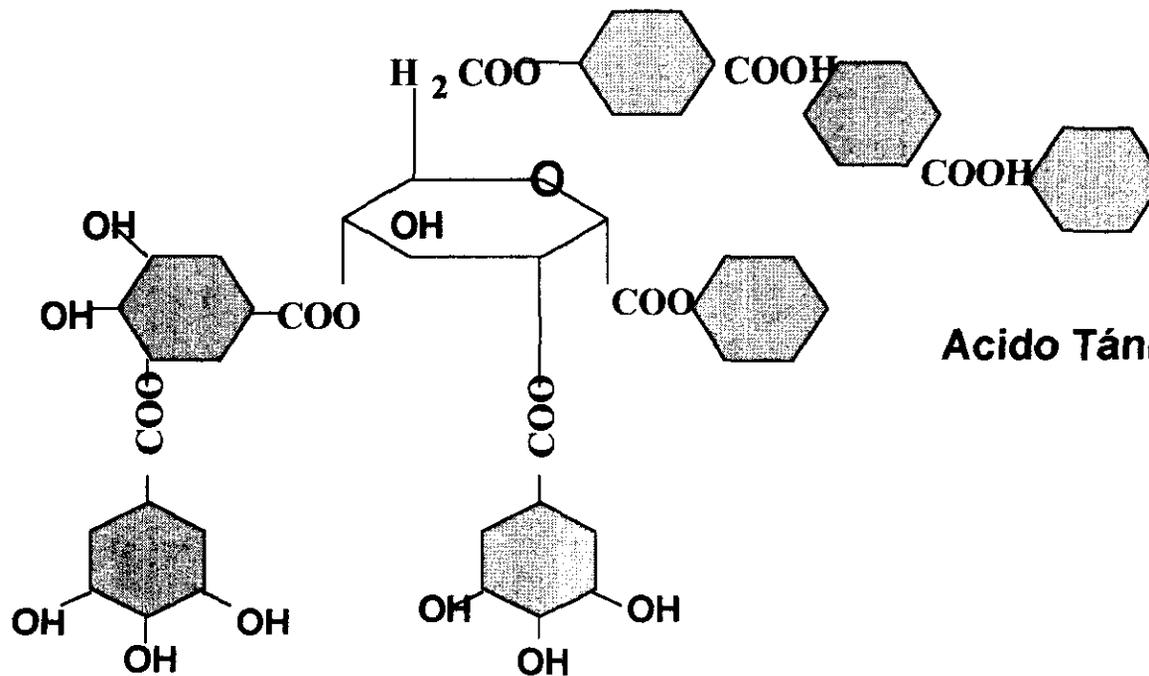
**Acido Gálico**



**Acido Hexahidroxidifenil**

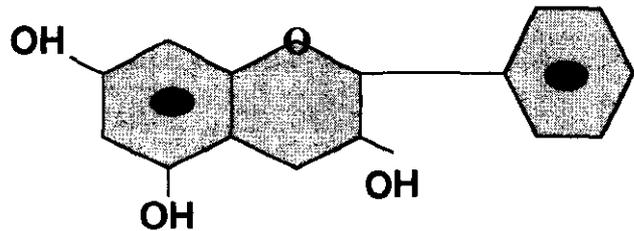


**Acido Elágico**

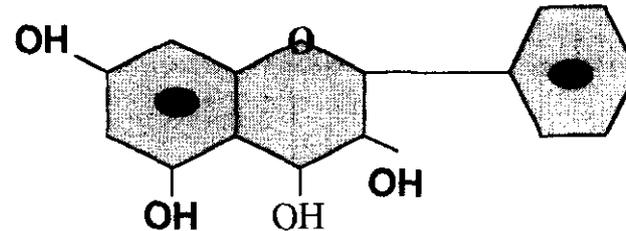


**Acido Tánico (Galotanino)**

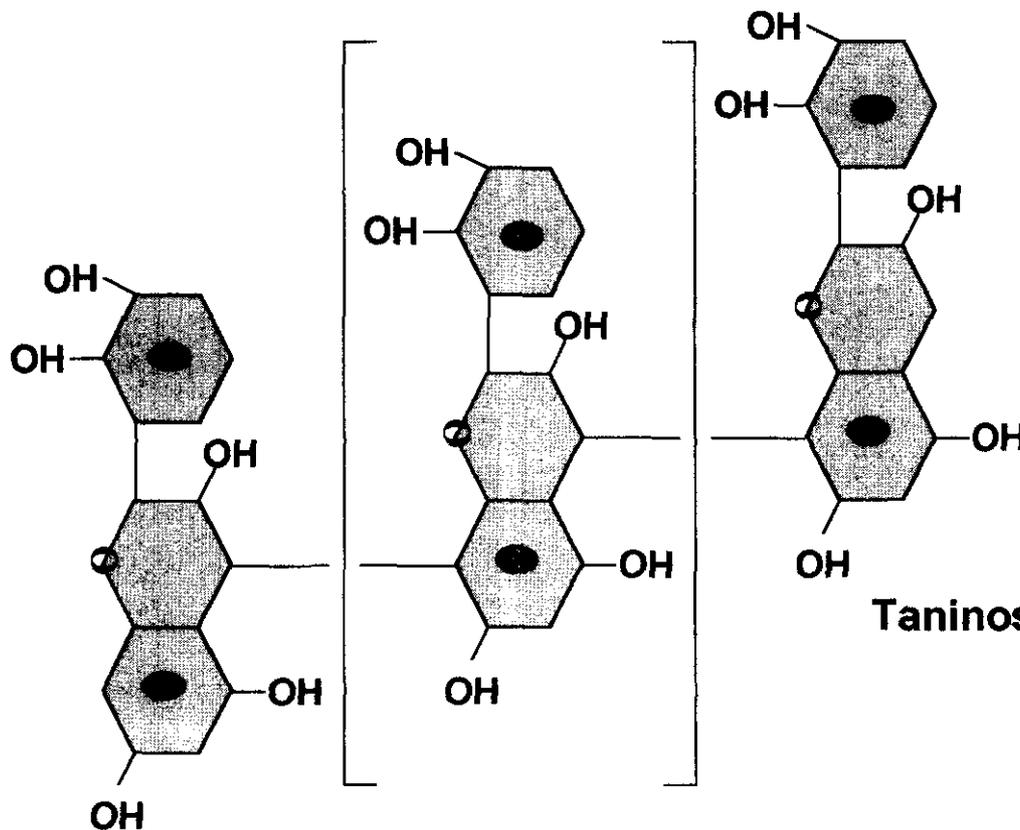
**Figura 1. Taninos hidrolizables**



**Flavan-3-ol (Catequinas)**



**Flavan-3,4-diol (Leucoantocianidinas)**



**Taninos Condensados (Sorgo)**

**Figura 2. Taninos condensados**

taninos en vinos y bebidas de destilería. La reacción Folin esta basada en la reducción del ácido fosfomolídico por fenoles en álcali acuoso. El reactivo Vainillina HCL es específico para los flavo-3-ols (moléculas de taninos condensados del sorgo) y proantocianidinas. La reacción está basada sobre la condensación del aldehído fenólico (Vainillina) con la estructura floroglusinol de flavo-3-ols y proantocianidina bajo condiciones ácidas en metanol o etanol. El reactivo butanol HCL es específico para las proantocianidinas y los flavo-3-4-diol que ocurren muy raramente.

#### **2.5.4. Efectos de los taninos sobre la digestibilidad.**

Las investigaciones realizadas por Armstrong, (1974) y Sell et al. (1983) en aves y Cousins et al. (1981) en cerdos, demostraron que dietas compuestas por sorgo con altos niveles de taninos, produjeron la disminución del crecimiento, conversión alimenticia y retención de nitrógeno. Esto puede deberse, a la menor digestibilidad del nitrógeno, de la materia seca y de la materia orgánica claramente observada, cuando se utilizan dietas con niveles superiores a 0.4 % de estos factores antinutricionales (Jansman et al., 1993). Bajo las condiciones físicas y químicas que prevalecen en el tubo gastrointestinal de los cerdos, los taninos condensados parecen tener preferencia a enlazarse más con proteínas que con carbohidratos (Nelson et al., 1975; Jansman et al., 1993). Los taninos, son conocidos por presentar efectos

depresivos de la digestibilidad de la proteína de diferentes ingredientes alimenticios tales como el sorgo (Cousins et al., 1981) y habas (Lacassgne et al., 1988), lo que reduce la calidad nutricional de estos. Este efecto de reducir la digestibilidad de la proteína, puede deberse al enlace directo de los taninos con las proteínas de la dieta, o por una reducción de la actividad de las enzimas que degradan a estos nutrimentos (Longstaff y McNab, 1991). La habilidad de los taninos para formar complejos fuertes con proteínas es el aspecto más importante de sus efectos tóxicos y antinutricionales (Hagerman y Butler, 1981; Jansman et al., 1993). La rigidez de esos complejos depende de las características tanto de los taninos como de las proteínas (peso molecular, estructura terciaria, y compatibilidad de sitios de enlace). Los taninos tienen un gran número de grupos hidroxilos fenólicos libres que forman fuertes enlaces de hidrógeno con las proteínas (Reed, 1995), lo cual afecta su digestibilidad. Por lo que, basado en los antecedentes se planteó el presente estudio para evaluar el efecto de los taninos condensados del grano de sorgo sobre la digestibilidad ileal de la proteína y de los aminoácidos, así como sobre la actividad enzimática de las proteasas pancreáticas de cerdos en crecimiento.

### **3. HIPOTESIS**

El nivel de taninos presente en el grano de sorgo, afecta la digestibilidad de los nutrientes mediante la disminución de la actividad de las enzimas pancreáticas.

### **4. OBJETIVOS**

- 4.1. Estimar el efecto de la concentración de taninos sobre la digestibilidad ileal de la proteína y aminoácidos del grano de sorgo.
- 4.2. Estimar el efecto de niveles crecientes de taninos en el grano de sorgo sobre la actividad de las proteasas pancreáticas (tripsina y quimotripsina).

### **3. HIPOTESIS**

El nivel de taninos presente en el grano de sorgo, afecta la digestibilidad de los nutrientes mediante la disminución de la actividad de las enzimas pancreáticas.

### **4. OBJETIVOS**

- 4.1. Estimar el efecto de la concentración de taninos sobre la digestibilidad ileal de la proteína y aminoácidos del grano de sorgo.
- 4.2. Estimar el efecto de niveles crecientes de taninos en el grano de sorgo sobre la actividad de las proteasas pancreáticas (tripsina y quimotripsina).

## **5. MATERIALES Y METODOS**

### **5.1. Localización**

El presente trabajo de investigación se realizó en la granja experimental del Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal (CENIFyMA), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), dependiente de la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAGAR). Este centro se localiza en el Km 1.5 de la carretera Ajuchitlán-Colón, Municipio de Colón, Estado de Querétaro y está ubicado a  $120^{\circ}00'00''$  longitud oeste y a  $20^{\circ}43'00''$  de latitud norte a una altura de 1950 msnm. El clima predominante de la zona es semiseco templado, con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 460 a 640 mm y una temperatura media anual de  $14^{\circ}\text{C}$  (Soria et al., 1987).

La presente investigación contó de dos experimentos. El primero encaminado a evaluar la digestibilidad de la proteína y aminoácidos, y el segundo medir la actividad enzimática de la tripsina y de la quimotripsina.

## **5.2. Experimento 1**

Efecto de diferentes niveles de taninos sobre la digestibilidad ileal de la proteína y de los aminoácidos del grano de sorgo.

### **5.2.1. Animales**

Se utilizaron 24 cerdos machos castrados producto del cruzamiento alterno de razas Landrace x Duroc, con un peso promedio inicial de  $60\pm 5$  kg, sometidos previamente (a la edad de 3.5 meses y con un peso de 35 kg aproximadamente) a una intervención quirúrgica para colocarles una cánula simple en "T" en la porción distal del íleon entre 5 y 10 cm. de la válvula ileo-cecal. En la etapa de recuperación (15 días posteriores a la cirugía) los animales consumieron una dieta comercial, preparada en la planta de alimentos balanceados del CENIFyMA. Los animales fueron alojados individualmente en jaulas metabólicas. El alimento fue suministrado dos veces al día, a las 08:00 y 17:00 horas respectivamente. Las dietas experimentales fueron introducidas 35 días después de que los animales fueron sometidos a la cirugía, mientras que el agua fue proporcionada a libertad. El experimento estuvo constituido por tres períodos, cada uno de ellos conformado por siete días (cuadro 1) y divididos en dos fases, una de adaptación a la dieta experimental con una duración de cinco días y la otra fase de dos días, requerida para realizar la colecta de la digesta ileal. La colecta ileal se realizó cada dos horas,

con un tiempo de recolección total de 24 horas (Fan y Sauer 1995a). Las dietas experimentales fueron marcadas con óxido de cromo al 0,3 % como marcador de digestibilidad (Fan y Sauer 1995b).

**Cuadro 1. Conformación de los períodos experimentales**

---

	Día	
<b>Fase 1</b>	1-5	Consumo de dieta
<b>Fase 2</b>	6	Colecta de digesta (desde las 8:00 horas hasta las 8:00 del día 7)
	7	Colecta de digesta (desde las 8:00 horas del día 7 hasta las 8:00 del día 8)

---

### **5.2.2. Tratamientos y diseño experimental.**

Los tratamientos estuvieron representados por cuatro tipos de sorgo que conformaron las cuatro dietas experimentales (Cuadros 2, 3 y 4). Cada sorgo representaba un nivel de taninos bajo estudio. Se utilizó almidón de maíz para igualar el nivel de proteína de las cuatro dietas, debido a que los sorgos que las conformaban, diferían en el nivel de proteína cruda. Los animales se manejaron en 3 bloques fijos, utilizando el peso como factor de bloqueo. El primer y segundo bloque estuvieron conformado por 8 animales cada uno (cuatro tratamientos con dos unidades experimentales) y el tercer bloque con 6 animales. En este último bloque no estuvo representado el tratamiento 4, ya que dos días después de haber iniciado el estudio, los animales presentaron signos febriles causados por un desgarre de la

cánula posiblemente ocasionado al momento del pesaje inicial. Esto produjo que los animales dejaran de comer, por lo que fueron retirados del experimento.

**Cuadro 2. Composición química (%) de los sorgos utilizados en el experimento (Base seca).**

Nutriente	Sorgos			
	1	2	3	4
Materia seca	90.74	91.27	90.16	90.35
Proteína	9.89	10.70	11.50	10.60
Grasa cruda	2.99	3.03	3.00	3.59
FDN	7.66	7.46	9.01	8.17
FDA	2.60	2.74	3.58	3.89
Cenizas	1.65	1.59	1.75	1.99
Taninos <sup>a</sup>	0.14	0.46	1.00	0.98
<b><u>Aminoácidos esenciales</u></b>				
Arginina	0.34	0.35	0.43	0.45
Histidina	0.20	0.22	0.26	0.27
Isoleucina	0.40	0.42	0.41	0.43
Leucina	1.30	1.39	1.51	1.37
Lisina	0.18	0.20	0.24	0.27
Metionina	0.16	0.16	0.23	0.20
Fenilalanina	0.51	0.55	0.58	0.55
Treonina	0.30	0.31	0.37	0.35
Valina	0.48	0.50	0.53	0.54
Triptófano	0.06	0.07	0.08	0.06
<b><u>Aminoácidos no esenciales</u></b>				
Alanina	0.88	0.95	1.05	0.96
Acido aspártico	0.63	0.67	0.76	0.71
Cisteina	0.17	0.18	0.21	0.20
Acido glutámico	1.99	2.13	2.41	2.14
Prolina	0.80	0.85	0.91	0.85
Serina	0.40	0.40	0.48	0.44
Tirosina	0.32	0.35	0.38	0.34

a Analizados según la técnica propuesta por Price et al., 1978

**Cuadro 3. Composición (%) de las dietas experimentales.**

Ingrediente	Dieta			
	1	2	3	4
Sorgo	95.40	88.26	83.78	93.13
Almidón de maíz	0.00	7.14	11.62	2.27
Aceite maíz	1.80	1.80	1.80	1.80
Carbonato de calcio	0.55	0.55	0.55	0.55
Ortofosfato	1.20	1.20	1.20	1.20
Minerales <sup>a</sup>	0.35	0.35	0.35	0.35
Vitaminas <sup>b</sup>	0.20	0.20	0.20	0.20
Sal	0.20	0.20	0.20	0.20
Oxido de cromo	0.30	0.30	0.30	0.30

<sup>a</sup> Suministra por kilogramo de dieta: sodio, 0.87 g; cloro, 1.65 g; cobre, 7.7 mg; hierro, 89.25 mg; yodo, 0.525 mg; manganeso, 19.98 mg; selenio, 0.087 mg.

<sup>b</sup> Suministra por kilogramo de dieta: vitamina A, 6600 UI; vitamina D, 660 UI; vitamina E, 100 UI; colina, 350 mg; niacina, 54 mg; ácido pantoténico, 13.15 mg; riboflavina, 2.2 mg; B<sub>12</sub>, 36 µg.

Similarmente, fueron eliminadas las muestras ileales de cuatro unidades experimentales, ya que al sacrificio de los animales se observaron fístulas intestinales provocadas por las adherencias entre el intestino delgado y el grueso lo que causó la invalidación de las muestras colectadas para efectuar los análisis respectivos, por lo que un total de dieciocho unidades experimentales fueron utilizadas para la evaluación de las variables propuestas.

**Cuadro 4. Composición química (%) analizada de las dietas experimentales (Base seca)**

Ingrediente	Dieta			
	1	2	3	4
Materia seca	88.75	88.36	87.93	87.77
Proteína	9.17	9.23	9.52	9.76
FDN	7.31	6.58	7.54	7.61
FDA	2.48	2.42	2.99	3.62
Cenizas	3.42	3.16	3.27	3.62
Taninos <sup>a</sup>	0.13	0.40	0.83	0.91
<b><u>Aminoácidos esenciales</u></b>				
Arginina	0.32	0.31	0.36	0.42
Histidina	0.19	0.19	0.22	0.25
Isoleucina	0.38	0.37	0.34	0.40
Leucina	1.24	1.23	1.27	1.28
Lisina	0.17	0.18	0.20	0.25
Metionina	0.15	0.14	0.19	0.19
Fenilalanina	0.49	0.49	0.49	0.51
Treonina	0.28	0.27	0.31	0.33
Valina	0.46	0.44	0.44	0.50
Triptófano	0.06	0.07	0.07	0.06
<b><u>Aminoácidos no esenciales</u></b>				
Alanina	0.84	0.84	0.88	0.89
Acido aspártico	0.60	0.59	0.65	0.66
Cisteina	0.16	0.16	0.18	0.19
Acido glutámico	1.90	1.88	2.02	1.99
Prolina	0.76	0.75	0.76	0.79
Serina	0.38	0.36	0.40	0.41
Tirosina	0.31	0.31	0.32	0.32

a Analizados según la técnica propuesta por Price et al., 1978

### 5.2.3. Mediciones experimentales

La colecta del contenido ileal, fue realizada mediante el uso de bolsas de plástico sujetas a la cánula, conteniendo 10 ml de HCL 0.2 N para prevenir la proliferación bacteriana. El total de muestra colectada fue almacenada a -20 °C hasta que se completó el período de colecta. Posteriormente las muestras fueron homogeneizadas, liofilizadas (Liofilizador marca Labconco de 12 litros) y molidas con la utilización de una criba de 1 mm (molino Arthur H. Thomas Co, Philadelphia, PA). En el liofilizado se realizaron los análisis de nitrógeno, materia seca (AOAC, 1995), aminoácidos por HPLC y óxido de cromo (Fenton y Fenton, 1979). La digestibilidad ileal aparente de los nutrientes fue calculada utilizando el método directo (Fan y Sauer, 1997) empleando la siguiente formula:

$$Da = 100 \% - \{(Id \times Af)/(Ad \times If)\} \times 100 \%$$

Donde:

Da = Digestibilidad ileal aparente.

Id = Concentración de marcador en la dieta (%).

Af = Concentración del aminoácido en la digesta ileal (%).

Ad = Concentración del aminoácido en la dieta (%).

If = Concentración de marcador en la digesta ileal (%).

Mientras que, la digestibilidad ileal verdadera fue calculada utilizando los valores de aminoácidos endógenos (Cuadro 5) reportados por Mariscal (1992) empleando la fórmula propuesta por Furuya y Kaji (1989):

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

Donde:

CDV = Coeficiente de digestibilidad verdadera.

CDA = Coeficiente de digestibilidad aparente.

AAE = Concentración de aminoácido endógeno (g/Kg de materia seca).

AAD = Concentración de aminoácido en la dieta (g/Kg de materia seca).

**Cuadro 5** Concentración (g/kg de MS) de proteína y aminoácidos endógenos

<b>Elemento</b>	<b>Concentración (g/kg de MS)</b>
<b><u>Proteína</u></b>	11.43
<b><u>Aminoácidos esenciales</u></b>	
Arginina	0.35
Histidina	0.17
Isoleucina	0.29
Leucina	0.50
Lisina	0.34
Metionina	0.07
Fenilalanina	0.27
Treonina	0.57
Valina	0.40
Triptófano	0.18
<b><u>Aminoácidos no esenciales</u></b>	
Alanina	0.39
Acido aspártico	0.68
Cisteina	0.15
Acido glutámico	0.78
Prolina	1.31
Serina	0.51
Tirosina	0.14

#### 5.2.4. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados de la digestibilidad ileal aparente y verdadera de la proteína y de los aminoácidos, se llevó a cabo con la ayuda del paquete estadístico SAS, utilizando el procedimiento de los modelos lineales generales. Las medias de los tratamientos fueron comparadas usando la prueba de LSMEAN. El total de la variación se atribuyó al siguiente modelo:

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

De donde:

$Y_{ijk}$  = Digestibilidad ileal de la proteína

$\mu$  = Media general

$B_i$  = Efecto del i-ésimo bloque

$\delta_{(i)}$  = Error de restricción asociado a la azarización NID ( $0, \sigma^2_\delta$ )

$T_j$  = Efecto del j-ésimo tratamiento

$E_{(ij)k}$  = Error experimental NID ( $0, \sigma^2$ )

### **5.3. Experimento 2**

Efecto de los taninos condensados del grano de sorgo (*Sorghum vulgare*) sobre la actividad de las proteasas pancreáticas, tripsina (EC. 2.4.21.4.) y quimotripsina (EC. 2.4.21.1.).

#### **5.3.1. Animales.**

Se utilizaron los mismos 18 cerdos machos castrados del experimento uno, con un peso inicial promedio de  $63 \pm 4$  kg. Los animales permanecieron alojados individualmente en las mismas jaulas de digestibilidad. El alimento se les suministró dos veces al día, a las 08:00 y 17:00 horas respectivamente; el agua fue proporcionada a libertad. En el octavo día los cerdos se sacrificaron para la toma de las muestras respectivas.

#### **5.3.2. Tratamientos y diseño experimental.**

Fueron los mismos cuatro tratamientos del experimento 1, los cuales consistieron en cuatro dietas a base de cuatro diferentes variedades de sorgos. Al igual que en el experimento 1, los animales se manejaron en 3 bloques fijos, con las mismas unidades experimentales por bloque.

### **5.3.3. Mediciones experimentales.**

Los animales se narcotizaron con CO<sub>2</sub>, inmediatamente después se les extrajo el intestino delgado y el páncreas, para la toma de las muestras de la digesta el intestino fue seccionado en tres partes como lo recomienda Makkink et al. (1994a). Posteriormente los animales fueron sacrificados. Las porciones de contenido duodenal, yeyunal e ileal, fueron inmediatamente introducidas en nitrógeno líquido, para después ser almacenadas a -70 °C, hasta que fueron analizadas. Para la determinación de la proteína en el tejido pancreático se utilizó la técnica de Lowry (1951). Para el análisis de la actividad específica, definida como micromoles de sustrato liberado/minuto/miligramo de proteína; y la actividad total, definida como micromoles de sustrato liberado/minuto/gramo de tejido, de la enzima tripsina se utilizó la técnica de titulación (Titrator modelo DL 12 Mettler Toledo) propuesta por Reboud (1962), y para la enzima quimotripsina, la técnica propuesta por Bergmeyer (1974), utilizando un espectrofotómetro UV Visible (GVC modelo 920).

### **5.3.4. Análisis estadístico**

El análisis estadístico de los resultados de la actividad de las enzimas tripsina y quimotripsina, se realizó con la ayuda del paquete estadístico SAS, mediante el procedimiento de los modelos lineales generales, comparándose las medias de los

tratamientos con la prueba de LSMEAN. El total de la variación se atribuyó al siguiente modelo estadístico. :

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

De donde:

$Y_{ijk}$  = Actividad enzimática (tripsina y quimotripsina)

$\mu$  = Media general

$B_i$  = Efecto del i-ésimo bloque

$\delta_{(i)}$  = Error de restricción asociado a la azarización NID ( $0, \sigma^2_\delta$ )

$T_j$  = Efecto del j-ésimo tratamiento

$E_{(ij)k}$  = Error experimental NID ( $0, \sigma^2$ )

## 6. RESULTADOS

**Experimento 1.**-Los valores de la digestibilidad ileal aparente de la materia seca y de la proteína y verdadera de la proteína calculada a través del método directo se presentan en el cuadro 6. La digestibilidad ileal aparente de la materia seca fue marcadamente afectada conforme se incrementó el nivel de taninos de la dieta. Cuando el nivel de estos factores antinutricionales pasó de 0.13 a 0.40 y 0.91 %, se observó un decremento ( $P<0.05$ ) del 8.68 y 10.84 % en este parámetro. La reducción en la digestibilidad ileal aparente de la materia seca de la dieta conteniendo 0.83 % de taninos fue 7.54 % inferior respecto a la dieta con la menor cantidad de estos elementos, sin presentarse diferencias estadísticas ( $P>0.05$ ). Similarmente, la digestibilidad ileal aparente de la proteína fue negativamente afectada por la presencia de taninos. Un incremento de 3 veces (0.40 vs 0.13 %) en el nivel de taninos de la dieta, redujo ( $P<0.05$ ) en un 16.22 % la digestibilidad ileal aparente cuando fue comparada con el valor obtenido en la dieta conteniendo el menor nivel de taninos. En las dietas conteniendo 0.83 y 0.91 % de taninos, la digestibilidad ileal aparente fue en promedio un 9.47 % menor respecto a la dieta con el menor contenido de taninos, sin ser diferentes significativamente ( $P>0.05$ ). En la digestibilidad ileal verdadera, el efecto del nivel de taninos sobre este parámetro fue similar al de la digestibilidad ileal aparente. Un nivel de taninos 3 veces superior al de la dieta con el menor contenido de taninos disminuyó ( $P<0.05$ ) en un 13.45 % la digestibilidad ileal verdadera respecto a lo observado en la dieta con el menor nivel

de taninos. Sin embargo, una concentración de taninos 6 y 7 veces superior al de la dieta con el menor nivel de taninos (0.13 vs 0.83 y 0.91 %, respectivamente) disminuyó este parámetro en 8.24 y 9.09 %, respectivamente, no siendo diferentes estadísticamente ( $P>0.05$ ).

**Cuadro 6. Digestibilidad ileal aparente (%) de la materia seca y aparente y verdadera de la proteína.**

Nutriente	Porcentaje de taninos en la dieta				EEM.	Prob<
	0.13	0.40	0.83	0.91		
<b><i>Digestibilidad Aparente</i></b>						
Materia seca	78.07a	71.29b	72.18ab	69.60b	2.111	0.05
Proteína	68.15a	57.09b	62.18ab	61.21ab	2.825	0.05
<b><i>Digestibilidad Verdadera</i></b>						
Proteína	80.55a	69.71b	73.91ab	73.22ab	2.842	0.05

<sup>ab</sup>Medias dentro del mismo renglón con literales distintas son diferentes estadísticamente ( $P<0.05$ ).

Los valores de la digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos se presentan en el cuadro 7, estos presentan una considerable reducción por efecto del incremento del nivel de taninos. Cuando el nivel de estos factores antinutricionales paso de 0.13 a 0.40 %, se observó un decremento ( $P<0.05$ ) de 15.14, 11.96, 38.64, 14.81 y 19.07 % en la digestibilidad ileal aparente de los siguientes aminoácidos: arginina, isoleucina, treonina, valina y triptófano, respectivamente. En el caso de los aminoácidos ácido aspártico, cisteina, prolina y serina, las reducciones ( $P<0.05$ ) en

la digestibilidad ileal aparente fueron de 13.70, 26.58, 7.73 y 16.75 %, respectivamente cuando el nivel de taninos en la dieta pasó de 0.13 a 0.40 %. Mientras que, los aminoácidos histidina, leucina, metionina, fenilalanina, alanina, ácido glutámico y tirosina, no presentaron reducción significativas ( $P>0.05$ ) en su digestibilidad ileal aparente cuando el nivel de taninos se incrementó en 3 veces (0.40 vs 0.13 %).

La digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos esenciales de las dietas conteniendo 0.83 y 0.91 % de taninos con respecto a la dieta con 0.13 %, no fue estadísticamente significativa ( $P>0.05$ ) para la arginina, para la histidina, para la isoleucina, para leucina, para la metionina, para la fenilalanina, para la treonina, para valina y para el triptófano, respectivamente. Similarmente, la digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos no esenciales alanina, ácido aspártico, ácido glutámico, serina y tirosina, no fue diferente significativamente ( $P>0.05$ ) a causa del incremento del nivel de taninos de 0.13 a 0.83 y 0.91 %. Así mismo, se presentó una menor ( $P<0.05$ ) digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos cisteína (13.24 y 11.67 %) y prolina (26.20 y 31.71 %), cuando el nivel de taninos se incrementó de 0.13 a 0.83 y 0.91 %, respectivamente.

La digestibilidad ileal aparente del aminoácido lisina decreció ( $P<0.05$ ) el 36.56 % cuando el nivel de taninos de la dieta pasó de 0.13 a 0.40 %, presentándose efectos contrarios, cuando el nivel de taninos se incrementó de 0.13 a 0.83 y 0.91, donde la

digestibilidad ileal aparente se vio incrementada en 16.31 y 29.28 %, respectivamente.

**Cuadro 7. Digestibilidad ileal aparente (%) de los aminoácidos de las dietas con diferentes contenido de taninos condensados.**

Nutrientes	Porcentaje de taninos en la dieta				EEM	Prob.
	0.13	0.40	0.83	0.91		
<b><i>Aminoácidos Esenciales</i></b>						
Arginina	74.55a	63.26b	70.10ab	71.20a	2.069	0.05
Histidina	68.91	58.74	63.78	63.96	2.511	0.10
Isoleucina	75.29a	66.28b	72.04ab	72.01ab	2.361	0.05
Leucina	82.99	77.30	79.23	76.36	2.111	0.24
Lisina	44.50b	28.23c	51.76ab	57.53a	4.265	0.05
Metionina	77.72	69.33	76.60	73.83	2.304	0.10
Fenilalanina	80.14	73.77	74.23	74.13	2.309	0.32
Treonina	54.81a	33.63b	54.55a	54.71a	2.967	0.05
Valina	73.29a	62.43b	69.24ab	69.85ab	2.587	0.05
Triptófano	69.34a	56.11b	65.03ab	64.48ab	3.508	0.05
<b><i>Aminoácidos No esenciales</i></b>						
Alanina	78.19	71.82	76.55	73.55	2.102	0.13
Acido aspártico	68.83a	59.40b	67.20ab	67.08ab	2.626	0.05
Cisteina	63.19a	46.39d	54.82c	55.81bc	2.356	0.05
Acido glutámico	82.14	75.59	78.67	76.36	1.940	0.17
Prolina	70.34a	64.90ab	51.91bc	48.03c	3.980	0.05
Serina	70.60a	58.77b	68.17a	65.50a	2.093	0.05
Tirosina	73.52	64.27	65.81	64.98	2.643	0.18

<sup>abcd</sup>Medias dentro del mismo renglón con literales distintas son diferentes estadísticamente (P<0.05).

Los valores de la digestibilidad ileal verdadera se encuentran reportados en el cuadro 8. De manera similar a lo sucedido con la digestibilidad ileal aparente, la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos experimentó una reducción significativa por efecto del incremento del nivel de taninos en la dieta, cuando el nivel de taninos pasó de 0.13 a 0.40 %, los valores de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos esenciales histidina, isoleucina, metionina, treonina y valina, decrecieron ( $P < 0.05$ ) en 11.09, 11.87, 28.85 y 13.74 %, respectivamente, y en 13.06 y 8.63 % para la arginina, cuando el nivel de taninos paso de 0.13 a 0.40 y 0.83 %. Los resultados de la digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos no esenciales ácido aspártico, cisteina, prolina y serina, presentaron el mismo patrón en la reducción ( $P < 0.05$ ) de la digestibilidad ileal verdadera, cuando el nivel de taninos de la dieta pasó de 0.13 a 0.40 %, observándose decrementos en la digestibilidad ileal verdadera de 11.98, 23.13, 6.45 y 14.84 %, respectivamente. Los resultados de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos de las dietas con 0.83 y 0.91 % de taninos, no presentaron diferencias significativas en los valores de digestibilidad ( $P > 0.05$ ) con relación a los aminoácidos de la dieta con 0.13 % de taninos. Similarmente, la digestibilidad del aminoácido lisina se vio afectada negativamente ( $P < 0.05$ ) cuando la concentración de taninos en la dieta, paso de 0.13 a 0.40 %, con decrementos de 23.91 %. No se presentó ( $P > 0.05$ ) el mismo patrón cuando el nivel de taninos en la dieta se incrementó a 0.83 y 0.91 %, donde el resultado de la digestibilidad ileal verdadera de la lisina se vio incrementada en 3.10 y 17.57 % con relación a la dieta basal con 0.13 % de taninos.

**Cuadro 8. Digestibilidad ileal verdadera (%) de los aminoácidos de las dietas con diferente contenido de taninos condensados.**

Nutrientes	Porcentaje de taninos en la dieta				EEM	Prob<
	0.13	0.40	0.83	0.91		
<b><u>Aminoácidos Esenciales</u></b>						
Arginina	84.84a	74.20c	78.43bc	80.92ab	2.069	0.05
Histidina	77.86a	67.69b	70.58ab	71.69ab	2.511	0.05
Isoleucina	83.13a	73.91b	79.29ab	80.54ab	2.361	0.05
Leucina	87.06	81.33	83.14	80.30	2.111	0.22
Lisina	63.39a	48.23b	65.36a	74.53a	4.267	0.05
Metionina	82.60a	72.79b	78.49ab	77.68ab	2.261	0.05
Fenilalanina	85.57	79.23	79.33	79.64	2.309	0.31
Treonina	75.92a	53.99b	71.82a	73.30a	2.964	0.05
Valina	82.45a	71.12b	75.10ab	78.94a	2.598	0.05
Triptófano	95.05	86.11	95.03	90.19	3.508	0.09
<b><u>Aminoácidos No esenciales</u></b>						
Alanina	83.26	75.76	80.71	77.98	2.102	0.10
Acido aspártico	80.36a	70.73b	77.50ab	77.54ab	2.626	0.05
Cisteína	72.56a	55.77c	62.70bc	64.14b	2.357	0.05
Acido glutámico	86.29	79.70	82.59	80.22	1.940	0.15
Prolina	87.81a	82.14a	68.49bc	65.27c	3.980	0.05
Serina	84.77a	72.19c	80.61ab	78.25bc	2.093	0.05
Tirosina	78.04	68.79	70.19	69.36	2.643	0.17

<sup>abc</sup>Medias dentro del mismo renglón con literales distintas son diferentes estadísticamente (P<0.05).

**Experimento 2.-** Los resultados de la actividad enzimática específica y total de tripsina y quimotripsina, peso del páncreas y concentración de proteína en el páncreas se encuentran reportados en los cuadros 9 y 10. El peso del páncreas expresado como gramo por kilogramo de peso metabólico (kg<sup>.75</sup>), no presentó

diferencias ( $P>0.05$ ) estadísticas, pero si se observó un ligero incremento de 1.85 y 0.46 % cuando los cerdos fueron alimentados con las dietas que contenían 0.83 y 0.91 % de taninos, respectivamente. Igualmente, la concentración de proteína en el tejido pancreático expresada como miligramos por gramo de tejido, no se vio afectada ( $P>0.05$ ) por efectos del consumo de dietas con niveles crecientes de taninos. La actividad específica de la enzima (AEE) y la actividad total de la enzima (ATE), tripsina medida en el tejido pancreático, no presentaron diferencias ( $P>0.05$ ) estadísticas. Aún así, la actividad total de enzima, demostró un ligero decremento cuando el nivel de taninos de la dieta paso de 0.13 a 0.40, 0.83 y 0.91 %, esta reducción en la actividad total de la enzima fue de 1.61, 2.20 y 4.21 % y de 539.56, 737.28 y 1410.90 UI/g de tejido, para la dieta con 0.40, 0.83 y 0.91 % de taninos, respectivamente. De igual forma, al de la actividad específica de la enzima tripsina presentó un patrón similar al de la actividad total, como lo demuestra una ligera disminución de la actividad, cuando las dietas pasaron de 0.13 a 0.40, 0.83 y 0.91% de taninos. Esta disminución fue de 0.97, 1.67 y 4.04 % para las dietas con 0.4, 0.83 y 0.91 % de taninos respectivamente.

La actividad total de la enzima tripsina en el contenido duodenal, presentó diferencias ( $P<0.05$ ) estadísticas entre los tratamientos con 0.13, 0.83 y 0.91 % de taninos, la actividad total de la enzima tripsina se incrementó en 5.56 y 6.72 %, respectivamente; mientras que la dieta con 0.4 % de taninos produjo un incremento ( $P>0.05$ ) de 3.15 %. La actividad total de la enzima tripsina en el contenido yeyunal

e ileal, no presentaron diferencias ( $P>0.05$ ), similarmente, la actividad específica y total de la enzima quimotripsina en el tejido pancreático no fue afectada cuando el nivel de taninos pasó de 0.13 a 0.40, 0.83 y 0.91 %. La actividad total de la enzima quimotripsina en el contenido duodenal, yeyunal e ileal, no presentó diferencias ( $P>0.05$ ) estadísticas significativas por el incremento de taninos en la dieta.

**Cuadro 9. Peso y contenido de proteína en el páncreas y actividad enzimática de la tripsina en el páncreas y en el contenido intestinal.**

Variable de respuesta	Porcentaje de taninos en la dieta				EEM
	0.13	0.40	0.83	0.91	
<b>Peso del páncreas (g/kg<sup>75</sup>)</b>	4.31	4.21	4.39	4.33	0.418
<b>Proteína en páncreas (mg/g)</b>	160.41	159.86	159.46	160.04	2.797
<b>En Páncreas</b>					
(UI/g de tejido) <sup>1</sup>	33513.12	32971.99	32773.69	32099.11	470.417
(UI/mg de proteína) <sup>2</sup>	209.10	207.07	205.59	200.64	5.689
<b>En Intestino (UI/g de digesta)<sup>1</sup></b>					
Duodeno	33396.83 <sup>a</sup>	34449.61 <sup>ab</sup>	35254.06 <sup>b</sup>	35641.30 <sup>b</sup>	390.679
Yeyuno	33547.21	34413.76	33710.82	34381.93	495.960
Ileon	35564.34	34247.09	34332.67	34812.05	477.597

<sup>ab</sup>Medias dentro del mismo renglón con literales distintas son diferentes estadísticamente (P<0.05)

<sup>1</sup>Actividad enzimática total

<sup>2</sup>Actividad enzimática específica

**Cuadro 10. Actividad enzimática de la quimotripsina en el páncreas y en el contenido intestinal.**

Actividad Enzimática	Porcentaje de taninos en la dieta				EEM
	0.13	0.40	0.83	0.91	
<b>En Páncreas</b>					
(UI/g de tejido) <sup>1</sup>	12869.39	12628.55	13128.18	12993.68	289.171
(UI/mg de proteína) <sup>2</sup>	80.18	80.65	82.15	81.20	1.850
<b>En Intestino (UI/g de digesta)<sup>1</sup></b>					
Duodeno	12188.79	12355.82	12051.70	12417.07	243.605
Yeyuno	12561.01	12695.54	12963.02	12941.77	325.369
Ileon	12552.15	12464.95	12585.49	12629.22	362.523

<sup>1</sup>Actividad enzimática total

<sup>2</sup>Actividad enzimática específica

## 7. DISCUSION

### 7.1. Digestibilidad de la proteína y aminoácidos

El efecto depresivo de los taninos sobre la digestibilidad ileal aparente, se hizo evidente en el presente estudio, observándose reducciones de 10.84 % en la digestibilidad ileal aparente de la materia seca cuando el nivel de taninos se incrementó de 0.13 a 0.91 %. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en previos estudios llevados a cabo con cerdos alimentados con dietas basadas en sorgo (Cousin et al., 1981) con altos niveles de taninos. Según estos autores, la digestibilidad de la materia seca se redujo significativamente en 5.68 %, cuando el nivel de taninos se incrementó de 0.83 a 3.40 %. Contrario a esto, Lizardo et al. (1995) y Mitaru et al. (1984) quienes utilizando altos niveles de taninos (3.25 y 4.73 %, respectivamente), no observaron efectos claros de estos factores antinutricionales sobre la digestibilidad ileal aparente de la materia seca.

De igual forma, la digestibilidad ileal aparente de la proteína del grano de sorgo, fue afectada, por el incremento de los niveles de taninos, sufriendo reducciones de 16.22 % cuando el nivel pasó de 0.13 a 0.40 %. Estos datos concuerdan con los presentados por Cousin et al. (1981); Jansman et al. (1993) quienes afirman, que dietas con altos niveles de taninos (3.40 y 0.98 % respectivamente) reducen la digestibilidad ileal aparente de la proteína del grano de sorgo. Sin embargo, estos

discrepan con los obtenidos por Lizardo et al. (1995), quienes no observaron efectos deprimentes en este parámetro por efecto del nivel de taninos (3.25 %) en la dieta.

Aún cuando la reducción de la digestibilidad ileal aparente de la proteína en el presente estudio fue evidente, ésta no se presentó en proporción directa al incremento de los niveles de taninos en la dieta, ya que se observó que la dieta con 0.40 % de taninos presentó una menor digestibilidad ileal aparente de la proteína que aquellas que contenían niveles mayores de taninos (0.83 y 0.91 %). Estos resultados permiten deducir, que existieron otros factores independientemente del contenido de taninos, que pudieron afectar la digestibilidad ileal aparente de la proteína del grano de sorgo con 0.4 % de taninos. Uno de estos factores, pudiera ser la presencia de altos niveles  $\beta$  y  $\gamma$ -kafirinas en el perfil proteico de este grano (Hamaker et al., 1986), ya que estas proteínas son las menos digestibles del grano de sorgo.

Similarmente, se presentó una disminución de 13.45 % en la digestibilidad ileal verdadera de la proteína por efecto del incremento (0.13 a 0.40 %) en el nivel de taninos en la dieta. Esta disminución en la digestibilidad ileal verdadera causada por estos factores antinutricionales, también fue observada por Mariscal (1992) cuando utilizó dietas con diferentes niveles de taninos (0.05, 0.19, 0.6 y 1.04 %) en la alimentación de cerdos.

De igual forma que en la digestibilidad ileal aparente de la proteína, los niveles crecientes de taninos no redujeron proporcionalmente la digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos esenciales y no esenciales presentes en el grano de sorgo. La digestibilidad ileal aparente de la lisina (primer aminoácido limitante del grano de sorgo) se vio afectada negativamente por el incremento de los niveles de taninos en la dieta hasta en un 0.40 %, no siendo observado este efecto para las dietas con 0.83 y 0.91 %. Discrepando estos resultados con los presentados por Jansman et al. (1995), quienes observaron decrementos de la digestibilidad ileal aparente de este aminoácido, proporcionalmente al incremento de los niveles de taninos (0.1, 0.56 y 0.65 %). Similarmente, Mariscal (1992) reportó una disminución en la digestibilidad ileal aparente de la lisina de 35.10 % cuando el nivel de taninos pasó de 0.05 a 1.03 %.

La digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos treonina y triptófano, segundo y tercer aminoácidos limitantes en del grano de sorgo (Cohen y Tansley, 1976), así como de los aminoácidos arginina, histidina, isoleucina, leucina, metionina, fenilalanina, valina, alanina, ácido aspártico, ácido glutámico, cisteína, serina y tirosina, decreció con el incremento de los niveles (0.13, 0.40, 0.83 y 0.91%) de taninos, presentándose efectos más marcados con la dieta de 0.40 %. El efecto depresivo de los taninos sobre la digestibilidad aparente de estos aminoácidos, ha sido reportada también por Mitaru et al. (1984), quienes observaron una reducción aproximada del 9.47 % en promedio, cuando el nivel de taninos pasó de 0.1 a 4.73

%.

La digestibilidad ileal aparente de la prolina en el presente estudio se vio significativamente afectada por la presencia de taninos, concordando estos resultados con los presentados por Cousin et al. (1981), quienes observaron una amplia reducción de la digestibilidad de este aminoácido en presencia de altos niveles de taninos, fenómeno que pudo deberse por la alta afinidad que presentan estos factores antinutricionales por este aminoácido en particular (Hagerman y Butler, 1981). La mayor digestibilidad ileal aparente experimentada por los aminoácidos esenciales y no esenciales (excepto prolina) de las dietas con los mayores niveles de taninos, pudo deberse a la mayor concentración de estos aminoácidos en estas dietas, lo que causó que aún cuando la digestibilidad pudo ser mucho más afectada, el peso específico del endógeno fue menor (Furuya y Kaji, 1989; Fan et al., 1994; Fan y Sauer, 1997).

La digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos del presente estudio presentaron el mismo patrón de respuesta que la digestibilidad ileal aparente. La reducción en los valores de digestibilidad experimentados por los aminoácidos esenciales arginina, histidina, isoleucina, leucina, metionina, fenilalanina, treonina, valina y triptófano en presencia de niveles crecientes de taninos, son corroborados por Mariscal (1992), quien observó un marcado decremento de la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos esenciales y no esenciales del grano de sorgo, cuando los niveles de taninos pasaron de 0.05 a 1.04, %. Similar comportamiento se observó en el presente estudio con relación a una menor digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos

alanina, ácido aspártico, cisteína, ácido glutámico prolina, serina y tirosina cuando altos niveles de taninos estuvieron presente, coincidiendo estos resultados con los expuestos por Mariscal (1992).

## **7.2. Enzimas Proteolíticas.**

Los resultados encontrados en la presente investigación, no demostraron efectos de los niveles de taninos condensados en los granos de sorgo sobre la actividad específica y total de las enzimas pancreáticas tripsina y quimotripsina, tanto en el tejido pancreático, como en el contenido intestinal con excepción de la actividad total de la enzima tripsina en duodeno. Estos resultados discrepan con los obtenidos por Jansman et al. (1994) quienes observaron que los taninos condensados de haba (*Vicia faba L.*) redujeron la actividad de la enzima tripsina en la digesta obtenida desde el intestino delgado de los cerdos, sugiriendo estos investigadores que los taninos interactúan con las enzimas digestivas. El motivo de la discrepancia de los resultados obtenidos en la presente investigación con los encontrados por Jansman et al. (1994), puede deberse al menor peso y edad de los cerdos utilizados por estos investigadores, lo que pudo causar que la capacidad de la producción de enzimas pancreáticas así como la actividad de éstas no haya estado en su máximo desarrollo. Situación que fue observada por Owsley et al. (1986); y Makkink et al. (1994b). No existió respuesta alguna sobre el peso y contenido de proteína del páncreas por

efecto de los altos niveles de taninos condensados en las dietas estudiadas coincidiendo estos resultados con los presentados por Lizardo et al. (1995), Jansman et al. (1993), y discrepando con Jansman et al. (1994) quienes encontraron incrementos en los niveles de proteína en el tejido pancreático como respuesta a dietas con altos niveles de taninos. Con los resultados obtenidos se pone en evidencia que el tejido pancreático de los cerdos con un promedio de peso de 60 kilos que consumen dietas con taninos condensados durante un período corto (ocho días) no sufre hipertrofia ni reducción en la actividad de las proteasas en el tejido pancreático.

## 8. CONCLUSIONES

1. Los niveles de taninos afectaron la digestibilidad ileal aparente de la materia seca y la digestibilidad ileal aparente y verdadera de la proteína, aunque no se observó una relación estrecha entre esta y los niveles crecientes de estos factores antinutricionales.
2. La mayor concentración de los aminoácidos, produjo una mayor digestibilidad ileal aparente de estos, lo que no permitió observar claramente el efecto depresivo de los taninos.
3. El aminoácido más afectado por la presencia de taninos condensados en la dieta es el aminoácido no esencial prolina.
4. La actividad específica y total de las enzimas tripsina y quimotripsina en el tejido pancreático, y total en el contenido yeyunal e ileal no fueron afectadas por la presencia de taninos en la dieta.
5. La actividad total de tripsina en el contenido duodenal sufrió un incremento por efecto de la dieta con el mayor contenido de taninos.

6. No se observaron cambios en el peso y contenido de proteína en el páncreas de cerdos alimentados con taninos condensados.

## 9. RECOMENDACIONES

Es importante que se continúen realizando investigaciones relacionadas con la estimación de la digestibilidad de la proteína y aminoácidos del grano de sorgo, evaluando principalmente el efecto que tiene el perfil de las proteínas presentes en este cereal sobre la digestibilidad. El fraccionamiento de las proteínas de cada grano consumido, así como de la digesta producida en pruebas de digestibilidad ileal, es el método más recomendado para éste fin. En lo referente a la evaluación de la actividad enzimática, se recomienda realizar periodos de investigación más prolongados cuando se intente evaluar el efecto del consumo de taninos sobre la actividad de las enzimas pancreáticas.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- AOAC, 1995 Association of Official Analytical Chemist. 16 Th. Edn. Official Methods of Analysis, Washington, D. C.
- Armstrong, W., Rogler, J. and Featherston, W. 1974. Effects of tannin extration on the performance of chicks fed bird resistant sorghums grain diets. *Poult. Sci.* 53:714.
- Baker, D. H. and Chung, T. K. 1992. Ideal Protein for Swine and Poultry. FERMEX Technical Review-4.
- Bengala-Freire, J., Peiniau, J., Lebreton, Y. and Aumaitre, A. 1988. Determination of ileal digestibility by shunt technique in the early-weaned pig: Methodological aspects and utilisation of starch-rich diets. *Livest. Prod. Sci.* 20:233.
- Bergmeyer, H. U. 1974. Methoden der enzymatischen analyse II. Verlag chemie, Weinheim, Germany, 1510 pp.
- Bressani, R., Elias, L., Hagerman, A. and Butler, L. 1983 Tannins in common beans: Methods of analysis and effects on protein quality. *J. Food Sci.* 48:1000.
- Caine W. R., Tamminga, S., Sauer, W. C., Verstegen, M. W. A. and Schulze, H. 1999. Bacterial constributions to total and endogenous recoveries of nitrogen and amino acids in ileal digesta of newly weaned piglets fed protease-treated soybean meal. *Livest. Prod. Sci.* 57:147.
- Cichon, R. and Sauer, W. C. 1991 Formulation of pig diets on the basis of digestible lysine *versus* total lysine or digestible or total protein. *Acta Acad. Agric. Tech. Olst.* 34:95
- Ciria, J. 1995. Digestibilidad. En: Buxade, C. Zootecnia, Bases de producción animal. II. Reproducción y alimentación animal (Ed. Mundi Prensa). pp. 169-179
- Cohen, R. S. and Tanksley, T. D., Jr. 1976. Limiting amino acids in sorghum for growing and finishing swine. *J. Anim. Sci.* 43:1028.
- Cousins, B. W., Tanksley, T. D., Knabe, D. A. and Zebrowska, T. 1981. Nutrient digestibility and performance of pigs fed sorghums varying in tannin concentration. *J. Anim. Sci.* 53:1524.

- Darcy, B., Laplace, J. P. and Villiers, P. A. 1980. Digestion dans l'intestin grêle chez le porc. 2) Cinétique comparée de passage des digesta selon le mode de fistulation, iléocaecale ou iléo-colique post valvulaire, dans diverses conditions d'alimentation. *Ann. Zootech.* 29(2):147.
- Dendy, D. 1995. Sorghum and millets, Chemistry and Technology. American Associations of Cereal Chemists. St. Paul, Minnesota, USA 142-143.
- de Lange, C. F. M., Souffrant, W. B. and Sauer, W. C. 1990. Real ileal protein and amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs as determined with the <sup>15</sup>N-Isotope dilution technique. *J. Anim. Sci.* 68:409
- Donkoh, A., Moughan, P. J. and Smith, W. C. 1994a. Comparison of the slaughter method and simple T-piece cannulation of the terminal ileum for determining ileal amino acid digestibility in meat and bone meal for the growing pig. *Anim. Feed Sci. Tech.* 49:43.
- Donkoh, A., Moughan, P. J., Smith, W. C. 1994b. True ileal digestibility of amino acids in meat and bone meal for the growing pig –application of a routine rat digestibility assay. *Anim. Feed Sci. Tech.* 49:73.
- Easter, R. and Tanksley, T. D., Jr. 1973. A technique for re-entrant ileocecal cannulation of swine. *J. Anim. Sci.* 36:1099
- Englyst, H. 1989. Classification and measurement of plant polysaccharides. *Anim. Feed Sci. Tech.* 23:27
- Fan, M. Z. and Sauer, W. C. 1995a. Determination of apparent ileal amino acid digestibility in barley and canola meal for pigs with the direct, difference, and regression methods. *J. Anim. Sci.* 73:2364.
- Fan, M. Z. and Sauer, W. C. 1995b. Determination of apparent ileal amino acid digestibility in peas for pigs with the direct, difference and regression methods. *Livest. Prod. Sci.* 44:61.
- Fan, M. Z. and Sauer, W. C. 1997. Determination of true ileal amino acid digestibility in feedstuffs for pigs with the linear relationships between distal ileal outputs and dietary inputs of amino acids. *J. Sci. Food Agric.* 73:189.
- Fan, M. Z., Sauer, W. C., Hardin, R. T. and Lien, K. A. 1994. Determination of apparent ileal amino acid digestibility in pigs: Effect of dietary amino acid level. *J. Anim. Sci.* 72:2851.

- Fan, M. Z., Sauer, W. C. and Gabert, V. M. 1996. Variability of apparent ileal amino acid digestibility in canola meal for growing-finishing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 76:563.
- Fenton, T. W. and Fenton, M. 1979. An improved procedure for determination of chromic oxide in feed and feces. *Can. J. Anim. Sci.* 59:631
- Furuya, S., and Kaji, Y. 1989. Estimation of the true ileal digestibility of amino acids and nitrogen from their apparent values for growing pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.* 26:271.
- Fuller, M. F., McWilliam, R., Wang, T. C., and Giles, L. R. 1989. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs. 2. Requirement for maintenance and for tissue protein accretion. *Br. J. Nutr.* 62:255.
- Graham, H. and Aman, P. 1986. Circadian variation in composition of duodenal and ileal digesta from pigs fitted with T-cannulas. *Anim. Prod.* 43:133.
- Graham, H. and Aman, P. 1987. Whole-crop peas. II. Digestion of early- and late-harvested crops in the gastrointestinal tract of pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.* 17:33.
- Graham, H., Hesselman, K. and Aman, P. 1986. The influence of wheat bran and sugar-beet pulp on the digestibility of dietary components in a cereal-based pig diet. *J. Nutr.* 116:242.
- Green, S., Bertrand, S. L., Duron, M. J. C. and Maillard, R. 1987. Digestibility of amino acid in maize, wheat and barley meal, measured in pigs with ileo-rectal anastomosis and isolation of the large intestine. *J. Sci. Food Agric.* 41:29
- Green, S., Bertrand, S. L., Duron, M. J. C. and Maillard, R. A. 1988. Digestibility of amino acids in soya-bean, sunflower and groundnut meal, measured in pigs with ileo-rectal anastomosis and isolation of the large intestine. *J. Sci. Food Agric.* 42:119.
- Gualtieri, M. and Rapaccini, S. 1990. Sorghum grain in poultry feeding. *World's Poult. Sci. J.* 46:246.
- Guiragossian, V., Chibber, B. A.K., Van Scoyoc, S., Jambunathan, R., Mertz, E. and Axtell, J. 1978. Characteristics of proteins from normal, high lysine, and high tannin sorghums. *J. Agric. Food Chem.* 26:219.

- Hagerman, A. and Butler, L. 1981. The specificity of proanthocyanidin-protein interactions. *J. Biol.Chem.* 256:4494.
- Hallin, D. H., Rooney, L. W. and Earp, C. F. 1996. Taninos y fenoles del sorgo. U.S. Feed Grains Council. Boletín informativo. Monte Pelvoux 220 PH-2 Lomas de Chapultepec 11000 México D.F.
- Hamaker, B. R., Kirleis, A. W., Mertz, E. T. and Axtell, J. D. 1986. Effect of cooking on the protein profiles and *in vitro* digestibility of sorghum and maize. *J. Agric. Food Chem.* 34:647
- Henry, Y. 1988. Signification de la protéine équilibrée pour le porc: intérêt eta limites. *INRA Prod. Anim.* 1:65.
- Imbeah, M., Sauer, W. C. and Caine, W. R. 1995. Comparison of the single dose and withdrawal method for measuring the rate of passage of two digestibility markers in digesta collected from the distal ileum and feces in growing pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.* 52:41.
- Ivan, M., and Farrell, D. J. 1976. Nutritional evaluation of wheat. 5. Disappearance of components in digesta of pigs prepared with two re-entrant cannulae. *Anim. Prod.* 23:111.
- Jansman, A., Huisman, J. and Van der Poel, A. 1993. Ileal and faecal digestibility in piglet of field beans (*Vicia faba* L.) varying in tannin content. *Anim. Feed Sci. Tech.* 42:83.
- Jansman, A.J., Enting, H., Verstegen, M. W. and Huisman, J. 1994. Effect of condensed tannins in hulls of faba beans (*Vicia faba* L.) on the activities of trypsin (EC 2. 4. 21. 4) and chymotrypsin (EC 2. 4. 21. 1) in digesta collected from the small intestine of pigs. *Br. J. Nutr.* 71:627.
- Jansman, A. J., Verstegen, M. W. A., Huisman, J. and Van den Berg, J. W. O. 1995. Effect of hulls of faba beans (*Vicia faba* L.) with a low or high content of condensed tannins on the apparent ileal and fecal digestibility of nutrients and the excretion of endogenous protein in ileal digesta and feces of pigs. *J. Anim. Sci.* 73:118.
- Lacassagne, L., Francesch, B., Carré, B. and Melcion, J. 1988. Utilization of tannin-containing and tannin-free faba beans (*Vicia faba*) by young chicks: Effects of pelleting feeds on energy, protein and starch digestibility. *Anim. Feed Sci. Tech.* 20:59.

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

- Le Guen, M. P., Huisman, J., Guénguen, J., Beelen, G. and Verstegen, M. W. A. 1995. Effects of a concentrate of pea antinutritional factors on pea protein digestibility in piglets. *Livest. Prod. Sci.* 44:157.
- Li, S., Sauer, W. C. and Hardin, R. T. 1994. Effect of dietary fibre level on amino acid digestibility in young pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 74:327.
- Lizardo, R., Peinau, J. and Aumaitre, A. 1995. Effect of sorghum on performance, digestibility of dietary components and activities of pancreatic and intestinal enzymes in the weaned piglet. *Anim. Feed Sci. Tech.* 56:67.
- Longstaff, M. and McNab, J. M. 1991. The inhibitory effects of hull polysaccharides and tannins of field beans (*Vicia faba* L.) on the digestion of amino acids, starch and lipid and on digestive enzyme activities in young chicks. *Br. J. Nutr.* 65:199-216
- Low, A. G. 1980. Nutrient absorption in pigs. *J. Sci. Food Agric.* 31:1087.
- Low, A. G. 1982. Digestibility and availability of amino acids from feedstuffs for pigs: A review. *Livest. Prod. Sci.* 9:511.
- Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L. and Randall, R. J. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193:265.
- Makkink, C. A., Negulescu, G. P., Guixin, Q. and Verstegen, M. W. A. 1994a. Effect of dietary protein source on feed intake, growth, pancreatic enzyme activities and jejunal morphology in newly-weaned piglets. *Br. J. Nutr.* 72:353.
- Makkink, C. A., Berntsen P. J. M., op den Kamp, B. M. L., Kemp, B. and Verstegen, M. W. A. 1994b. Gastric protein breakdown and pancreatic enzyme activities in response to two different dietary protein sources in newly weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 72:2843.
- Mangan, J. L. 1988 Nutritional effects of tannins in animal feeds. *Nutr. Res. Rev.* 1:209.
- Mariscal, G. 1992. Facteurs de variation de l'utilisation digestive des acides aminés chez le porc. These Doctorat Université de Rennes Y, 135 pp.
- Mariscal, G. 1997. Digestibilidad ileal, una herramienta para formular a proteína ideal. Noveno ciclo de conferencias sobre aminoácidos sintéticos FERMEX. septiembre. México. Pag. 47-62

- Mariscal-Landin, G., Séve, B., Colléaux, Y. and 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 fibre. *J. Nutr.* 125:136.
- Mitaru, B. N., Reichert, R. D. and Blair, R. 1984. The binding of dietary protein by sorghum tannins in the digestive tract of pigs. *J. Nutr.* 114:1787
- Morgham, P. J. and Smith, W. C. 1987. A note on the effect of cannulation of the terminal ileum of the growing pig on the apparent ileal digestibility of amino acids in ground barley. *Anim. Prod.* 44:319
- Mossé, J., Huet, J. C. and Baudet, J. 1988. The amino acid composition of whole sorghum grain in relation to its nitrogen content. *Cereal Chem.* 65:271.
- Nelson, T. S., Stephenson, E., Burgos, A., Floyd, J. and York, J. 1975. Effect of tannin content and dry matter digestion on energy utilization and average amino acid availability of hybrid sorghum grains. *Poult. Sci.* 54:1620.
- Oria, M. P., Hamaker, B. R., and Shull, J. M. 1995. Resistance of sorghum  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$ -kafirins to pepsin digestion. *J. Agric. Food Chem.* 43:2148
- Owsley, W. F., Orr, D. E., and Tribble, L. F. 1986. Effects of age and diet on the development of the pancreas and the synthesis and secretion of pancreatic enzymes in the young pig. *J. Anim. Sci.* 63:497
- Price, M. L., Steve, V. S. and Butler, L. C. 1978. A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *J. Agric. Food Chem.* 26:1214.
- Protkins, Z. V., Lawrence, T. L. J. and Thomlinson, J. R. 1991. Effects on ileal apparent digestibility in the growing pig of replacing barley with bran, oatmeal by-product, guar gum and pectin. *Anim. Feed Sci. Tech.* 35:171.
- Reboud, J. P., Ben Abdeljlil, A. and Desnuelle, P. 1962. Variations de la teneur en enzymes du pancréas de rat en fonction de la composition des régimes. *Biochim. Biophys. Acta* 58:326.
- Reed, D. J. 1995. Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. *J. Anim. Sci.* 73:1516.
- Rooney, L. W. and Clark, L. E. 1968. The chemistry and processing of sorghum grain. *Cereal Sci. Today.* 13 (7):259.

- Sauer, W. and Ozimek, L. 1986. Digestibility of amino acids in swine: Results and their practical applications. A review. *Livest. Prod. Sci.* 15:367.
- Schulze, H., van Leeuwen, P., Verstegen, M. W. A., Huisman, J., Souffrant, W. B. and 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.
- Schulze, H., van Leeuwen, P., Verstegen, M. W. A. and 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.
- Sell, D. R., Rogler, J. C. and Featherston, W.R. 1983. The effects of sorghum tannin and protein level on the performance of laying hens maintained in two temperature environments. *Poult. Sci.* 62:2420.
- Shull, J. M., Watterson, J. J. and Kirleis, A. W. 1991. Proposed nomenclature for the alcohol soluble proteins (kafirins) of sorghum bicolor (L. Moench) based on molecular weight, solubility, and structure. *J. Agric. Food Chem.* 39:83.
- Soria, R. J., Alveldaño, R. and Ortiz, C. A. 1987. Levantamiento fisiológico del estado de Querétaro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Guanajuato, México.
- Souffrant, W. B. 1991. Endogenous nitrogen losses during digestion in pigs. In: Verstegen, M. W. A., J. Huisman, den Hartog, L.A. (Eds.), *Digestive physiology in pigs: Endogenous Losses During Digestion in Pigs. Proceeding of the 5<sup>th</sup> International Symposium On Digestive Physiology In pigs.* EAAP Publication no. 54, Pudoc, Wageningen, pp147-166.
- Taverner, M. R., Hume, I. D. and Farrell, D. J. 1981. Availability to pigs of amino acids in cereal grains. 1. Endogenous levels of amino acids in ileal digesta and faeces of pig given cereal diets. *Br. J. Nutr.* 46:149.
- Van Leeuwen, P., Sauer, W. C., Huisman, J., Van Weerden, E. J., Van Kleef, D. and Den Hartog, L. A. 1987. Methodological aspects for the determination of amino acid digestibilities in pigs fitted with ileocecal re-entrant cannula. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 58:122.

- Viljoen, J., Ras, M. N., Siebrits, F. K. and Hayes, J. P. 1997. Use of the mobile nylon bag technique (MNBT) in combination with the ileo-rectal anastomosis technique (IRA) to determine amino acid digestibility in pigs. *Livest. Prod. Sci.* 51:109.
- Wall, J. S., and Blessin, C. W. 1969. Composition and esturcture of sorghum grains *Cereal Sci. Today.* 6 (8):264.
- Williams, P. E. V. 1995. Digestible amino acids for non-ruminant animals: Theory and recent chanllenges. *Anim. Feed Sci. Tech.* 53:173.