

11662



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTITLÁN

**EFFECTO DEL CONTENIDO DE TANINOS EN EL GRANO DE SORGO SOBRE
LA DIGESTIBILIDAD DE LA ENERGÍA, PROTEÍNA, AMINOÁCIDOS Y
ENERGÍA METABOLIZABLE VERDADERA CORREGIDA POR NITRÓGENO
EN AVES**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN EL ÁREA DE NUTRICIÓN ANIMAL

PRESENTA:

LORENZO REYNA SANTAMARÍA

BAJO LA DIRECCIÓN DEL:

DR. GERARDO MARISCAL LANDÍN

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO

277838

2000



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

Reyna Santamaría Lorenzo. 2000. Efecto del contenido de taninos en el grano de sorgo sobre la digestibilidad de la energía, proteína, aminoácidos y energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno en aves. Tesis de Maestría. Asesor: Dr. Gerardo Mariscal Landín.

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto del contenido de taninos del grano de sorgo sobre la digestibilidad verdadera de la proteína, aminoácidos y energía en gallos. Se utilizaron 60 gallos Leghorn de 6 meses de edad en dos experimentos, cada experimento se realizó utilizando un diseño de cuadro latino 5X5 y 5 gallos más por experimento para determinar la excreción endógena de proteína, aminoácidos y energía y hacer la corrección de la digestibilidad aparente en verdadera. Los tratamientos en el Experimento 1 fueron 4 variedades puras más una mezcla de sorgo con diferente concentración de taninos, medidos como porcentaje de "equivalentes de catequinas" en base seca (<0.25, 0.47, 0.78, 0.81 y 1.07); en el Experimento 2 se utilizaron otras 4 variedades puras más una mezcla de sorgo con las siguientes concentraciones de taninos, expresados como porcentaje de "equivalentes de catequinas" en base seca (<0.25, 0.41, 0.59, 4.19 y 5.06). Los gallos fueron alojados en jaulas individuales y ayunados durante 24 horas, posteriormente se les proporcionó una sola vez en forma precisa 30 g del sorgo molido con una criba de 1mm, utilizando un embudo de acero para depositarlo en el buche. Se colocaron charolas de aluminio individuales para recolectar las excretas durante 48 horas,

las muestras se congelaron, liofilizaron y se les determinó materia seca, ácido úrico, proteína cruda, aminoácidos y energía bruta; las variables de respuesta fueron: digestibilidad de la materia seca (**DMS**), digestibilidad verdadera de la proteína (**DVP**), digestibilidad verdadera de la energía (**DVE**), digestibilidad verdadera de aminoácidos (**DVAA**), (únicamente se determinaron aminogramas en las muestras del Experimento 2) y energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno (**EMVn**). Resultados. Experimento 1: **DMS** (78.11^a, 75.70^b, 76.89^{ab}, 72.90^c y 76.81^{ab}), **DVP** (83.45^a, 67.72^a, 65.00^a, 71.96^a y 76.36^a), **DVE** (92.01^a, 88.93^b, 89.98^b, 86.23^c y 89.80^b) y **EMVn** (3.65^a, 3.59^a, 3.59^a, 3.46^b y 3.57^a kcal/g). Experimento 2: **DMS** (74.01^b, 77.49^a, 78.59^a, 70.57^c y 68.63^c), **DVP** (85.65^a, 84.07^a, 91.29^a, 41.68^b y 41.25^b), **DVE** (85.93^b, 89.89^a, 90.31^a, 80.99^c y 78.75^c). La **DVAA** esenciales fue valina (81.4^a, 88.4^a, 82.4^a, 34.2^b y 28.7^b), treonina (71.5^b, 80.5^a, 75.7^{ab}, 17.8^c y 12.8^c), metionina (83.4^a, 88.1^a, 85.7^a, 33.2^b y 30.5^b), isoleucina (84.4^a, 90.2^a, 86.6^a, 36.1^b y 31.7^b), leucina (87.9^b, 94.5^a, 90.4^b, 33.4^c y 30.7^c), fenilalanina (87.4^b, 92.7^a, 89.9^{ab}, 33.4^c y 31.1^c), histidina (68.3^c, 89.2^a, 77.7^b, 24.8^d y 24.7^d), lisina (85.1^a, 91.7^a, 96.1^a, 51.9^b y 47.7^b) y arginina (76.4^b, 86.2^a, 86.6^a, 43.1^c y 37.4^c). La **DVAA** no esenciales fue ácido aspártico (80.3^a, 85.6^a, 84.0^a, 32.6^b y 29.9^b), serina (79.2^b, 89.1^a, 85.1^a, 20.8^c y 18.1^c), ácido glutámico (88.5^c, 95.1^a, 92.0^b, 35.1^d y 32.3^d), prolina (77.0^c, 94.0^a, 82.3^b, 26.5^d y 25.1^d), alanina (87.6^b, 93.0^a, 88.7^b, 33.1^c y 29.9^c), cisteína (61.0^b, 82.9^a, 68.3^b, 6.1^d y 17.4^c) y tirosina (79.9^b, 88.5^a, 83.9^{ab}, 15.8^c y 10.8^c). Los resultados de **EMVn** fueron: 3.37^b, 3.48^a, 3.56^a, 3.22^c y 3.11^d kcal/g. Se concluye que los niveles crecientes de taninos afectan negativamente la **DMS**, **EMVn**, **DVE**, **DVP** y la **DVAA**, sin embargo, nuestros resultados muestran que a parte

de los taninos puede haber otros factores que modifican la digestibilidad del sorgo, ya que en sorgos con bajo contenido de taninos se observó en algunos criterios de respuesta una menor digestibilidad que en sorgos con contenidos mayores de taninos. Todos los criterios de respuesta disminuyeron severamente cuando los niveles fueron de 4.19 y 5.06% de taninos en el sorgo.

DEDICATORIA

Por medio de la presente tesis hago patente mi más profundo agradecimiento a:
Mis padres: Juan Reyna Pineda y Catalina Santamaría Velez por su amor, comprensión, confianza y apoyo ilimitado en todo momento.

A mi esposa Socorro Villa Barrera y a mis hijos Irving y Leydi, que son lo más importante en mi vida, que quiero y amo mucho.

A mis hermanos: Mauro, Martha, Gloria, Armando, Francisco, Pablo y Eric, por su apoyo tanto moral y económico en todo momento.

A mis tíos y tías.

A mis sobrinos y sobrinas.

A mis suegros.

A mis cuñados y cuñadas.

A mis compañeros de generación en la maestría: Héctor Jairo, María Luz, Marcelo, José Cruz, Benito Mar, Juan Humberto, José María, Alejandra y Juan Serafín.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de estudios Superiores Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México, que hace posible los Estudios de Maestría.

Al Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), que me ofreció la oportunidad y el apoyo para la realización de mis estudios de Maestría, pero en especial a todas aquellas personas que de una u otra manera hicieron posible la realización del presente trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por su apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de maestría.

Al Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, por el apoyo brindado para la realización de mis estudios de maestría.

A la compañía Archer Daniels Midland "ADM" de Estados Unidos y México por el apoyo brindado en la determinación de los aminogramas en las muestras obtenidos durante el experimento.

A la Universidad Nacional Autónoma Chapingo, por el apoyo brindado en el laboratorio de nutrición animal con la bomba calorimétrica para la determinación de energía en las muestras obtenidas durante el experimento.

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.

A los Drs. José Luis Romano, Armando Shimada, Myriam Leal, Juan de Dios Garza, Ofelia Mora, Felipe Ruíz, Héctor Vera, Moisés Montaña y a los M.C. Irma Tejada, Emigdio Santiago, Juan Becerra, Jaime Romero, Lilia Soto y Manuel Gómez.

A la Química Erika Ramírez y al MVZ. Ana María Anaya del laboratorio de nutrición animal del CENID-Fisiología, por todo su apoyo brindado en los análisis de laboratorio.

En especial agradezco la valiosa colaboración, apoyo, disponibilidad y dedicación continua en la realización de mis estudios de maestría así como para la culminación del presente trabajo de investigación a los miembros del comité tutorial: Dr. Gerardo Mariscal Landín, Dr. Carlos Gustavo Vásquez Peláez, Dr. José Antonio Cuarón Ibarquengoytia, M.Sc. Ernesto Avila González y Dr. Sergio Gómez Rosales.

A todas aquellas personas que de una u otra manera hicieron posible la realización del presente trabajo de tesis.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	ii
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. La digestibilidad como herramienta para evaluar la cantidad de un nutrimento que puede ser digerido y absorbido durante su paso por el tubo digestivo de las aves	4
2.1.1. Digestión	4
2.1.2. Digestibilidad y disponibilidad	4
2.1.3. Coeficientes para determinar la digestibilidad	5
2.1.3.1. Coeficiente de digestibilidad aparente	5
2.1.3.2. Coeficiente de digestibilidad verdadera	5
2.1.4. Ecuación para determinar la energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno	7
2.2 Técnica de alimentación precisa	7
2.3. Características botánicas del sorgo para grano	8

2.4. Composición química y valor nutritivo del grano de sorgo	10
2.4.1. Proteína y aminoácidos	10
2.4.2. Lípidos	14
2.4.3. Almidones	15
2.4.4. Fibra	16
2.5. Los taninos vegetales polifenoles	17
2.5.1. Clasificación química de los taninos vegetales	18
2.5.2. Análisis de taninos	25
2.5.3. Efecto de los taninos sobre la digestibilidad de los nutrimentos	26
3. HIPÓTESIS	30
4. OBJETIVO GENERAL	30
5. MATERIALES Y MÉTODOS	31
5.1. Localización	31
5.2. Experimentos 1 y 2	31
5.2.1. Mediciones específicas	42
5.2.3. Análisis estadístico	42
6. RESULTADOS	43
7. DISCUSIÓN	55
8. CONCLUSIONES	61
9. RECOMENDACIONES	62
10. BIBLIOGRAFÍA	63
11. APÉNDICE	69

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No.	Página
1. Esquema de actividades y muestreo Experimentos 1 y 2	35
2. Composición química de los sorgos utilizados en el Experimento 1	36
3. Composición química de los sorgos utilizados en el Experimento 2	37
4. Perfil de aminoácidos de los sorgos utilizados en el Experimento 2	38
5. Digestibilidad de la materia seca, verdadera de la proteína, verdadera de la energía, y energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno del Experimento 1	45
6. Digestibilidad de la materia seca, verdadera de la proteína, verdadera de la energía, y energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno del Experimento 2	48
7. Porcentaje de la digestibilidad verdadera de aminoácidos correspondientes al Experimento 2	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.	Página
1. Taninos hidrolizables	20
2. Taninos condensados	21
3. Biosíntesis de los taninos	22
4. Grano de sorgo	24

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el cultivo de sorgo, se considera como uno de los de mayor importancia, ocupando el quinto lugar después del arroz, trigo, maíz y cebada; es cultivado en muchos países del mundo donde se elaboran alimentos para consumo humano y animal. En nuestro país, a partir de los años 60, se dió inicio al cultivo del sorgo con gran importancia, y a partir de esta fecha se ha venido incrementando la superficie cosechada así como el rendimiento por hectárea. En México, el estado de Guanajuato, es uno de los estados con mayor producción de grano de sorgo, contribuyendo con el 33% de la producción nacional (INEGI, 1996).

En lo referente al cultivo de sorgo para grano, se pueden producir en general dos tipos de sorgo: los bajos en taninos, conocidos como "sorgos dulces" y los altos en taninos o "sorgos amargos", cuyas características los hace resistentes al ataque de las aves silvestres, enfermedades, plagas y a la germinación precosecha. Desde el punto de vista alimenticio, el sorgo amargo se asocia con un factor "antinutricional" que debe ser tomado en cuenta antes de ser utilizado. Los taninos constituyen ese factor antinutricional, encontrándose en concentraciones que van de 0.06% a 5.60% en el grano de sorgo (Douglas et al., 1991). Debido a esta variación, la calidad o valor nutritivo del grano de sorgo puede variar desde un 60% hasta un 95% del valor del maíz (Douglas et al., 1991).

En nuestro país el grano de sorgo es el principal cereal utilizado en la elaboración de alimentos balanceados para alimentación de las aves, es empleado como fuente de energía y proteína, y aproximadamente del 50 al 60% del total de la dieta es sorgo, representando entre el 30 y 38% del costo total con un aporte de energía, cercano al 75% del contenido total de energía de la dieta. Si embargo, también aporta proteína, la cual es considerada por el nutriólogo en la formulación de raciones; ya que cubre aproximadamente el 20% del requerimiento total de proteína para el pollo de engorda en la etapa de iniciación.

El valor nutritivo de un ingrediente está dado por su composición relativa de nutrimentos, su digestibilidad y disponibilidad por lo que es importante conocer estos factores para emplear un ingrediente de manera más eficiente y así mejorar el nivel de producción del pollo. En la actualidad existen cuadros con los coeficientes de digestibilidad de la proteína, energía y aminoácidos en las diferentes materias primas utilizables en la formulación de raciones. Sin embargo, para muchos ingredientes la digestibilidad es muy variable y esta determinada por muchos factores. Por ejemplo, se ha observado que la digestibilidad de la proteína y los aminoácidos así como de los hidratos de carbono contenidos en el grano de sorgo esta influenciada por el contenido de taninos y muy probablemente por su densidad, ya que existe una correlación entre esta y su fibra detergente neutro (FDN); a pesar de esto los cuadros disponibles no especifican el contenido en taninos y la digestibilidad del grano de sorgo en las diferentes variedades. Una gran cantidad de factores influyen en la

disponibilidad de los aminoácidos en los alimentos, siendo los más comunes las condiciones de procesamiento, la presencia de compuestos antinutrientales, la composición química y física de la proteína y el nivel de fibra. Por lo general, los efectos más perjudiciales se deben a tratamientos térmicos o de presión excesivas. Estos problemas surgen más a menudo con proteínas de harinas de origen animal, ya que normalmente requieren un procesamiento térmico.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. La digestibilidad como herramienta para evaluar la cantidad de un nutrimento que puede ser digerido y absorbido durante su paso por el tubo digestivo de las aves.

2.1.1. Digestión.

Consiste en una serie de procesos físicos, químicos, enzimáticos y mecánicos ordenados, por medio de los cuales las macromoléculas de cada uno de los nutrimentos contenidos en el alimento consumido por las aves son desdoblados hasta su forma monomérica, y de esta manera puedan ser absorbidos, pasando posteriormente a torrente sanguíneo para ser metabolizados o de lo contrario excretados a través de la orina (Low, 1982).

2.1.2. Digestibilidad y disponibilidad.

Digestibilidad es un término relacionado con la disponibilidad y algunas veces se utilizan como sinónimos. Usualmente, la digestibilidad se define como la diferencia entre la cantidad de nutrimentos consumida y la excretada en las heces dividida por la cantidad consumida. En el caso de las aves, se recolecta el total de la excreta (heces+orina); por lo que existen aminoácidos en la orina, pues se incluyen los aminoácidos de la orina en el cálculo. Los experimentos de digestibilidad sólo miden la digestión y absorción de aminoácidos y no su utilización, por consiguiente, digestibilidad no es sinónimo de disponibilidad (Low, 1982, Fan y Sauer, 1994, Furuya y kaji, 1991 y Sibbald, 1979a).

Los distintos métodos utilizados para determinar la disponibilidad de los nutrimentos podrían clasificarse en dos categorías amplias; *in vivo* e *in vitro*. Disponibilidad es un término que incluye los procesos de digestión, absorción y metabolismo o utilización y a menudo se define como la cantidad de nutrimentos absorbida de manera adecuada para su utilización.

2.1.3. Coeficientes para determinar la digestibilidad.

Según Low, (1982), los coeficientes más usuales para medir la digestibilidad de uno o más nutrimentos contenidos en un alimento son los siguientes.

2.1.3.1. Coeficiente de digestibilidad aparente.

El coeficiente de digestibilidad aparente expresado en porcentaje, como su nombre lo indica consiste en una determinación aparente y se determina como la diferencia entre la cantidad (g) de un nutrimento consumido y la excretada en las heces y orina dividida entre la cantidad (g) consumida. Para lo cual se aplica la siguiente fórmula:

$$CDA = \frac{Ni - Ne}{Ni} \times 100$$

Donde:

CDA = Coeficiente de digestibilidad aparente.

Ni = Cantidad en gramos del nutrimento ingerido.

Ne = Cantidad en gramos del nutrimento excretado en heces y orina.

2.1.3.2. Coeficiente de digestibilidad verdadera.

La digestibilidad verdadera se corrige debido a las pérdidas de aminoácidos

endógenos, esta corrección se determina al suministrar una dieta libre de nitrógeno o diversos niveles de algún alimento control y extrapolar a una ingestión de cero aminoácidos por análisis de regresión. Es sabido que la baja disponibilidad de los aminoácidos en los alimentos que contienen niveles altos de factores antinutrimientales, como los taninos, se debe en gran medida a que éstos provocan pérdidas mayores de aminoácidos endógenos. Por consiguiente, utilizar una dieta libre de nitrógeno, o gallos en ayuno para medir las pérdidas endógenas, son técnicas que proporcionan un cálculo adecuado de la excreción de aminoácidos endógenos basales. Las principales pérdidas de origen endógeno son mucoproteínas, enzimas intestinales, salivales y pancreáticas, así como las secreciones biliares y gástricas, y las células de la descamación intestinal. Por lo que el coeficiente de digestibilidad verdadera se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$CDV = \frac{Ni - (Neh - Nec)}{Ni} \times 100$$

Donde:

CDV = Coeficiente de digestibilidad verdadera.

Ni = Cantidad en gramos del nutrimento ingerido.

Neh = Cantidad en gramos del nutrimento excretado en las heces de las aves alimentadas.

Nec = Cantidad en gramos del nutrimento de origen endógeno excretado por las aves controles (ayunadas) Sibbald, (1979b).

2.1.4. Ecuación para determinar la energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno.

Los valores de energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno (EMVn) se han determinado utilizando la ecuación propuesta por (Parsons et al., 1982):

$$EMVn = \frac{FEf - [EEf + 8.22 Nf] + [EEu + 8.22 Nu]}{FC}$$

Donde:

EMVn = Energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno.

FEf = Energía bruta del alimento consumido.

EEf = Energía bruta de las heces en los gallos alimentados.

Nf = Gramos de nitrógeno retenido por los gallos alimentados.

EEu = Energía bruta de las heces en los gallos ayunados (endógenos).

Nu = Gramos de nitrógeno retenido por los gallos ayunados (endógenos).

FC = Gramos de alimento consumido.

La energía metabolizable es corregida por nitrógeno, asumiendo que el nitrógeno excretado aporta energía a través de la orina en las heces, en una cantidad de 8.22 Kcal/g de nitrógeno retenido.

2.2. Técnica de alimentación precisa.

Los animales son alojados en jaulas individuales de tela de alambre del tipo de batería. El agua se proporciona por un sistema de chupón y el alimento se distribuye en los comederos a lo largo de cada bloque de jaulas.

Para el ayuno de las aves basta con eliminar el comedero. Hay que tener cuidado de eliminar también el alimento adherido al bebedero y a la jaula.

Sibbald, (1979b) describió una prueba de recolección de excretas muy rápida y sencilla: poner en ayuno durante 24 horas a gallos jóvenes; transcurrido ese lapso, suministrarles de 25 a 40 gramos de alimento mediante intubación hasta el buche, y 48 horas después hacer una recolección cuantitativa de la excreta de los gallos alimentados y los ayunados durante el experimento para medir la excreción de aminoácidos endógenos. Esta prueba recibe el nombre de "prueba de alimentación precisa en gallos".

El propósito de la alimentación precisa es asegurar que una cantidad conocida de un alimento entre al tubo digestivo del ave en un tiempo conocido. El procedimiento evita la necesidad de recobrar desperdicios de alimentos, selección del alimento y elimina variaciones en el consumo entre las aves, todo lo cual pasaría en aves alimentadas a voluntad.

La cantidad de alimento que se debe dar a los animales es de 30 a 40 g, ya que una cantidad mayor provoca la regurgitación de los animales. Además, una mayor cantidad de alimento especialmente con dietas voluminosas puede provocar impactación del proventrículo.

2.3. Características botánicas del sorgo para grano.

Es una especie vegetal con hábito de crecimiento anual, su ciclo vegetativo tiene

un rango muy amplio según las variedades y las regiones; en general, las variedades de mayor rendimiento son de 120 a 140 días. Es una planta sexual, monoica, hermafrodita, incompleta y perfecta (House, 1982 y Cantú, 1989). Su raíz es adventicia, fibrosa y desarrolla numerosas laterales. Su tallo es cilíndrico, erecto, sólido y alcanza una altura de 60 a 80 cm (House, 1982). Su fruto es un grano de la familia de los cereales, el cual tiene una forma esférica siendo más pequeño que el del maíz, lo cual facilita su proceso de molienda; su color puede ser blanco, rojo, amarillo o café. Las estructuras del grano de su parte externa hacia la interna son: pericarpio, testa, endospermo y germen. Este grano tiene una forma esférica y aplanada con una longitud de 4 mm, un diámetro de 3.5 mm, un espesor aproximado de 2.5 mm, y un peso entre 8 y 50 mg (Cantu, 1989 y House, 1982).

Dentro del endospermo, se localiza una capa de aleurona y porciones de endospermo córneo y harinoso. La primera la encontramos debajo del pericarpio y está formada por células densas ricas en aceite y proteína. La porción del endospermo córneo está seguida por la capa de aleurona y contiene células con almidón, mezcladas con una matriz protéica. La región del endospermo harinoso se localiza en la parte central del grano y se encuentra rodeado por el endospermo anterior. La matriz protéica en el grano de sorgo se encuentra localizada en la región del endospermo y está formada por albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas (Guiragossian et al., 1978; Rooney y Pflugfelder, 1986).

2.4. Composición química y valor nutritivo del grano de sorgo.

2.4.1. Proteína y aminoácidos.

En nuestro país 60% del área destinada al cultivo del sorgo se realiza principalmente bajo condiciones de temporal, y el 40% restante en condiciones de riego. En un estudio realizado por (Luis, et al., 1982) en donde evaluaron diferentes variedades de sorgo, encontraron un contenido de proteína cruda de 9.88 a 13.47%; como se puede observar, estos valores están por encima de los del maíz (9.31%). Por otro lado en un estudio realizado con 155 muestras de sorgo, se observó un rango de proteína cruda de 5.87 a 12.20% (Anaya, 1998).

Gualtieri, (1990) menciona que la composición química del sorgo es variable, siendo más variables los híbridos comerciales, lo cual depende del cultivo, y sobre todo, de las condiciones climáticas y del tipo de suelo.

Douglas et al., (1990) evaluaron cuatro variedades de grano de sorgo y una de maíz amarillo durante cuatro años, encontrando una variación en su contenido de proteína cruda de 7.9 a 12.1 % para las variedades de sorgo, y de 9.3 a 10.4% para el maíz amarillo, respectivamente. Es importante destacar que el aumento en el contenido de proteína en el grano de sorgo no significa un aumento en la calidad de ésta. En cuanto al contenido de aminoácidos (Luis et al., 1982) encontraron que el sorgo comparado con el maíz fue superior en los siguientes aminoácidos: isoleucina, leucina, fenilalanina, tirosina, valina, triptófano, alanina y ácido glutámico; el sorgo fue inferior en: arginina, lisina,

histidina, ácido aspártico y prolina, expresados como porcentaje de proteína cruda. El sorgo y maíz fueron similares en: metionina, treonina y glicina.

Por su parte (Douglas et al., 1990) en la proteína del grano de sorgo encontraron niveles mayores de: alanina, ácido aspártico, ácido glutámico, leucina, isoleucina, fenilalanina, tirosina y valina que en la proteína cruda del maíz amarillo. La proteína del sorgo tuvo niveles menores de: arginina, histidina y glicina en comparación con la del maíz amarillo. La proteína del grano de sorgo como del maíz amarillo mostraron niveles similares de: serina, lisina, metionina, cistina y treonina. En lo que respecta al contenido de aminoácidos, para cada variedad, y en cada uno de los cuatro años de cultivo, observaron que, metionina, cistina, lisina, treonina y arginina disminuyeron como porcentaje de la proteína cruda, cuando el porcentaje de la proteína cruda decreció. Por otro lado, el ácido glutámico, ácido aspártico, leucina, isoleucina y valina se incrementaron cuando se incrementó la proteína cruda.

Las proteínas del sorgo, están constituidas por albúminas, globulinas y principalmente por prolaminas (kafirinas) y glutelinas (Guiragossian et al., 1978), siendo las dos primeras las de mejor calidad, ya que poseen un mejor perfil de aminoácidos esenciales y son altamente digestibles. Las prolaminas del sorgo reciben el nombre de kafirinas y se parecen a las prolaminas del maíz o zeinas, en su bajo contenido de aminoácidos esenciales tales como lisina, metionina, histidina y arginina, así como en sus elevados porcentajes de ácido glutámico. Las glutelinas se caracterizan por contener una alta proporción de enlaces

cruzados disulfuro. Las mutaciones recientes han favorecido un incremento en los niveles de albúminas y globulinas, reduciendo los niveles de kafirinas.

Neucere et al., (1980) evaluaron dos variedades de sorgo, uno bajo en taninos (0.48 mg/100mg de materia seca) y uno alto en taninos (2.8 mg/100mg de materia seca) y reportaron que del 17.1% de su proteína fraccionada, el 16.0, 29.6, 76.3 y 30.6% correspondió a albúmina, globulina, prolamina y glutelina, respectivamente, en la variedad de sorgo baja en taninos; y en la variedad alta en taninos de la proteína fraccionada del 11.5% se reporto un contenido de 5.6, 3.0, 86.3 y 36.3%, para albúmina, globulina, prolamina y glutelina, respectivamente. Taylor et al., (1984) demostraron que al fraccionar las proteínas corporales del grano de sorgo, las más abundantes fueron las prolaminas seguidas por las glutelinas, albúminas y globulinas, observando que en los sorgos con menor contenido de proteína, las glutelinas se incrementaban y las prolaminas disminuían.

Neucere et al., (1979) encontraron que al fraccionar la proteína de la matriz protéica del sorgo, las prolaminas y glutelinas mostraron las concentraciones más altas, tanto en las variedades altas y bajas en taninos, sin embargo, el contenido de prolaminas en las variedades altas en taninos fue menor que en las bajas en taninos.

Por otro lado (Guiragossian et al., 1978) determinaron que la relación prolaminas (kafirinas) y glutelinas fue mayor para los sorgos bajos en taninos que en los altos en taninos.

Las proteínas en la matriz del grano de sorgo son el sitio de almacenamiento de las prolaminas o kafirinas, y son las más abundantes entre las proteínas del sorgo. Las kafirinas han sido clasificadas en α (PM 23000 y 25000), β (PM 16000, 18000 y 20000), y γ (PM 28000), tomando como base su solubilidad, peso molecular, y estructura (Shull et al., 1991).

Oria et al., (1995) demostraron que las α -kafirinas se localizan predominantemente en el interior de la matriz protéica mientras que las β y γ -kafirinas se localizan tanto en el interior como en la superficie de la matriz protéica, siendo las α -kafirinas las más abundantes de la kafirinas. La menor digestibilidad de las α -kafirinas puede ser debida a su localización ya que están menos expuestas a la acción enzimática, mientras que las β y γ -kafirinas se pueden encontrar más expuestas a la digestión enzimática. Además las β y γ -kafirinas, y algunas otras proteínas localizadas en la superficie del cuerpo protéico, tienen la propiedad de poder formar puentes disulfuro, siendo resistentes estos últimos a la degradación enzimática; dichos puentes se pueden formar durante el tratamiento por calor del grano.

Sosa, (1984) encontró una buena correlación $r=0.84$ ($P<0.01$), entre el contenido de taninos del sorgo y el contenido de proteína insoluble, ya que al aumentar el

contenido de taninos, el contenido de proteína insoluble se incrementaba, esto es debido a que los taninos tienen una gran afinidad por combinarse con las proteínas, especialmente con las prolaminas, formando un complejo tanino-proteína mediante numerosos enlaces de hidrógeno, covalentes e iónicos. Este complejo no es hidrolizado por la acción de las enzimas digestivas, lo que se traduce en una menor disponibilidad de la proteína y aminoácidos.

2.4.2. Lípidos.

Douglas et al., (1990) encontraron que el contenido de lípidos del maíz amarillo es consistentemente mayor (4.2-4.6%) al encontrado en cuatro variedades de grano de sorgo el cual fue del 1 al 2%.

Luis et al., (1982) determinaron en el sorgo niveles de taninos 0.18 a 1.47% y niveles de aceite de 2.1 a 4.3%.

Osagie, (1987) en un estudio donde analizó el contenido de lípidos y su perfil en dos variedades comerciales de sorgo para grano, encontró un contenido de lípidos de 3.68 y 5.28% para las dos variedades. En cuanto al perfil de ácidos grasos el más abundante fue el ácido linoleico (18:2), seguido por el ácido oleico (18:1) y el ácido palmítico (16:0). Los principales glicolípidos fueron: glicósidos, cerebrósidos, digalactosildiacilglicerol y esteroglicósidos. Se reportaron pequeñas cantidades de lisofosfatidiletanolamina, fosfatidilinositol, fosfatidilserina, fosfatidilglicerol y ácido fosfatídico.

Neucere et al., (1980) determinaron en cinco variedades de sorgo el contenido de lípidos donde encontraron un rango de 2.66 a 3.49%; y los ácidos grasos saturados más abundantes fueron: ácido palmítico (16:0) seguido por el ácido esteárico (18:0); dentro de los insaturados el más abundante fue el ácido linoleico (18:2) seguido por el ácido oleico (18:1).

Douglas et al., (1990) encontraron que la relación de energía metabolizable corregida por nitrógeno y energía bruta en variedades de sorgo fue menor que en el maíz amarillo. Los rangos de energía metabolizable corregida por nitrógeno para las variedades bajas en taninos fueron de 3553 a 3815 kcal/kg y para las variedades altas en taninos fueron de 3185 a 3257 kcal/kg.

Ragland et al., (1997) encontraron en el maíz niveles de energía metabolizable aparente y energía metabolizable verdadera, ambas corregidas por nitrógeno de 3.151 y 3.459 y en el sorgo de 3.260 y 3.567 kcal/g.

Luis et al., (1982) determinaron en sorgo con niveles de taninos de 0.18 y 1.47% concentraciones de energía metabolizable verdadera de 3,688 y 4,204 kcal/kg.

2.4.3. Almidones.

El almidón en el grano de sorgo está compuesto de tres tipos de estructura constituidas por unidades de glucosa: amilosa, amilopectina y la amilosa ramificada. La amilosa es un polímero lineal de unidades de D-glucosa ligadas por enlaces α 1-4. Normalmente los carbohidratos de los cereales tienen entre el

20 y 30% de amilosa, la amilopectina está compuesta de cadenas lineales de D-glucosa unidas por enlaces α 1-4, con puntos de ramificación α 1-6 cada 20 o 25 unidades de glucosa. Tienen regiones cristalinas y amorfas alternas, que contribuyen a que esta molécula tenga una digestibilidad ligeramente superior a la de la amilosa. El contenido de amilopectina representa de 70 a 80% del almidón en la mayoría de las variedades de sorgo. Los gránulos de almidón son cristales que tienen áreas organizadas (cristalinas) y áreas relativamente desorganizadas (amorfas). La región cristalina está compuesta principalmente por amilopectina y es más resistente a la penetración del agua y al ataque enzimático. La región amorfa es rica en amilosa y es menos densa que el área cristalina. Los gránulos de almidón se gelatinizan, o sufren una pérdida irreversible de su estructura original, cuando se aplica suficiente energía para romper los enlaces de hidrógeno intermoleculares que se encuentran en el área cristalina. Algunos de los factores que afectan el grado de digestión del almidón del grano por los animales son: la especie de la planta, variedad, grado de interacción entre el almidón y la proteína, forma física del gránulo, tipo de almidón, la presencia de taninos y método de procesamiento del grano (Hale, 1973; Rooney y Pflugfelder, 1986).

2.4.4. Fibra.

Douglas et al., (1990) encontraron que el contenido de FDA de los sorgos fue mayor (3.1 a 8.2 %) que en el maíz amarillo (3.1 a 4.0%) y un rango más amplio de FDN en los sorgos (9.3 a 16.9%) que en el maíz amarillo (11.4 a 12.9%), los autores encontraron que conforme aumenta el contenido de taninos en el grano

de sorgo se incrementa el contenido de paredes celulares. Sosa, (1984) realizó una serie de análisis a muestras de sorgo, encontrando que el contenido de paredes celulares aumenta conforme aumenta el contenido de taninos en el sorgo; contrariamente, el contenido celular disminuye. Se analizó el contenido de almidón y de carbohidratos solubles y se encontró que ambas fracciones disminuyen al aumentar el contenido de taninos, así como su valor de energía metabolizable. Reed, (1987) también encontró que los niveles de FDA y FDN fueron mayores en las variedades de sorgo resistentes a pájaros que en las no resistentes a pájaros. Así mismo (Anaya, 1998) encontró niveles de FDN de 7.55 a 22.72%, en 155 muestras de sorgo, observando que estas se correlacionaron positivamente con el nivel de taninos del sorgo.

2.5. Los taninos vegetales polifenoles.

Algunos autores prefieren denominar a los taninos como aquellas sustancias contenidas en los vegetales que convierten los cueros de los animales en pieles en el proceso de curtido. Harborne, (1994) define a los taninos como un compuesto fenólico con un peso molecular lo suficientemente alto, y con una cantidad adecuada de grupos hidroxifenólicos y otros grupos sustituibles (como grupos carboxilos) para formar complejos resistentes con proteínas y otras macromoléculas, bajo condiciones ambientales adecuadas donde son evaluados. Por su parte Haslam, (1989) define a los taninos como polímeros fenólicos hidrosolubles que precipitan proteínas. La palabra fenol es referida a todos aquellos compuestos que poseen uno o más radicales hidroxilo, sustituyentes unidos a un anillo aromático.

En las últimas décadas la química y la bioquímica de los polifenoles de las plantas (término más utilizado en la nomenclatura de los taninos vegetales) ha sido ampliamente estudiada. Los taninos se pueden encontrar en la parte del tallo, hojas, fruto y raíz. Así como también los encontramos en las semillas donde la producción de taninos es incrementada. En algunas plantas se han encontrado cantidades de taninos muy altas, entre el 60 y 70% en base seca. Desde el punto de vista biológico, los taninos en las plantas son importantes ya que son efectivos como repelentes de predadores. En este caso, tienen la propiedad de causar astringencia, reduciendo la gustocidad de los alimentos por la precipitación de proteínas, o por inhibición de enzimas (Harborne, 1994).

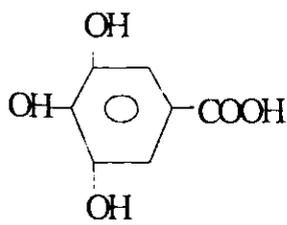
Durante el paso del tiempo, un gran número de efectos adversos han sido atribuidos a los taninos. Se les a puesto especial atención a los efectos nocivos de los taninos en la alimentación animal, particularmente en los animales de granja de estómago simple, tales como las aves y los cerdos. El efecto de los taninos en los rumiantes también ha sido estudiado (Makkar et al., 1997).

2.5.1. Clasificación química de los taninos vegetales.

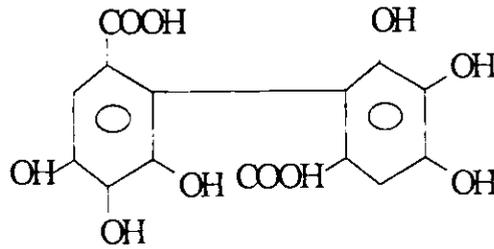
Los taninos no han sido muy bien definidos químicamente, usualmente han sido clasificado en dos grandes grupos, los taninos hidrolizables y los condensados. Los taninos hidrolizables como el ácido tánico, se caracterizan por tener una molécula de hexosa, entre las más comunes la D-glucosa en la parte central de su estructura; cuando los grupos hidroxilo son esterificados con los ácidos fenólico y carboxílico dan origen al ácido gálico (galotanino), ácido elágico

(elagitanino) y ácido hexahidroxidifenil. El β -penta-o-galoil-D-glucosa es un tipo de galotanino, más bien conocido como ácido tánico y contiene de 8-10 moléculas de ácido gálico por molécula de D-glucosa (Figura 1). Este tipo de taninos son fácilmente hidrolizables por ácidos, álcalis o enzimas hidrolíticas como las tanasas, dando origen a glucosa, polihidroxi-alcoholes, ácido gálico y ácidos fenólicos relativos. Este tipo de taninos son más comúnmente encontrados en las dicotiledonias, principalmente en las leguminosas como la acacia.

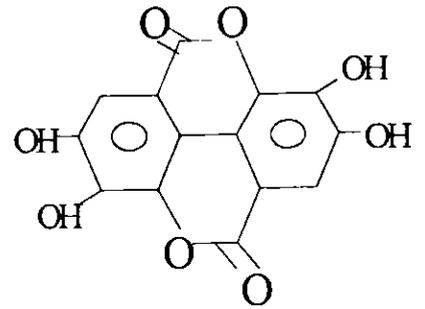
Los taninos condensados son polímeros de flavan-3-ol (catequina) y flavan-3,4-diol o una mezcla de estos. Por lo que han sido clasificados en leucoantocianidinas y proantocianidinas. Las leucoantocianidinas son polímeros resultantes de la condensación de flavan-3,4-diol y las proantocianidinas de flavan-3-ol unidos por un enlace de carbono a carbono interflavan; estos últimos son los únicos encontrados en el grano de sorgo (Figura 2). Los precursores de las proantocianidinas son las procianidinas y prodelfinidinas, ya que la cianidina, delfinidina y flavan-3-ol son los productos de la hidrólisis cuando las proantocianidinas son tratadas con ácidos fuertes y ácidos minerales. La síntesis de los taninos en los vegetales se lleva a cabo por dos rutas, vía el ácido shikimico; la primera pasa por el ácido gálico, precursor de los taninos hidrolizables, y la segunda pasando por la desaminación de la fenilalanina a ácido P Coumárico para dar finalmente origen a los taninos condensados y otros fenilpropanoides como la lignina (Figura 3). Durante la formación inicial de la



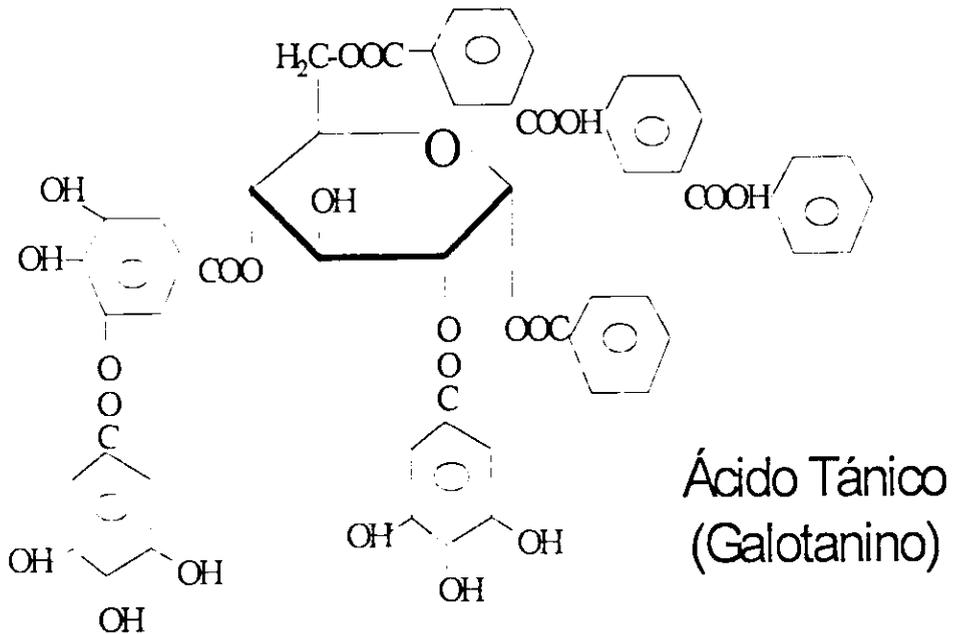
Ácido Gálico



Ácido Hexahidroxidifenil

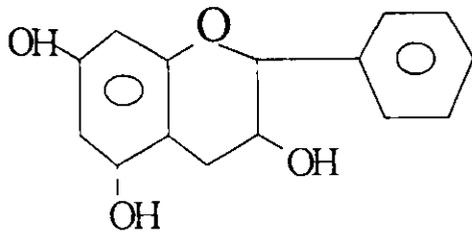


Ácido Elágico

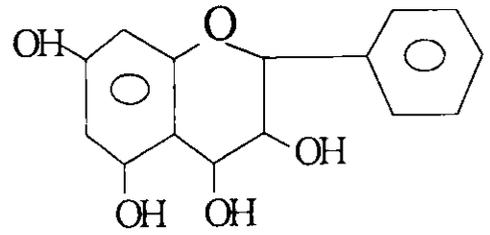


Ácido Tánico
(Galotanino)

Figura 1. Taninos Hidrolizables



Flavan-3-ol (Catequinas)



Flavan-3,4-diol
(Leucoantocianidinas)

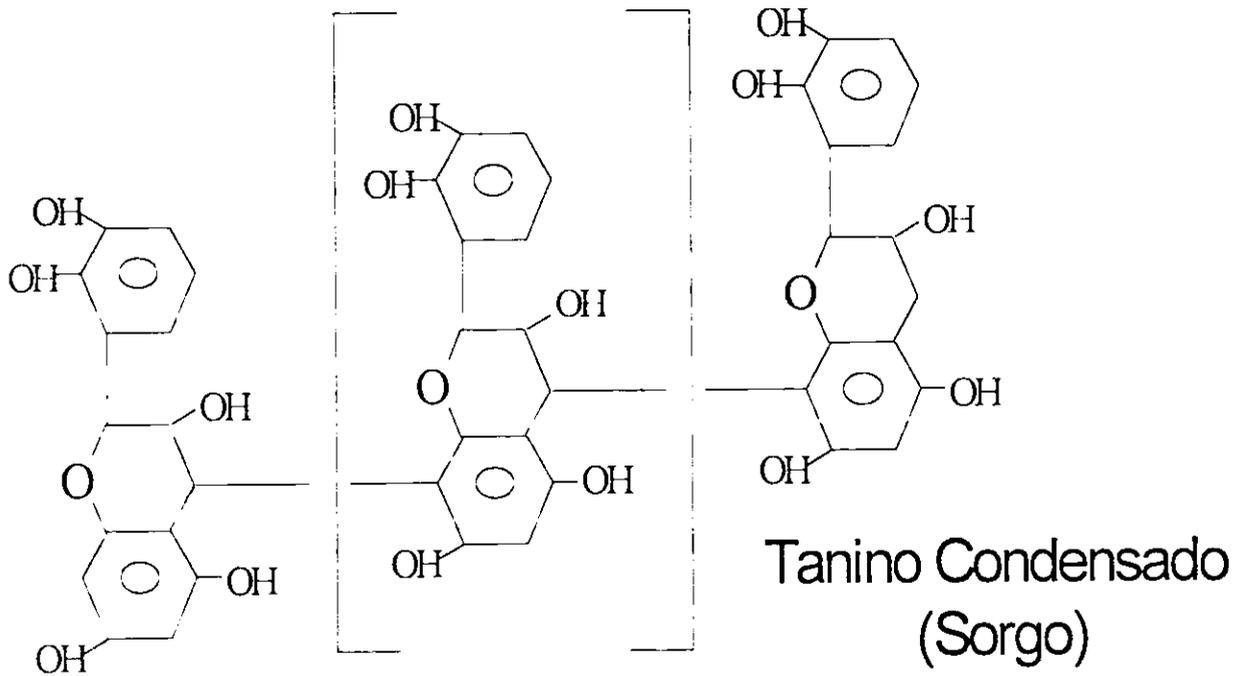


Figura 2. Taninos Condensados

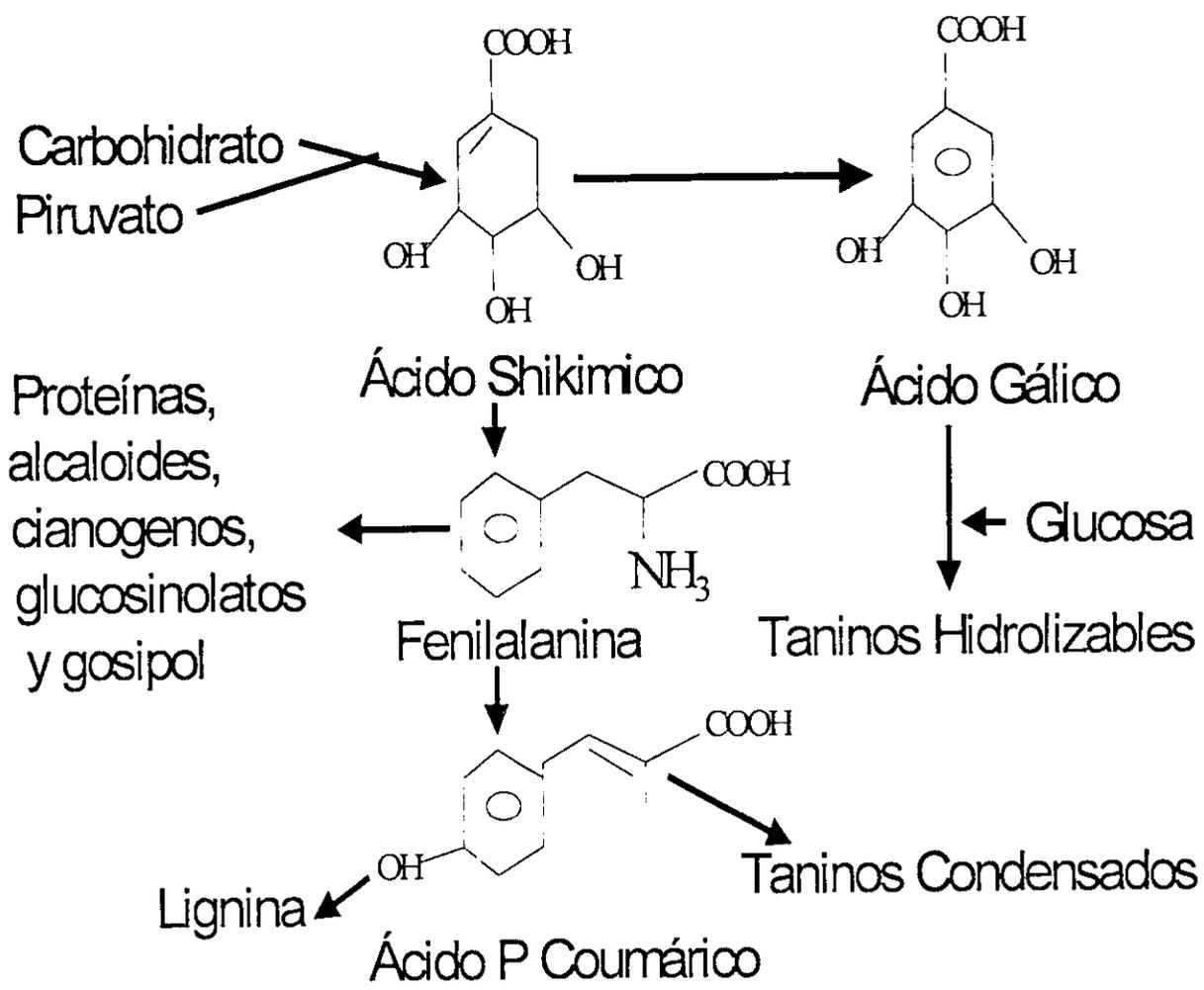


Figura 3. Biosíntesis de los taninos

semilla de sorgo no se detectan proantocianidinas, los monómeros flavonoides son sintetizados en la semilla. Cuando la semilla de sorgo va madurando, las unidades monoméricas se van condensando, hasta formar proantocianidinas oligoméricas, de tal forma que primero se forman los dímeros seguidos por los trimeros, tetrámeros y oligómeros mayores. Las proantocianidinas son los únicos compuestos fenólicos extraíbles de la semilla de sorgo, encontrándose principalmente en el pericarpio y la testa del grano (Figura 4), (Harborne, 1994; Haslam, 1989; Jansman, 1993 y Reed, 1995). La formación de complejos con proteínas depende de las características tanto del tanino como de la proteína (peso molecular, estructura terciaria, punto isoeléctrico, y compatibilidad con los sitios de enlace). Los taninos tienen un gran número de grupos hidroxilo-fenólicos libres para formar enlaces de hidrógeno con las proteínas y carbohidratos. Los taninos también pueden formar enlaces covalentes con proteínas en reacciones de polimerización oxidativa como resultado de una exposición al calor, radiación ultravioleta, y la acción de la oxidasa polifenólica. Se ha determinado que los sorgos altos en taninos tienen suficientes taninos como para precipitar más proteína de la que contiene el grano (Haslam, 1989). Los taninos también pueden formar complejos con proteínas a través de su región hidrófoba (OH et al., 1980).

El sorgo tiene propiedades astringentes causando la unión y precipitación de proteínas, ya que se ha demostrado que sus taninos tienen gran afinidad por las prolaminas salivales, dado que estas son ricas en prolina (Mole et al., 1990).

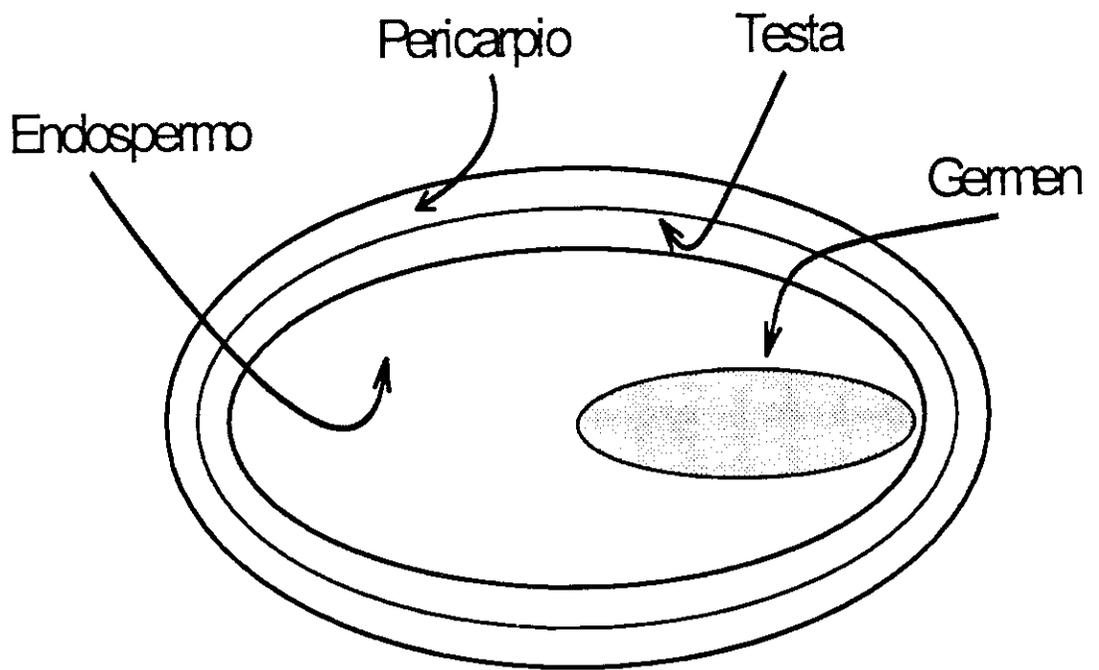


Figura 4. Grano de sorgo

2.5.2. Análisis de taninos.

Numerosos ensayos han sido desarrollados para determinar el contenido de taninos en las plantas: métodos colorimétricos, precipitación de proteínas, azul de prusia, Folín-Denis, Folín.Ciocalteu y butanol HCl (Reed, 1995 y Jansman, 1993).

El método de la vainillina HCl es el más ampliamente utilizado para la determinación cuantitativa de los taninos condensados en frutas, sorgo y leguminosas forrajeras (Price et al., 1978). Este análisis es específico para determinar flavan-3-ol, dihidrochalconas y proantocianidinas. El principio del análisis esta basado sobre la sustitución de vainillina por grupos hidroxifenólicos, dando origen a una condensación de color rojo, cuyo producto es medido espectrofotométricamente a 450-550 nm. La catequina (monómero de flavan-3-ol) es a menudo usada como un estándar en el análisis(Price et al., 1978; y Jansman, 1993).

Técnica de Folín Denis. Esta técnica es la más ampliamente utilizada para determinar el contenido de fenoles totales en los productos de las plantas y forrajes. Este análisis no es muy específico ya que reacciona con varios compuestos como las xantinas, proteínas y algunos aminoácidos. El ácido tánico es el comúnmente usado como estándar (Jansman, 1993 y Reed, 1995).

Técnica del azul de prusia. Está basada sobre la reducción del ión férrico a ión ferroso por los taninos y otros compuestos fenólicos para formar ferrocianida

férrica, la cual es conocida como azul de Prusia. La absorción de este complejo puede ser leída a 720 nm (Price y Butler, 1977).

Técnica del butanol HCl. Es un análisis de grupo funcional, el cual es específico para proantocianidinas (taninos condensados). En este análisis las subunidades flavonoides de los taninos condensados son oxidadas a antocianidinas, las cuales son medidas espectrofotométricamente. El método mide la cantidad total de subunidades en la fracción de taninos condensados (Jansman, 1993). Butler et al., (1982) describieron un método para estimar el grado de polimerización de los taninos condensados del sorgo, usando el análisis de la vainillina modificada para determinar los grupos de flavan-3-ol en combinación con el ácido butanol, los cuales determinan el número total de subunidades en la molécula de taninos.

Método de precipitación de proteínas. Este método puede ser usado para determinar tanto el contenido de taninos de una muestra o la actividad biológica de los taninos (Hagerman y Butler, 1978). Para la determinación vía precipitación de proteína, la cantidad de taninos precipitados por una proteína estándar debe ser establecida. Diferentes proteínas, tales como la gelatina, caseína, albúmina de suero bovino, hemoglobina y diferentes enzimas han sido usadas para este propósito. Cada análisis de precipitación de proteínas tiene diferente respuesta con taninos de diferente fuente (Hagerman y Butler, 1978).

2.5.3. Efecto de los taninos sobre la digestibilidad de los nutrimentos.

Los factores antinutrimientales en los alimentos reducen la disponibilidad no solo de los aminoácidos al interferir con los procesos de absorción y digestión; entre

los más comunes se encuentran los inhibidores de tripsina y los taninos. Con frecuencia, la disponibilidad reducida debida a factores antinutrimientales es el resultado de pérdidas mayores de aminoácidos endógenos (Rostagno et al., 1973).

Los complejos proteína-taninos son formados inicialmente en el grano de sorgo o en el tubo digestivo de los animales (Butler et al., 1984) por lo que reducen la digestibilidad de los componentes dietarios, principalmente de la proteína (Noland et al., 1976), así como de la energía, almidones y algunos aminoácidos (Cousins et al., 1981) en dietas de cerdos.

En ensayos *in vitro* con taninos, se ha determinado una fuerte capacidad de inhibición por taninos de la actividad de diferentes enzimas (Butler et al., 1984), particularmente de enzimas pancreáticas en el lumen intestinal de lechones y pollos (Ahmed et al., 1991).

Douglas et al., (1993) demostraron respuestas dependientes de la edad, ante los taninos del sorgo en pavas. Para lo cual se realizaron tres experimentos para determinar el efecto de la proteína y de los niveles de taninos del sorgo, sobre la ganancia de peso, la conversión alimenticia y el peso del páncreas, en pavas de un día a 12 semanas de edad. En ambos experimentos se utilizaron dos niveles de proteína (100 y 85% de lo recomendado por el NRC, (1984) y cinco niveles de taninos: (0, 0.49, 0.98, 1.47 y 1.96, expresados como equivalentes de catequinas). Las pavas recibieron los tratamientos dietéticos de 1 a 4 semanas, de 4 a 8 semanas y de 8 a 12 semanas, en los experimentos 1, 2 y 3

respectivamente. No se observaron interacciones significativas ($P > 0.05$) entre los niveles de proteína y taninos, sobre la ganancia de peso, la conversión alimenticia ni el peso del páncreas, en ninguno de los experimentos. En todos los experimentos, la administración de niveles subóptimos de proteína, disminuyó significativamente ($P < 0.05$) la ganancia de peso y la conversión alimenticia de las pavas, en comparación con la dieta que tenía un nivel adecuado de proteína. El incremento del nivel de taninos de sorgo deprimió en forma lineal la ganancia de peso y la conversión alimenticia en los experimentos 1 y 2. Sin embargo, dicho nivel no afectó a ninguno de estos dos parámetros en las pavas de mayor edad, (8 a 12 semanas). Por lo encontrado en el experimento 3, es posible presumir que el mayor desarrollo del tubo digestivo y del páncreas en los animales de 8 semanas de edad en adelante, evitó los efectos antinutrimientales de los taninos.

El mismo efecto negativo de los taninos sobre la digestibilidad de la energía ha sido reportado por Luis et al., (1982), Jansman, (1993) y Nelson et al., (1975).

Por su parte Mitaru et al., (1983) han cuantificado el efecto negativo de los taninos sobre la digestibilidad de la proteína de un (6 a 16%) y de la energía metabolizable de (0.1 a 0.3 kcal/g).

Mitaru et al., (1985) demostraron que en los sorgos altos en taninos la digestibilidad de la proteína varió de 45.5 a 66.7% y en los sorgos bajos en taninos observaron valores de 89.9%. En La digestibilidad de los aminoácidos,

encontraron un rango de 43.1 a 73.7% y de 84.8 a 93.0% en los sorgos altos y bajos, respectivamente.

Elkin et al., (1996) observaron que el nivel de taninos no necesariamente es indicativo de la calidad nutricional del sorgo. Estos investigadores evaluaron la energía metabolizable y la disponibilidad de aminoácidos en 20 muestras de sorgo, las cuales tuvieron equivalentes de catequina (una forma de estimar los taninos) entre 0.0 y 3.885%. Aunque hubo un efecto negativo en los niveles altos de taninos sobre estos parámetros, la correlación fue muy débil. Hubo varios casos en que muestras con niveles bajos o intermedios de taninos tuvieron digestibilidades parecidas a las muestras con niveles altos. Estos investigadores creen que puede haber otros factores antinutrimientales que hasta la fecha no han sido identificados, así como la concentración de FDN en el grano de sorgo.

De los resultados de Talmadge et al., (1975) es posible sacar conclusiones más claras. Estos autores estudiaron el efecto del contenido de taninos en doce variedades de grano de sorgos híbridos con niveles altos y bajos en taninos, sobre la digestibilidad de la materia seca, la utilización de la energía y la disponibilidad promedio de aminoácidos, en pollos. Encontrando en sus resultados que la disponibilidad de aminoácidos fue afectada más por el contenido de taninos que la utilización de la energía.

3. HIPÓTESIS

La concentración de taninos en el grano de sorgo afecta la digestibilidad de la materia seca, y la digestibilidad verdadera de la proteína, energía, aminoácidos y de la energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno en gallos.

4. OBJETIVO GENERAL

Cuantificar el efecto de la concentración de taninos en el grano de sorgo sobre la digestibilidad de la materia seca y digestibilidad verdadera de la proteína, energía, aminoácidos y de la energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno en gallos.

3. HIPÓTESIS

La concentración de taninos en el grano de sorgo afecta la digestibilidad de la materia seca, y la digestibilidad verdadera de la proteína, energía, aminoácidos y de la energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno en gallos.

4. OBJETIVO GENERAL

Cuantificar el efecto de la concentración de taninos en el grano de sorgo sobre la digestibilidad de la materia seca y digestibilidad verdadera de la proteína, energía, aminoácidos y de la energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno en gallos.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización.

Se realizaron dos experimentos de digestibilidad en las instalaciones del Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el Municipio de Colón, Querétaro, situado a 1990 msnm, con clima BS1K'(w), semiseco templado, con lluvias en verano y una precipitación pluvial promedio anual de 460 a 630 mm, con una temperatura promedio anual de 15°C (Soria et al., 1987).

5.2. Experimentos 1 y 2.

Los objetivos de los dos experimentos fueron evaluar la respuesta de gallos alimentados con variedades de grano de sorgo conteniendo diferentes concentraciones de taninos sobre la digestibilidad de la materia seca y digestibilidad verdadera de la proteína, energía, aminoácidos y energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno.

Previo a los experimentos los animales se vacunaron contra las enfermedades de newcastle y viruela, la primera vacuna se les aplicó vía ocular, y la segunda, en el ala; y se entrenaron alimentándolos con un embudo de acero durante un mes previo al inicio del experimento.

Cada experimento tuvo una duración de 10 semanas, alternando una semana de colección (período) y otra de descanso para un total de 5 periodos. Se utilizaron 60 gallos Leghorn de 6 meses de edad en los dos experimentos, los cuales fueron distribuidos de acuerdo a un diseño experimental en cuadro latino 5X5 (25 gallos) según (Steel y Torrie, 1981). La unidad experimental fue de 5 gallos y 5 gallos más por experimento para determinar la excreción endógena de la proteína y energía, y de esta manera corregir la digestibilidad aparente de la proteína y energía en verdadera, y esta última en energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno.

Para proporcionar la alimentación experimental se utilizó la técnica de alimentación precisa descrita por (Sibbald, 1979b), dicha técnica consiste en la inserción de un tubo por el pico vía esófago hasta el buche, colocando el alimento a través de este tubo. El embudo y el tubo son de acero inoxidable, el tubo mide 40 cm de largo y tiene un diámetro externo de 1.2 cm y 1.1 cm de diámetro interno. El émbolo es una varilla de aluminio o cobre de 1 cm de diámetro a la cual se le pone una perilla esférica o té; se le coloca un anillo de plástico o cobre para impedir que salga más de 0.5 cm del tubo del embudo. El embudo debe ser ligero y bien balanceado, un embudo pesado y mal balanceado es difícil de controlar cuando se introduce a través del esófago del ave. Los embudos de plástico son ligeros pero en ocasiones retienen alimento por cargas electrostáticas.

Para introducir el alimento, el operador deberá sentarse en un banco y cruzar la pierna izquierda sobre la derecha. El ave se toma con ambas manos y se

acomoda de manera que la quilla se acomode entre el muslo izquierdo y el abdomen del operador.

El cuerpo del ave está a 45 grados de la vertical, sus piernas están a la izquierda y no puede moverse. El codo del brazo izquierdo del operador lo mantiene en su lugar, el pico se mantiene arriba de la cabeza y se abre con el pulgar y el índice izquierdo.

Se retira el embudo con la mano derecha. La mano izquierda se mueve, al esófago del ave donde se aplica una suave presión. Esto, acompañado de una suave rotación al sacar el embudo elimina cualquier partícula de alimento adherido al embudo. La operación completa usualmente dura menos de 1 minuto por gallo.

Para la recolección de las heces se recomienda, recolectarlas cada 8 horas durante 48 horas, para evitar problemas de fermentación y realizar una limpieza de escamas y plumas de tal manera que se evite al máximo la contaminación; después de recolectadas, las heces se congelan hasta el momento de su análisis de laboratorio.

Los experimentos se condujeron de acuerdo a los procedimientos descritos por (Sibbald, 1979b); durante la semana experimental se utilizaron los gallos por tres días (donde el primer día los gallos fueron ayunados por 24 horas, el segundo día se alimentaron y durante el segundo y tercer día se colectaron las heces);

además se pesaron el segundo día antes de ser alimentados, y al final del tercer día del período experimental. El período de ayuno fue con el objetivo de evitar que existieran residuos en su tubo digestivo de la dieta no experimental. Los gallos se alojaron en jaulas individuales tipo batería con comedero en forma de canal y bebedero en forma de tasa, además se colocaron charolas de aluminio para la recolección de las heces. A los gallos se les alimentó una sola vez en forma precisa, para lo cual se utilizó un embudo de acero inoxidable y se depositaron 30 g del grano de sorgo molido en el buche. Las excretas se recolectaron cada ocho horas durante 48 horas posteriores a la alimentación. El programa de actividades y muestreo para cada período experimental se presentan en el Cuadro 1.

El manejo de los gallos utilizados para obtener la excreción endógena fue similar al de los tratamientos, con la diferencia de que a los primeros únicamente se les suministraron 30 g de glucosa en el agua de bebida en lugar de los 30 g de sorgo durante los dos últimos días del período experimental (Sibbald, 1979b).

El análisis químico de los sorgos utilizados en los dos experimentos se presentan en los Cuadros 2, 3 y 4. Los tratamientos del Experimento 1 fueron 4 variedades puras más una mezcla de sorgo con diferente contenido de taninos, medidos como porcentaje de "equivalentes de catequinas" en base seca (<0.25, 0.47, 0.78, 0.81 y 1.07), para T1, T2, T3, T4 y T5, respectivamente; para el Experimento 2 se utilizaron otras 4 variedades puras más una mezcla de sorgo con las siguientes concentraciones porcentuales de taninos, determinados como

Cuadro 1. Esquema de actividades y muestreo Experimentos 1 y 2.

Semana	1			2			3			4			5		
Día	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Medición															
Ayuno	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-
Alimentación	-	X	-	-	X	-	-	X	-	-	X	-	-	X	-
Recolección de heces	-	H	H	-	H	H	-	H	H	-	H	H	-	H	H
Pesaje	-	P	P	-	P	P	-	P	P	-	P	P	-	P	P

Cuadro 2. Composición química de los sorgos utilizados en el Experimento 1^{1,2}.

	S o r g o				
	1	2	3	4	5 ⁴
Variedad	D-69	D-45	D-68	1 ³	D-65
Nutrimento					
Materia seca, %	88.80	89.16	88.54	88.64	88.50
Proteína cruda, %	8.50	10.08	8.83	12.28	11.09
FDN, %	13.84	13.19	12.76	9.01	12.92
FDA, %	6.47	6.14	5.69	3.58	5.62
Cenizas, %	1.63	1.67	2.09	2.96	1.72
Taninos ⁵	<0.25	0.47	0.78	0.81	1.07
Energía bruta, Kcal/g	4.45	4.50	4.45	4.52	4.48

¹ Los resultados son el promedio de dos determinaciones por muestra.

² Todos los valores excepto materia seca son reportados como porcentaje de materia seca.

³ Mezcla de sorgo.

⁴ 1,2,3,4 y 5 para T1, T2, T3, T4 y T5, respectivamente.

⁵ Determinados como "equivalentes de catequinas", según la técnica de (Price et al., 1978).

Cuadro 3. Composición química de los sorgos utilizados en el Experimento 2^{1,2}.

	S o r g o				
	1 2 ³	2 8443	3 8641	4 8428	5 ⁴ 8172
Variedad					
Nutrimiento					
Materia seca, %	88.77	87.57	89.52	89.21	88.84
Proteína cruda, %	10.81	9.24	7.41	8.39	8.10
FDN, %	8.17	14.86	12.44	14.83	14.61
FDA, %	3.89	6.54	5.47	6.52	5.62
Cenizas, %	1.52	1.01	1.60	1.49	1.29
Taninos ⁵	<0.25	0.41	0.59	4.19	5.06
Energía bruta, Kcal/g	4.48	4.40	4.44	4.49	4.48

¹ Los resultados son el promedio de dos determinaciones por muestra.

² Todos los valores excepto materia seca son reportados como porcentaje de materia seca.

³ Mezcla de sorgo.

⁴ 1,2,3,4 y 5 para T1, T2, T3, T4 y T5, respectivamente.

⁵ Determinados como "equivalentes de catequinas", según la técnica de (Price et al., 1978).

Cuadro 4. Perfil de aminoácidos de los sorgos utilizados en el Experimento 2^{1,2}.

	S o r g o				
	1	2	3	4	5 ⁴
Taninos	<0.25³	0.41	0.59	4.19	5.06
Nutrimiento, %					
Proteína cruda	10.81	9.24	7.41	8.39	8.10
<i>Aminoácidos esenciales</i>					
Valina	0.57	0.49	0.38	0.43	0.44
Treonina	0.36	0.30	0.27	0.27	0.28
Metionina	0.22	0.17	0.16	0.16	0.16
Isoleucina	0.43	0.39	0.29	0.34	0.35
Leucina	1.53	1.47	0.97	1.18	1.23
Fenilalanina	0.59	0.54	0.39	0.45	0.47
Histidina	0.30	0.24	0.23	0.19	0.20
Lisina	0.22	0.16	0.22	0.18	0.19
Arginina	0.41	0.30	0.33	0.35	0.35
<i>Aminoácidos no esenciales</i>					
Ácido aspártico	0.70	0.63	0.55	0.59	0.63
Serina	0.48	0.43	0.36	0.35	0.37
Ácido glutámico	2.42	2.27	1.55	1.80	1.88
Prolina	0.92	0.86	0.59	0.66	0.69
Alanina	1.04	0.99	0.67	0.80	0.82
Cisteina	0.21	0.19	0.16	0.16	0.18
Tirosina	0.38	0.33	0.25	0.30	0.31

¹ Los resultados son el promedio de dos hidrólisis por muestra.

² Todos los valores son reportados como porcentaje de materia seca.

³ Mezcla de sorgo.

⁴ 1,2,3,4 y 5 para T1, T2, T3, T4 y T5, respectivamente.

porcentaje de "equivalentes de catequinas" en base seca (<0.25, 0.41, 0.59, 4.19 y 5.06), para T1, T2, T3, T4 y T5, respectivamente.

Para la determinación de los taninos en el laboratorio, se utilizó la técnica de la vainillina HCl propuesta por (Price et al., 1978).

Las muestras de heces colectadas, tanto de los gallos endógenos como los de los tratamientos, se congelaron y posteriormente fueron sometidas a un proceso de liofilización en un equipo "labconco", y finalmente fueron pesadas y molidas en un molino "Wiley" utilizando una criba de 1 mm, a las excretas ya molidas se les determinó materia seca, proteína cruda, aminoácidos, ácido úrico y energía bruta.

La materia seca en las muestras de sorgo y de las heces se determinaron por duplicado en una estufa de aire forzado a 110°C durante 24 hr (AOAC, 1995).

La proteína cruda se determinó tanto a las muestras de sorgo como a las heces por duplicado, utilizando un equipo analizador Kjeltex auto 1035, según la (AOAC, 1995).

Los aminoácidos fueron determinados en las heces así como en cada uno de los sorgos, utilizando un HPLC de acuerdo con los procedimientos de la (AOAC, 1995).

El ácido úrico se determinó a las muestras de heces por triplicado, utilizando la técnica propuesta por (Marquardt, 1983).

La energía bruta se determinó por duplicado tanto en las muestras de sorgo como en las heces en una bomba calorimétrica (Parr Instrument Co., Moline, IL).

La digestibilidad de la materia seca (DMS) se determinó como la diferencia entre los gramos de materia seca consumidos y los gramos de materia seca en heces excretados entre los gramos de materia seca consumidos, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{DMS} = \frac{\text{Ac} - \text{Aeh}}{\text{Ac}} \times 100$$

Donde:

DMS = Digestibilidad de la materia seca.

Ac = Gramos de materia seca consumidos.

Aeh = Gramos de materia seca excretados como heces.

La digestibilidad verdadera de la proteína (DVP) se calculó por diferencia entre los gramos de proteína consumidos menos los gramos de proteína aparente en heces más los gramos de proteína aportados por el endógeno entre los gramos de proteína consumidos, aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{DVP} = \frac{\text{N1} - (\text{N2} - \text{N3})}{\text{N1}} \times 100$$

Donde:

DVP = Digestibilidad verdadera de la proteína.

N1 = Cantidad de proteína consumida en gramos.

N2 = Cantidad de proteína en gramos excretada en las heces.

N3 = Cantidad de proteína en gramos de origen endógeno excretado por las aves controles (ayunadas).

Los valores de energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno (EMVn) se determinaron utilizando la ecuación propuesta por (Parsons et al., 1982):

$$EMVn = \frac{FEf - [EEf + 8.22 Nf] + [EEu + 8.22 Nu]}{FC}$$

Donde:

EMVn = Energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno.

FEf = Energía bruta del alimento consumido.

EEf = Energía bruta de las heces en los gallos alimentados.

Nf = Gramos de nitrógeno retenido por los gallos alimentados.

EEu = Energía bruta de las heces en los gallos ayunados (endógenos).

Nu = Gramos de nitrógeno retenido por los gallos ayunados (endógenos).

FC = Gramos de alimento consumido.

La energía metabolizable es corregida por nitrógeno, asumiendo que el nitrógeno excretado aporta energía a través de la orina en las heces, en una cantidad de 8.22 Kcal/g de nitrógeno retenido.

5.2.1. Mediciones específicas.

1. Digestibilidad de la materia seca (DMS).
2. Digestibilidad verdadera de la energía (DVE).
3. Digestibilidad verdadera de la proteína (DVP).
4. Digestibilidad verdadera de aminoácidos (DVAA).
5. Energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno (EMVn).

5.2.3. Análisis estadístico.

Los resultados de los dos experimentos fueron sometidos a un análisis de varianza utilizando el procedimiento de los modelos lineales generales (GLM) del paquete estadístico SAS (1990), comparándose las medias entre tratamientos con la prueba de LSMEANS y SNK. Atribuyéndose el total de la variación al siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + \delta_{(i)} + R_j + W_{(j)} + T_k + \varepsilon_{(ijk)}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable de respuesta del k-ésimo nivel de taninos, asociado al j-ésimo período de la i-ésima unidad experimental.

μ = Media general.

C_i = Efecto del i-ésimo grupo de 5 gallos.

$\delta_{(i)}$ = Error de restricción del i-ésimo grupo de 5 gallos NID $(0, \sigma^2_{\delta})$.

R_j = Efecto del j-ésimo período.

$W_{(j)}$ = Error de restricción del j-ésimo período NID $(0, \sigma^2_w)$.

T_k = Efecto del k-ésimo nivel de taninos.

$\varepsilon_{(ijk)}$ = Error aleatorio del k-ésimo nivel de taninos, asociado al j-ésimo período del i-ésimo grupo de 5 gallos NID $(0, \sigma^2)$.

6. RESULTADOS

Experimento 1. Los promedios generales de las variables digestibilidad de la materia seca, digestibilidad verdadera de la proteína, digestibilidad verdadera de la energía y energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno, se presentan en el Cuadro 5; para todas las variables se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) a partir de las variables de control en estudio.

La digestibilidad de la materia seca fue similar en los tratamientos con niveles de taninos de <0.25 , 0.78 y 1.07% (78.11^a , 76.89^{ab} y $76.81^{ab}\%$, respectivamente). Sin embargo la digestibilidad de estos dos últimos casos fue similar con el nivel de taninos de 0.47% ($75.70^{b\%}$). La digestibilidad estadísticamente más baja se expresó con el nivel de 0.81% ($72.90^c\%$), siendo esta diferente a las demás.

Para la digestibilidad verdadera de la proteína, se aprecia una similitud estadística con las concentraciones de taninos de <0.25 , 0.47 , 0.78 , 0.81 y 1.07% (83.45^a , 67.72^a , 65.00^a , 71.96^a y $76.36^{a\%}$, respectivamente).

La digestibilidad verdadera de la energía resultó mayor con el nivel de taninos de $<0.25\%$ ($92.01^{a\%}$), que con los niveles de 0.47 , 0.78 y 1.07% (88.93^b , 89.98^b y $89.80^{b\%}$, respectivamente), pero fue más baja con el nivel de taninos de 0.81% ($86.23^c\%$), la cual representa la integración de tres grupos estadísticamente diferentes.

La energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno fue similar estadísticamente con las concentraciones de taninos de <0.25, 0.47, 0.78 y 1.07% (3.65^a, 3.59^a, 3.59^a y 3.57^a kcal/g, respectivamente). Sin embargo, se observó un menor valor con el nivel de taninos de 0.81% (3.46^b kcal/g), siendo este diferente a las demás.

Cuadro 5. Digestibilidad de la materia seca, verdadera de la proteína, verdadera de la energía, y energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno del Experimento 1.

	S o r g o					
	1	2	3	4	5 ¹	
Taninos, %	<0.25	0.47	0.78	0.81	1.07	
Variable						EEM
Materia seca, %	78.11 ^a	75.70 ^b	76.89 ^{ab}	72.90 ^c	76.81 ^{ab}	0.40
Proteína, %	83.45 ^a	67.72 ^a	65.00 ^a	71.96 ^a	76.36 ^a	5.66
Energía, %	92.01 ^a	88.93 ^b	89.98 ^b	86.23 ^c	89.80 ^b	0.54
EMVn, Kcal/g	3.65 ^a	3.59 ^a	3.59 ^a	3.46 ^b	3.57 ^a	0.02

¹ 1,2,3,4 y 5 para T1, T2, T3, T4 y T5, respectivamente.

^{abc} Medias dentro de la misma hilera con distintas literales son diferentes estadísticamente (P<0.05).

Experimento 2. Los promedios generales de las variables digestibilidad de la materia seca, digestibilidad verdadera de la proteína, digestibilidad verdadera de la energía y energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno, se muestran en el Cuadro 6, haciéndose notar que en todos los casos se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$).

La digestibilidad de la materia seca fue mayor al dar los niveles de taninos de 0.41 y 0.59% (con valores de 77.49^a y 78.59^a%, respectivamente), que con el nivel de <0.25% (74.01^b%). La digestibilidad de la materia seca más baja se encontró con los niveles de taninos de 4.19 y 5.06% (70.57^c y 68.63^c%), las cuales fueron diferentes a todas las anteriores.

En la digestibilidad verdadera de la proteína se encontró la misma digestibilidad con las concentraciones de taninos de <0.25, 0.41 y 0.59% (con valores de 85.65^a, 84.07^a y 91.29^a%, respectivamente). Sin embargo, en comparación con las anteriores se obtuvo una digestibilidad mucho menor al dar los niveles de taninos de 4.19 y 5.06% (con valores de 41.68^b y 41.25^b%, respectivamente).

La digestibilidad verdadera de la energía fue mayor con los niveles de taninos de 0.41 y 0.59% (89.89^a y 90.31^a%, respectivamente), que con el nivel de <0.25% (85.93^b%). Mientras tanto, las digestibilidades más bajas para esta misma variable fueron las encontradas con los niveles de taninos de 4.19 y 5.06% (80.99^c y 78.75^c%, respectivamente), resultando significativamente diferentes a las demás.

Por otro lado, la energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno fue mayor con niveles de 0.41 y 0.59% de taninos (3.48^a y 3.56^a kcal/g, respectivamente), en comparación con el nivel de <0.25% (3.37^b kcal/g), el cual tuvo una respuesta mayor con relación al nivel de 4.19% (3.22^c kcal/g). Por otra parte, el menor valor fue el encontrado con el nivel de taninos de 5.06% (3.11^d kcal/g), el cual fue estadísticamente diferente a los demás.

Cuadro 6. Digestibilidad de la materia seca, verdadera de la proteína, verdadera de la energía, y energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno del Experimento 2.

	S o r g o					EEM
	1	2	3	4	5 ¹	
Taninos, %	<0.25	0.41	0.59	4.19	5.06	
Variable						
Materia seca, %	74.01 ^b	77.49 ^a	78.59 ^a	70.57 ^c	68.63 ^c	0.94
Proteína, %	85.65 ^a	84.07 ^a	91.29 ^a	41.68 ^b	41.25 ^b	4.64
Energía, %	85.93 ^b	89.89 ^a	90.31 ^a	80.99 ^c	78.75 ^c	0.74
EMVn, Kcal/g	3.37 ^b	3.48 ^a	3.56 ^a	3.22 ^c	3.11 ^d	0.02

¹ 1,2,3,4 y 5 para T1, T2, T3, T4 y T5, respectivamente.

^{abcd} Medias dentro de la misma hilera con distintas literales son diferentes estadísticamente (P<0.05).

Los promedios generales de la variable, digestibilidad verdadera de aminoácidos en el **experimento 2** se presentan en el Cuadro 7; el análisis estadístico considero un nivel de ($P < 0.05$).

Para el caso de los aminoácidos esenciales se observó que para valina se tuvo una mayor digestibilidad en los niveles de taninos de < 0.25 , 0.41 y 0.59% (81.4^a , 88.4^a y 82.4^{a0} , respectivamente), en comparación con las concentraciones de 4.19 y 5.06% (34.2^b y 28.7^{b0} , respectivamente), siendo diferentes a las primeras.

Con treonina se tuvo una digestibilidad similar al dar los niveles de taninos de 0.41 y 0.59% (80.5^a y 75.7^{ab0} , respectivamente). La digestibilidad fue mayor con el nivel de taninos de 0.41% (80.5^a), que con el nivel de $< 0.25\%$ (71.5^{b0}), pero con este último fue similar respecto al nivel de 0.59% (75.7^{ab0}). Sin embargo, al dar los niveles de 4.19 y 5.06% de taninos se observó la más baja digestibilidad (17.8^c y 12.8^{c0} , respectivamente), la cual fue diferente a las anteriores.

Con metionina se logró una mayor digestibilidad al dar las concentraciones de taninos de < 0.25 , 0.41 y 0.59% (83.4^a , 88.1^a y 85.7^{a0} , respectivamente), que con los niveles de 4.19 y 5.06% (33.2^b y 30.5^{b0}), lo cual representa la integración de dos grupos estadísticamente diferentes.

Con relación a isoleucina se presento una digestibilidad más alta con los niveles de taninos de < 0.25 , 0.41 y 0.59% (84.4^a , 90.2^a y 86.6^{a0} , respectivamente), en

comparación con los niveles de 4.19 y 5.06% (36.1^b y 31.7^b%, respectivamente), las cuales fueron diferentes a las anteriores.

La digestibilidad de leucina fue mayor con el nivel de taninos de 0.41% (94.5^{ao}%), que con los niveles de <0.25 y 0.59% (87.9^b y 90.4^b%, respectivamente). La digestibilidad más baja para este aminoácido fue la encontrada con los niveles de taninos de 4.19 y 5.06% (33.4^c y 30.7^c%, respectivamente), la cual fue diferente a las anteriores.

Para el caso de fenilalanina se obtuvo la misma digestibilidad al dar los niveles de taninos de 0.41 y 0.59% (92.7^a y 89.9^{ab}%, respectivamente). Pero la concentración de taninos de 0.41% (92.7^a%) tuvo una mayor digestibilidad, que el nivel de <0.25% (87.4^b%), siendo este último similar al nivel de 0.59% (89.9^{ab}%). Por otra parte, se logró la más baja digestibilidad con los niveles de taninos de 4.19 y 5.06% (33.4^c y 31.1^c%, respectivamente), resultando significativamente diferentes a las demás.

La digestibilidad alcanzada por el aminoácido histidina fue mayor con el nivel de taninos de 0.41% (89.2^a%) que con el nivel de 0.59% (77.7^b%). Por otra parte, se logró una mayor digestibilidad con el nivel de taninos de 0.59% (77.7^b%), en comparación con el nivel de <0.25% (68.3^c%). La digestibilidad más baja fue la encontrada con los niveles de taninos de 4.19 y 5.06% (24.8^d y 24.7^d%, respectivamente), siendo diferentes con relación a las anteriores.

El aminoácido lisina tuvo una mejor digestibilidad con los niveles de taninos de <0.25, 0.41 y 0.59% (85.1^a, 91.7^a y 96.1^a%, respectivamente), que con los niveles de 4.19 y 5.06% (51.9^b y 47.7^b%, respectivamente), la cual fue estadísticamente diferente a las primeras.

Con arginina se logró una mayor digestibilidad con los niveles de taninos de 0.41 y 0.59% (86.2^a y 86.6^a%, respectivamente) en comparación con el nivel de <0.25% (76.4^b%). La digestibilidad más baja se encontró con los niveles de taninos de 4.19 y 5.06% (43.1^c y 37.4^c%, respectivamente) por lo que esta última fue diferente a las demás.

En cuanto a la digestibilidad verdadera de los aminoácidos no esenciales el ácido aspártico tuvo la mayor digestibilidad con los niveles de taninos de <0.25, 0.41 y 0.59% (80.3^a, 85.6^a y 84.0^a%, respectivamente), mientras que con los niveles de 4.19 y 5.06% fue menor estadísticamente (32.6^b y 29.9^b%, respectivamente).

El aminoácido serina alcanzó la mejor digestibilidad con los niveles de taninos de 0.41 y 0.59% (89.1^a y 85.1^a%) en comparación con el nivel de <0.25% (79.2^b%), pero la digestibilidad más baja se encontró con las concentraciones de taninos de 4.19 y 5.06% (20.8^c y 18.1^c%), la cual fue diferente a todas las anteriores.

La digestibilidad del ácido glutámico fue mayor con el nivel de taninos de 0.41% (95.1^a%), que con el nivel de 0.59% (92.0^b%); con este nivel se logró una mejor

digestibilidad con respecto a la concentración de taninos de <0.25% (88.5^c%). Mientras que la digestibilidad más baja se presentó con los niveles de taninos de 4.19 y 5.06% (35.1^d y 32.3^d%, respectivamente), resultando significativamente diferentes a las demás.

En relación al aminoácido prolina se tuvo la mayor digestibilidad con el nivel de taninos de 0.41% (94.0^a%) seguido por el nivel de 0.59% (82.3^b%), seguidamente se ubicó la digestibilidad de este aminoácido con la concentración de taninos de <0.25% (77.0^c%). Finalmente se obtuvieron las más bajas digestibilidades con los niveles de taninos de 4.19 y 5.06% (26.5^d y 25.1^d%, respectivamente), las cuales fueron diferentes a todas las anteriores.

El aminoácido alanina tuvo la mayor digestibilidad con la concentración de taninos de 0.41% (93.0^a%), seguida por los niveles de <0.25 y 0.59% (87.6^b y 88.7^b%, respectivamente). La reducción más drástica en la digestibilidad se logró con los niveles de taninos de 4.19 y 5.06% (33.1^c y 29.9^c%, respectivamente), resultando diferentes a las demás.

La mejor digestibilidad del aminoácido cisteína fue con el nivel de taninos de 0.41% (82.9^a%), seguida por los niveles de <0.25 y 0.59% (61.0^b y 68.3^b%, respectivamente) con los cuales la digestibilidad fue mayor con relación al nivel de 5.06% (17.4^c%). Finalmente la menor digestibilidad fue obtenida con el nivel de 4.19% (6.1^d%), la cual representa la integración de cuatro grupos estadísticamente diferentes.

El aminoácido tirosina tuvo la misma digestibilidad con las concentraciones de taninos de 0.41 y 0.59% (88.5^a y 83.9^{ab}%, respectivamente). Con una menor digestibilidad se ubicó el nivel de <0.25% con el que se obtuvo un valor de 79.9^b%, aunque a su vez fue similar a la del nivel de 0.59% (83.9^{ab}%). Las digestibilidades más bajas se encontraron con los niveles de taninos de 4.19 y 5.06% (15.8^c y 10.8^c%, respectivamente), siendo a su vez diferentes en relación a todas las anteriores.

Cuadro 7. Porcentaje de la digestibilidad verdadera de aminoácidos correspondientes al Experimento 2.

	S o r g o					
	1	2	3	4	5 ¹	
Taninos %	<0.25	0.41	0.59	4.19	5.06	
Nutrimento, %						EEM
<i>Aminoácidos esenciales</i>						
Valina	81.4 ^a	88.4 ^a	82.4 ^a	34.2 ^b	28.7 ^b	2.75
Treonina	71.5 ^b	80.5 ^a	75.7 ^{ab}	17.8 ^c	12.8 ^c	1.85
Metionina	83.4 ^a	88.1 ^a	85.7 ^a	33.2 ^b	30.5 ^b	2.12
Isoleucina	84.4 ^a	90.2 ^a	86.6 ^a	36.1 ^b	31.7 ^b	2.63
Leucina	87.9 ^b	94.5 ^a	90.4 ^b	33.4 ^c	30.7 ^c	0.94
Fenilalanina	87.4 ^b	92.7 ^a	89.9 ^{ab}	33.4 ^c	31.1 ^c	1.18
Histidina	68.3 ^c	89.2 ^a	77.7 ^b	24.8 ^d	24.7 ^d	1.71
Lisina	85.1 ^a	91.7 ^a	96.1 ^a	51.9 ^b	47.7 ^b	4.91
Arginina	76.4 ^b	86.2 ^a	86.6 ^a	43.1 ^c	37.4 ^c	1.82
<i>Aminoácidos no esenciales</i>						
Ácido aspártico	80.3 ^a	85.6 ^a	84.0 ^a	32.6 ^b	29.9 ^b	1.48
Serina	79.2 ^b	89.1 ^a	85.1 ^a	20.8 ^c	18.1 ^c	1.88
Ácido glutámico	88.5 ^c	95.1 ^a	92.0 ^b	35.1 ^d	32.3 ^d	0.90
Prolina	77.0 ^c	94.0 ^a	82.3 ^b	26.5 ^d	25.1 ^d	1.38
Alanina	87.6 ^b	93.0 ^a	88.7 ^b	33.1 ^c	29.9 ^c	1.00
Cisteina	61.0 ^b	82.9 ^a	68.3 ^b	6.1 ^d	17.4 ^c	3.04
Tirosina	79.9 ^b	88.5 ^a	83.9 ^{ab}	15.8 ^c	10.8 ^c	1.68

¹ 1,2,3,4 y 5 para T1, T2, T3, T4 y T5, respectivamente.

^{abcd} Medias dentro de la misma hilera con distintas literales son diferentes estadísticamente (P<0.05).

7. DISCUSIÓN

Digestibilidad de la materia seca y verdadera de la proteína, energía, y aminoácidos.

Los efectos negativos de los taninos condensados del grano de sorgo sobre la digestibilidad de la materia seca, se manifestaron en la presente investigación, encontrando una reducción del 6.67 y 7.27% cuando la concentración de taninos se incrementó de <0.25 vs 0.81 y 5.06%, respectivamente. Esta respuesta es similar a la encontrada por Cousin et al., (1981) donde la digestibilidad de la materia seca en cerdos se afectó negativamente en un 4.43% al pasar los niveles de taninos de 0.83 a 3.4%. En muchas observaciones similares (Jansman et al., 1995, Myer et al., 1986 y Avellaneda, 1999) también ha sido consistente la respuesta depresiva de los taninos dietéticos sobre la digestibilidad de este parámetro; sin embargo, en el caso del tratamiento con 1.07% de taninos se observó un incremento en la digestibilidad, cuando la comparamos con el nivel de 0.81%. Esta variación en la digestibilidad de la materia seca es posible que esté relacionada con la concentración de taninos y/o tipo de compuestos fenólicos en el grano de sorgo, estos últimos no tienen la capacidad para ligar nutrimento, por lo que no afectan su digestibilidad; sin embargo son considerados como taninos durante su determinación en el laboratorio (Harborne, 1994).

Digestibilidad verdadera de la proteína. Se observó una reducción de 51.34 y 51.84 unidades porcentuales, en los sorgos con 4.19 y 5.06% de taninos. Estos

resultados concuerdan con los encontrados por Mítaru et al., (1983) quienes reportan, que en sorgos con niveles de taninos de 0.1 a 3.7% disminuyó la digestibilidad de dicho parámetro. De igual manera Ford y Hewitt, (1979,) encontraron que en sorgos con niveles de taninos de 0.15 a 1.2% se redujo la digestibilidad de la proteína. Similarmente (Lacassagne et al., 1988, Longstaff y McNab, 1991, Ahmed et al., 1991, Mahmood et al., 1993, Yuste et al., 1992 y Lacassagne et al., 1991) confirmaron un efecto detrimental de los taninos sobre la digestibilidad de la proteína. Por otro lado, en el sorgo con un nivel de taninos de 1.07% usado en este trabajo no observamos un efecto detrimental de la respuesta. Esta variación en la digestibilidad de la proteína puede tener relación con los resultados encontrados por Neucere et al., (1980), donde estos autores encontraron que a medida que se incrementaba la concentración de taninos en el grano de sorgo, de igual manera se aumentaba el contenido de las proteínas glutelinas y prolaminas (kafirinas); estas últimas son las proteínas menos digestibles (Hamaker et al., 1986). Además tienen gran afinidad por combinarse con los taninos del grano, formando un complejo tanino-proteína mediante numerosos enlaces de hidrógeno, covalentes e iónicos; este complejo no es hidrolizado por la acción de las enzimas proteasas del tubo digestivo, lo que se traduce en una menor digestibilidad de la proteína (Sosa, 1984).

Digestibilidad verdadera de la energía. Las aves manifestaron una reducción del 6.28, 5.75 y 8.36% al consumir sorgos con taninos de 0.81, 4.19 y 5.06. Esta respuesta es muy similar a la encontrada por Cousins et al., (1981) los cuales evaluaron sorgos con taninos de 0.88 a 3.40%, encontrando una digestibilidad

inferior del 4.51%. y son consistentes a los encontrados por Myer et al., (1986) y Noland et al., (1977). Pero se observó que el sorgo con 1.07% de taninos mejoró su digestibilidad de la energía en comparación con el sorgo de 0.81% de taninos. Debido a lo anterior, es importante señalar que las proteínas del endospermo cubren los gránulos de almidón en el grano de sorgo, formando una barrera física para evitar el ataque de las amilasas en el tubo digestivo, limitando su digestibilidad del almidón (Rooney y Pflugfelder, 1986), además de poder existir una influencia del tipo de almidón en cada grano.

Digestibilidad verdadera de los aminoácidos esenciales; los tratamientos con niveles de taninos de 4.19 y 5.06% mostraron un decremento en la digestibilidad de los aminoácidos: valina (58.05 y 64.71%), metionina (60.21 y 63.42%), isoleucina (57.31 y 62.47%) y lisina (39.01 y 43.89%), respectivamente. Dichos resultados coinciden con los reportados por Ford y Hewitt, (1979) donde valina tuvo una reducción en la digestibilidad del 56.25%, metionina del 45.0%, isoleucina del 56.70%, y lisina del 33.33%, respectivamente. En este experimento las aves consumieron sorgos altos y bajos en taninos. Respuestas similares han sido reportados por Longstaff y McNab, (1991), y Elkin et al., (1996). Sin embargo, en los sorgos con taninos de <0.25 a 0.59% se pudo observar una reducción similar, a pesar de que el sorgo con 0.59% de taninos tenía menos unidades porcentuales de estos aminoácidos.

Cuando los taninos fluctuaron entre 4.19 y 5.06% en los tratamientos, se observó un decremento en la digestibilidad de los siguientes aminoácidos: treonina (75.18

y 82.06%) y fenilalanina (61.81 y 64.48%). Estos resultados son muy similares a los encontrados por Ford y Hewitt, (1979) donde treonina tuvo una digestibilidad inferior en 57.45%, y fenilalanina de 38.78%, en sorgos altos y bajos en taninos. Similarmente Longstaff y McNab, (1991) y Elkin et al., (1996) reportaron efectos similares al anterior. Sin embargo, se determinó una digestibilidad similar, en los sorgos con taninos de <0.25 a 0.59%, sin importar que el sorgo con <0.25% de estos factores tuvo un mayor contenido de estos aminoácidos.

Como puede observarse, la respuesta fue menor en los sorgos con taninos de <0.25 vs 4.19 y 5.06% para los aminoácidos esenciales; leucina (61.97 y 65.10%), histidina (63.67 y 63.94%) y arginina (43.61 y 51.03%), respectivamente. Resultados similares han sido publicados por Ford y Hewitt, (1979). Estos investigadores encontraron un valor inferior para leucina de 48.45%, histidina de 52.13% y arginina de 52.58%, respectivamente. Otros autores como Longstaff y McNab, (1991) y Elkin et al., (1996) determinaron efectos similares para este grupo de aminoácidos. Se encontró una respuesta diferente en los tratamientos con <0.25 vs 0.59% de taninos, siendo mayor la digestibilidad en el sorgo con 0.59% de taninos para histidina y arginina, pero en leucina fue similar en ambos sorgos; a pesar de que el sorgo con menos contenido de taninos tuvo más unidades porcentuales de estos aminoácidos.

Digestibilidad verdadera de los aminoácidos no esenciales: cuando los sorgos contenían concentraciones de <0.25 vs 4.19 y 5.06% de taninos se observó una disminución de la digestibilidad en los aminoácidos: ácido aspártico (59.40 y

62.74%), serina (73.78 y 77.12%), ácido glutámico (60.31 y 63.47%), prolina (65.65 y 67.39%), alanina (62.25 y 65.81%), cisteina (90.04 y 71.44%) y tirosina (80.21 y 86.48%), respectivamente. Autores como Ford y Hewitt, (1979) han publicado resultados muy similares a los anteriores. La disminución en digestibilidad ha sido para el ácido aspártico de 49.48%, serina de 65.05%, ácido glutámico de 52.04%, prolina de 57.45%, alanina de 51.02%, cisteina de 99.02%, y tirosina de 54.16%, respectivamente en sorgos con diferente contenido de taninos. Además otros autores como Elkin et al., (1996) resumen datos similares para dichos aminoácidos. Sin embargo, cisteina tuvo mejor respuesta en el sorgo con 5.06% de taninos que con el de 4.19%. Pero en el caso de los tratamientos con <0.25 a 0.59% de taninos se observó una respuesta similar en ácido aspártico, alanina, cisteina y tirosina. Por otra parte el ácido glutámico, serina y prolina manifestaron un comportamiento diferente, en los sorgos con <0.25 y 0.59% de taninos, siendo esta mayor en el sorgo con 0.59% de taninos.

La variación en la digestibilidad de los aminoácidos puede estar relacionada con el tipo de proteína existente en cada una de las variedades del grano de sorgo. Por ejemplo las albúminas y las globulinas son las proteínas de mejor calidad, ya que poseen un mejor perfil de aminoácidos esenciales y son altamente digestibles; además las mutaciones recientes en el sorgo han favorecido un incremento en los niveles de estas dos proteínas y una reducción de las prolaminas (Guiragossian et al., 1978).

Energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno.

Cómo puede ser observada la respuesta en esta variable fue inferior en 5.20, 4.45 y 7.71% en los tratamientos con 0.81, 4.19 y 5.06% de taninos, respectivamente, existiendo una diferencia marcada. Estos resultados tienen relación con los reportados por Mitaru et al., (1983) quienes confirman una disminución del 7.9% en la respuesta al consumir las aves sorgos con un rango de 0.1 a 3.7% de taninos. De igual manera, resultados previos (Flores et al., 1994, Lacassagne et al., 1988, Wareham et al., 1991, Lacassagne et al., 1991, Longstaff et al., 1991, Nyachoti et al., 1996 y Elkin et al., 1996) ratifican el mismo efecto en sus experimentos. Sin embargo en el sorgo con 1.07% de taninos se mejoró la respuesta cuando esta es comparada con el sorgo de 0.81% de estos factores. La fluctuación que se observó en los valores de energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno, puede ser atribuida a la concentración de taninos y/o sustancias polifenólicas en el sorgo (Harborne, 1994 y Douglas et al., 1990). Así como al tipo de almidón y a su interacción con las proteínas dentro del grano, formando estas últimas una barrera que disminuye su digestibilidad y disponibilidad del almidón (Rooney y Pflugfelder, 1986). Estos resultados nos permiten suponer la existencia de otros factores antinutrientales en el sorgo que hasta ahora no han sido identificados y que pudieran estar afectando los parámetros antes mencionados. Se sospecha que uno de los factores resistentes a la digestión, son las proteínas α , β , y γ kafirinas (prolaminas), las cuales forman parte del perfil proteico del grano de sorgo (Hamaker et al., 1986).

8. CONCLUSIONES

1. Las concentraciones de taninos disminuyeron la digestibilidad de la materia seca, sin observarse una relación directa cuando los niveles de dichos factores fueron menores al 1.07%.
2. La digestibilidad verdadera de la proteína no se vio afectada cuando los niveles de taninos fueron inferiores al 1.07%, sin embargo esta variable de respuesta disminuyó cuando la concentración de dichos factores fue de 4.19 y 5.06%.
3. Se redujo la digestibilidad verdadera de la energía conforme se incrementó la concentración de taninos en el sorgo, aunque no se observó una relación muy estrecha entre esta y los porcentajes inferiores al 1.07% de estos factores.
4. Cisteína fue el aminoácido más afectado en su digestibilidad, seguido por tirosina y treonina.
5. Disminuyó la energía metabolizable verdadera corregida por nitrógeno cuando los niveles de taninos en el sorgo fueron mayores del 4.19%.

9. RECOMENDACIONES

Tomando como base los resultados obtenidos en la presente investigación, se recomienda seguir investigando los coeficientes de digestibilidad de los nutrimentos más importantes en el grano de sorgo, sobre todo de sus proteínas. Así como utilizar concentraciones de taninos en el sorgo más uniformes que las evaluadas y realizar experimentos en las diferentes épocas del año.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed, A. E., Smithard, R. and Ellis, M. 1991. Activities of enzymes of the pancreas and the lumen and mucosa of the small intestine in growing broiler cockerels fed tannin-containing diets. *Br. J. Nutr.* 65:189.
- Anaya, E. A. M. 1998. Evaluación de algunas características fisicoquímicas de sorgos cosechados durante 1997 y 1998, en la zona centro de México. Memoria Reunión Científica. XXXIV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Querétaro, México. 293.
- AOAC, 1995. Association of Official Analytical Chemist. 16th ed. Official Methods of Analysis, Washington, D. C. 336.
- Avellaneda, C. J. H. 1999. Efecto de cuatro sorgos con diferentes niveles de taninos sobre la digestibilidad ileal de la proteína, aminoácidos y actividad enzimática en cerdos en crecimiento. Tesis Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 62.
- Butler, L., Riedl, D. J., Lebryk, D. G. and Blytt, H. J. 1984. Interactions of proteins with sorghum tannins: Mechanism, Specificity and Significance. *J. Assoc. of. Chem. Soc.* 61:916.
- Butler, L. G., Price, M. L. and Brotherton, J. E. 1982. Vainillin assay for proanthocyanidins (Condensed Tannins): Modifications of the Solvent for Estimation of the Degree of Polymerization. *J. Agric. Food Chem.* 30:1087.
- Cantú, B. J. E. 1989. 150 Gramíneas del norte de México. Apuntes. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". México. 341.
- Chang, I. S. and Fuller, I. H. 1964. Effect of tannin content of grain sorghum on their feeding value for growing chicks. *Poult. Sci.* 43:30.
- Cousins, B. W., Tanksley Jr, T. D., Knabe, D. A. and Zebrowska, T. 1981. Nutrient digestibility and performance of pigs fed sorghum varying in tannin concentration. *J. Anim. Sci.* 53:1524.
- Douglas, J. H., Sullivan, T. W., Bond, P. L. and Struwe, F. J. 1990. Nutrient composition and metabolizable energy values of selected grain sorghum varieties and yellow corn. *Poult. Sci.* 69:1147.
- Douglas, J. H., Sullivan, T. W., González, N. J. and Beck, M. M. 1993. Differential age response of turkeys to protein and sorghum tannin levels. *Poult. Sci.* 72:1944.
- Douglas, J. H., Sullivan, T. W., Abdul-Kadir, R. and Rupnow, J. H. 1991. Influence of infrared (micronization) treatment on the nutritional value of corn and low- and high-tannin sorghum. *Poult. Sci.* 70:1534.

- Elkin, R. G., Freed, M. B., Hamaker, B. R., Zhang, Y. and Parsons, C. M. 1996. Condensed tannins are only partially responsible for variations in nutrient digestibilities of sorghum grain cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 44:848.
- Fan, M. Z. and Sauer, W. C. 1994. Determination of apparent ileal amino acid digestibility in pigs: Effect of dietary amino acid level. *J. Anim. Sci.* 72:2851.
- Flores, M. P., Castañón, I. R. and McNab, J.M. 1994. Effect of tannin on starch digestibility and TMEn of triticales and semipurified starches from triticales and field beans. *Brit. Poultr. Sci.* 35:281.
- Ford, J. E. and Hewitt, D. 1979. Protein quality in cereals and pulses. *Br. J. Nutr.* 42:325.
- Furuya, S. and Kaji, Y. 1991. Additivity of apparent and true ileal digestible amino acid supply in barley, maize, wheat or soya-bean meal based diets for growing pigs. *Anim. Feed Sci. and Tech.* 32:321.
- Gualtieri, M. and Rapaccini, S. 1990. Sorghum grain in poultry feeding. *J. Poultr. Sci.* 46:246.
- Guiragossian, V., Chibber, B. A. K., Scoyoc, S. V., Jambunathan, R., Mertz, E. T. and Axtell, J. D. 1978. Characteristics of proteins from normal, high lysine, and high tannin sorghum. *J. Agric. Food Chem.* 26:219.
- Hagerman, A. E. and Butler, L. G. 1978 Protein precipitation method for the quantitative determination of tannins. *J. Agric. Food Chem.* 26:809.
- Hale, W. H. 1973. Influence of processing on the utilization of grains (starch) by ruminants. *J. Anim. Sci.* 37:1075.
- Harborne, J. B. 1994. *The Flavonoids Advances in Research.* Cambridge University Press, Cambridge. Chapman & Hall. 652.
- 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.
- Haslam, E. 1989. *Plan Polyphenols-Vegetable Tannins Revisited.* Cambridge University Press, Cambridge, U. K. 230.
- House, R. L. 1982. "El sorgo" guía para su mejoramiento genético. Ed. Grupo Editorial Gaceta. Universidad Autónoma Chapingo. México, D.F. 425.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. Edición 1996, México, D.F.

- Jansman, A. J. M. 1993. Tannins in Feedstuffs for Simple-Stomached Animals. Nutrition Research Reviews. 6:209.
- Jansman, A. J. M., Verstegen, M. W. A., Huisman, J. and van den Berg, J. W. O. 1995. Effects 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, M., Carré, B. and Melcion, J. P. 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. and Tech. 20:59.
- Lacassagne, L., Melcion, J. P., Monredon, F. and Carré, B. 1991. The nutritional values of faba bean flours varying in their mean particle size in young chickens. Anim. Feed Sci. and Tech. 34:11.
- Longstaff, M., McBain, B. and McNab, J. M. 1991. The antinutritive effect of proanthocyanidin-rich and proanthocyanidin-free hulls from field beans on digestion of nutrients and metabolisable energy in intact and caectomised cockerels. Anim. Feed Sci. and Tech. 34:147.
- 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. Brit. J. of Nutri. 65:199.
- Low, A. G. 1982. Digestibility and availability of amino acids from feedstuffs for pig: A Review. Livestock Prod. Sci. 9:511.
- Luis, E. S., Sullivan, T. W. and Nelson, L. A. 1982. Nutrient composition and feeding value of proso millets, sorghum grains, and corn in broiler diets. Poult. Sci. 61:311.
- Mahmood, S. and Smithard, R. 1993. A comparison of effects of body weight and feed intake on digestion in broiler cockerels with effects of tannins. Brit. J. of Nutri. 70:701.
- Makkar, H. P. S., Becker, K., Abel, H. and Pawelzik, E. 1997. Nutrient contents, rumen protein degradability and antinutritional factors in some colour- and white-flowering cultivars of *Vicia faba* beans. J. Sci. Food Agric. 75:511.
- Marquardt, R. R. 1983. A simple spectrophotometric method for the direct determination of uric acid in avian excreta. Poult. Sci. 62: 2106.

- Mitaru, B. N., Reichert, R. D. and Blair, R. 1983. Improvement of nutritive value of high tannin sorghums for broiler chickens by high moisture storage (reconstitution). *Poult. Sci.* 62:2065.
- Mitaru, B. N., Reichert, R. D. and Blair, R. 1985. Protein and amino acid digestibilities for chickens of reconstituted and boiled sorghum grains varying in tannin contents. *Poult. Sci.* 64:101.
- Mole, S., Butler, L. G. and Lason, G. 1990. Defense against dietary tannin in herbivores: a survey for proline rich salivary proteins in mammals. *Biochemical Systematics and Ecology.* 18:287.
- Myer, R. O., Gorbet, D. W. and Combs, G. E. 1986. Nutritive value of high- and low-tannin grain sorghums harvested and stored in the high-moisture state for growing-finishing swine. *J. Anim. Sci.* 62:1290.
- Nelson, T. S., Stephenson, E. L., Burgos, A., Floyd, J. and York J. O. 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.
- Neucere, N. J. and Sumrell, G. 1979. Protein fractions from five varieties of grain sorghum: amino acid composition and solubility properties. *J. Agric. Food Chem.* 27:809.
- Neucere, N. J. and Sumrell, G. 1980. Chemical composition of different varieties of grain sorghum. *J. Agric. Food Chem.* 28:19.
- Noland, P. R., Campbell, D. R., Sharp, R. N. and Johnson, Z. B. 1977. Influence of pericarp and endosperm colour and type on the digestibility of grain sorghum by pigs. *Anim. Feed. Sci. Tech.* 2:219.
- Nyachoti, C. M., Atkinson, J. L. and Leeson, S. 1996. Response of broiler chicks fed a high-tannin sorghum diet. *J. Appl. Poult. Sci. Inc.* 5:239.
- Oh, H. I., Hoff, J. E., Armstrong, G. S. and Hahh, L. A. 1980. Hydrophobic interaction in tannin-protein complexes. *J. Agric. Food Chem.* 28:394.
- Oria, M. P., Hamaker, B. R. and Shull, J. M. 1995. Resistance of sorghum α -, β -, and γ -kafirinas to pepsin digestion. *J. Agric. Food Chem.* 43:2148.
- Osagie, A. U. 1987. Total lipids of sorghum grain. *J. Agric. Food Chem.* 35:601.
- Parsons, C. M. 1984. Influence of caecectomy and source of dietary fibre or starch on excretion of endogenous amino acids by laying hens. *Brit. J. Nutr.* 51:541.

- Parsons, C. M. Potter. L. M. and Bliss B. A. 1982. True metabolizable energy corrected to nitrogen equilibrium. *Poult. Sci.* 61:2241.
- Price, M. L., Scoyoc, S. V. and Butler, L. G. 1978. A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *J. Agric. Food Chem.* 26:1214.
- Price, M. L. and Butler, L. G. 1977. Rapid visual estimation and spectrophotometric determination of tannin content of sorghum grain. *J. Agric. Food Chem.* 25:1268.
- Ragland, D., King, D. and Adeola, O. 1997. Determination of metabolizable energy contents of feed ingredients for ducks. *Poult. Sci.* 76:1286.
- Rayudu, G. V., Kadirvel, N. R., Vohra, P. and Kratzer, F. H. 1970. Toxicity of tannic acid and its metabolites for chickens. *Poult. Sci.* 49:957.
- Reed, J. D. 1987. Phenolics, fiber, and fiber digestibility in bird resistant and non bird resistant sorghum grain. *J. Agric. Food Chem.* 35:461.
- Reed, J. D. 1995. Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. *J. Anim. Sci.* 73:1516.
- Rooney, W.L. and Pflugfelder, R.L. 1986. Factors affecting starch digestibility with especial emphasis on sorghum and corn. *J. Anim. Sci.* 63:1607.
- Rostagno, H. S., Featherston, W. R. and Rogler, J. C. 1973. Studies on the nutritional value of sorghum grains with varying tannin contents for chicks. 1. Growth Studies. *Poult. Sci.* 52:765.
- SAS. 1990. SAS/STAT User's guide. SAS Inst. Inc., Cary NC.
- Shull, J. M., Watterson J. J. and Keirleis 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.
- Sibbald, I. R. 1979a. A bioassay for available amino acids and true metabolizable energy in feedingstuffs. *Poult. Sci.* 58:668.
- Sibbald, I. R. 1979b. Bioavailable amino acids and true metabolizable energy of cereal grains. *Poult. Sci.* 58:934.
- Soria, R. J., Aveldaño, R. y Ortiz, L. 1987. Levantamiento Fisiográfico del Edo. de Querétaro. CIFAP-Guanajuato. INIFAP-SARH. p. 135.
- Sosa, M. E. 1984. Algunas Consideraciones Nutricionales y Químicas de Sorgos con Diferente Contenido de taninos. Tesis Maestría. Colegio de Posgraduados. Chapindo, México, D:F: 49.

- Steel, R. G. D. and Torrie, J. H. 1981. Principles and Procedures of Statistics. A Biometrical Approach. Singapore. 2da. Ed. McGraw-Hill International Book Co. 633. Technical Review-2. Procedimientos 2nda De. McGraw Hill 622.
- Talmadge, S. N., Edward, L. S., Alfonso, B., Janice, F. and John, O. 1975. Effect of tannin content and dry matter on energy utilization and average amino acid availability of hybrid sorghum grains. Poultry Sci. 54: 1620.
- Taylor, J. R. N., Schussler, L. and Willem, H. van der walt. 1984. Fractionation of proteins from low-tannin sorghum grain. J. Agric. Food Chem. 32:149.
- Wareham, C. N., Wiseman, J., Cole, D. J. A. And Craighan, J. 1991. The possible role of methionine in the detoxification of faba bean (*Vicia faba* L.) tannins in chick diets. Brit. Poultry Sci. 32:1017.
- Yuste, P., Longstaff, M. and McCorquodale, C. 1992. The effect of proanthocyanidin-rich hulls and proanthocyanidin extracts from bean (*Vicia faba* L.) hulls on nutrient digestibility and digestive enzyme activities in young chicks. Brit. J. Nutr. 67:57.

11. APÉNDICE

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Cuadro 1a. Cuadrados Medios para las variables Digestibilidad de la Materia Seca (DMS), Digestibilidad Verdadera de la Energía (DVE), Digestibilidad Verdadera de la Proteína (DVP) y Energía Metabolizable Verdadera Corregida por Nitrógeno (EMVn) del Experimento 1.

O.V.	G.L.	DMS	DVE	DVP	EMVn
Jaula	4	0.65	2.56	68.47	0.005
Período	4	8.59	5.33	189.42	0.003
Tratamiento	4	19.47**	21.93**	266.72	0.023**
Error	12	0.80	1.47	160.58	0.003
R ²		0.92	0.87	0.52	0.82

* P<0.05

** P<0.01

Cuadro 2b. Cuadrados Medios para las variables: Digestibilidad de la Materia Seca (DMS), Digestibilidad Verdadera de la Energía (DVE), Digestibilidad Verdadera de la Proteína (DVP) y Energía Metabolizable Verdadera Corregida por Nitrógeno (EMVn) del Experimento 2.

O.V.	G.L.	DMS	DVE	DVP	EMVn
Jaula	4	4.70	3.35	254.48	0.005
Período	4	5.73	4.98	303.45	0.007
Tratamiento	4	81.51**	118.88**	2850.25**	0.147**
Error	11	4.14	2.58	99.98	0.003
R ²		0.89	0.95	0.93	0.95

* P<0.05

** P<0.01

Cuadro 3b. Cuadrados Medios para la variable Digestibilidad Verdadera de Aminoácidos del Experimento 2.

O.V.	G.L.	ácido aspártico	treonina	serina	ácido glutámico	prolina	alanina	cisteina	valina
Jaula	4	44.25	86.09	26.90	11.79	18.88	33.27	124.82	68.45
Período	4	70.98	138.01	47.00	12.90	16.75	54.29	414.83	153.61
Tratamiento	4	3665.91**	4987.02**	5774.58**	4589.20**	4846.58**	4599.27**	5269.54**	3750.33**
Error	11	10.20	15.94	16.41	3.80	8.86	4.70	42.97	35.30
R ²		0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98

* P<0.05

** P<0.01

Cuadro 4b. Cuadrados Medios para la variable Digestibilidad Verdadera de Aminoácidos del Experimento 2.

O.V.	G.L.	metionina	isoleucina	leucina	tirosina	fenilalanina	histidina	lisina	arginina
Jaula	4	75.26	60.98	17.71	75.73	31.86	32.10	132.28	28.36
Período	4	134.65	90.91	19.24	95.23	33.41	103.28	454.27	52.43
Trata miento	4	3929.14**	3824.44**	4705.78**	6781.26**	4527.63**	4187.34**	2347.27**	2537.68**
Error	11	21.00	32.31	4.17	13.23	6.54	13.58	112.15	15.43
R ²		0.99	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.90	0.98

* P<0.05

** P<0.01