

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD FECAL APARENTE DEL
GRANO DE SORGO BAJO EN TANINO SECO Y MOLIDO Y SORGO BAJO EN
TANINO ENSILADO COMO GRANO HÚMEDO EN CERDOS

por

Bruno TEJERO ESTEFAN

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO
URUGUAY
2018

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. MSc. Roberto Bauzá

Dr. MSc. Sebastián Brambillasca

Ing. Agr. Nelson Barlocco

Fecha: 26 de setiembre de 2018

Autor: -----

Bruno Tejero Estefan

AGRADECIMIENTOS

“Uno recuerda con aprecio a sus buenos docentes, pero con gratitud a aquellos que tocaron nuestros sentimientos.” Carl Gustav Jung

A Roberto, por guiarme, acompañarme y alentarme en este trabajo. Por la generosidad en el compartir el conocimiento, por la disponibilidad y apoyo y por el buen humor, receta infalible frente a las dificultades.

A mi esposa Analía, por estar siempre...

A Josefina y Paulina, razón de mí día a día.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SORGO.....	2
2.2 SORGO EN URUGUAY.....	3
2.3 TIPOS DE SORGO.....	4
2.4 . COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	5
2.4.1 <u>El grano</u>	5
2.4.2 <u>Pericarpio</u>	5
2.4.3 <u>Testa</u>	6
2.4.4 <u>Endosperma</u>	6
2.5 APORTE EN NUTRIENTES.....	8
2.5.1 <u>Valor proteico</u>	9
2.5.2 <u>Valor energético</u>	11
2.6 TANINOS.....	12
2.7 DIGESTIBILIDAD.....	14

2.7.1 <u>Procesamiento para la mejora de la digestibilidad</u>	14
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	20
3.1 LOCALIZACIÓN.....	20
3.2 TRATAMIENTOS.....	20
3.3 ANIMALES.....	20
3.4 ALOJAMIENTO.....	20
3.5 MANEJO.....	21
3.6 ALIMENTOS.....	22
3.6.1 <u>Composición química de los alimentos utilizados</u>	22
3.7 CÁLCULOS REALIZADOS Y PARÁMETROS DETERMINADOS..	23
3.7.1 <u>Diseño estadístico</u>	23
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	24
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS ALIMENTOS EVALUADOS.....	24
4.2 DIGESTIBILIDAD.....	25
5. <u>CONCLUSIONES</u>	27
6. <u>RESUMEN</u>	28
7. <u>SUMMARY</u>	29
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	30

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Composición química del grano de sorgo y sus partes anatómicas	8
2. Composición típica de aminoácidos de granos de sorgo y maíz.....	10
3. Composición química de los alimentos utilizados	22
4. Digestibilidad fecal aparente por fracción	25

Figura No.	
1. Estructura del grano de sorgo	7
2. Proteínas recubriendo los gránulos de almidón.....	11
3. Jaula de digestibilidad	21

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se ha estudiado con mayor profundidad la incorporación a la dieta animal de granos que anteriormente no figuraban en los primeros lugares en la alimentación animal, tal es el caso del grano de sorgo.

Debido a los cambios en la forma de obtención de energías renovables (biocombustibles) las cuales han incorporado granos que tradicionalmente se destinaban al consumo animal, así como la propia demanda de consumo humano por éstos (trigo y maíz), provoca una alteración en la disponibilidad y costo de los mismos. La exploración de sustitutos económicamente rentables hace pensar en granos como el sorgo para su uso de forma más intensa en la formulación de alimentos para animales.

El trabajo tiene como objetivo general evaluar la digestibilidad aparente del grano de sorgo bajo en taninos, molido y procesado como silo de grano húmedo, con relación al grano de maíz, para cerdos en recría.

Los objetivos específicos del mismo son:

-Determinar la digestibilidad fecal aparente de la materia seca, materia orgánica, proteína cruda y energía bruta del grano de sorgo bajo tanino.

-Determinar el aporte en energía digestible y proteína digestible realizado por el sorgo sometido a dos formas de procesamiento: molido y ensilado de grano húmedo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SORGO

A nivel mundial el sorgo ocupa el quinto lugar en importancia económica y en regiones tropicales o semiáridas se considera un cultivo primario debido a su capacidad de crecer y producir en zonas con poca humedad de suelo (Etuk et al.,2012).

Es una gramínea de origen tropical C4, autógena, lo cual no implica la presencia de un pequeño porcentaje de fecundación cruzada.

Desde el punto de vista taxonómico podemos clasificarlo de la siguiente manera.

Orden: Glumiflorales

Familia: Gramínea

Subfamilia: Panicoidea

Tribu: Andropogonae

Género: Sorghum

Especie: Bicolor

Para obtener una buena producción requiere suelos profundos, arcillosos, bien drenados, con alta fertilidad y un pH entre 5.5 y 7.5, obteniéndose producciones en estos contextos que oscilan entre 7 y 9 ton/ha. en regiones donde la humedad no es el factor limitante (Latorre y Calderón, 1998). En Uruguay INIA e INASE en el programa de “evaluación nacional de cultivares de sorgo granífero” han realizado evaluaciones de diferentes cultivares y ciclos encontrándose rendimientos entre 3 ton/ha. hasta 6 ton/ha. para el período 2010/2011, 2011/2012 (INIA, 2011, 2012). En otros países como Colombia el rendimiento está entre 1.5 y 2.5 ton./ha.(Latorre y Calderón, 1998).

Históricamente el cultivo de sorgo se ha realizado en lugares donde las condiciones de estrés hídrico hacen poco redituable la producción de maíz. En condiciones de secano logra buenos resultados promedios de producción rondando la mitad de su producción potencial, situación donde otros cultivos como el maíz no logran alcanzar.

La planta de sorgo ha desarrollado adaptaciones a las condiciones de déficit hídrico y altas temperaturas tales como son la capacidad de dormancia, esto es

permanecer en un estado de bajo crecimiento hasta que se restablezcan las condiciones de humedad del suelo, retomando así su crecimiento. Un sistema radicular abundante, fibroso, se estima que es el doble de su parte aérea, lo cual lo hace muy eficiente para las condiciones mencionadas anteriormente y además presenta una mayor concentración osmótica en relación al maíz. Las hojas del sorgo han desarrollado mecanismos para bajar la transpiración, para ello enrolla la hoja exponiendo una porción menor. También se ha constatado la capacidad de regular el área foliar secando las hojas basales frente a condiciones de estrés como las mencionadas. Por último encontramos una cubierta cerosa en tallos y hojas, lo que contribuye a la preservación del agua en el vegetal. Estas ventajas adaptativas hacen del sorgo una planta que se adapta bien a las condiciones de cultivo en secano como las que se presentan en nuestro país (MAP. CIAAB 1974, Carrasco 1990).

El grano de sorgo puede ser un alimento con un excelente valor nutricional para los cerdos. Se puede incorporar en las raciones en diferentes cantidades pudiendo llegar a reemplazar en su totalidad al maíz (Chicarelli, 2012). Es ligeramente inferior a éste y presenta un menor costo de producción. En investigaciones realizadas en las dos últimas décadas se ha demostrado que el valor energético del grano de sorgo respecto al maíz es del 96% (Tokach et al., 2012). En estudios más recientes donde se ha aplicado un procesado y un correcto balance de aminoácidos digestibles y fósforo disponible, el grano de sorgo tiene un valor alimenticio inclusive superior al 96% del maíz (Goodband y Tokach, 2016).

2.2 SORGO EN URUGUAY

El sorgo es relativamente nuevo en el país como cultivo granífero, presentando buen potencial de desarrollo en nuestras condiciones dada su rusticidad y potencial de rendimiento en secano superior al resto de los cultivos de verano. El sorgo se cultiva para utilizar en alimentación animal o para la elaboración de biocombustible. También se lo cultiva para ser utilizado como silo de grano húmedo con destino a la alimentación de bovinos (Methol, 2013).

Las proyecciones que realizan organismos como FAO, CEPAL, OCDE en referencia al precio de los cereales estiman que habrá ciclos de estacionalidad en referencia a los precios seguidos por ciclos de volatilidad de los mismos (Methol, 2012).

A partir de la inauguración en octubre de 2014 de una nueva planta de destilería en Paysandú, ALUR comenzó a demandar grano de sorgo para la producción de etanol carburante, como complemento de la producción de este biocombustible a partir de caña

de azúcar en la planta de Bella Unión, transformándose en un demandante relevante de este grano (Methol, 2016).

La cosecha total de sorgo para la zafra 2015/16 fue de 234 mil toneladas, de las cuales ALUR demandó unas 85 mil toneladas de sorgo, lo que en superficie de siembra equivale a unas 26 mil hectáreas (Methol, 2016).

Tradicionalmente la estimación realizada por MGAP. OPYPA de la producción de sorgo se refería a la cosecha de grano seco comercializable, pero actualmente se ha agregado a éste el aporte que realiza el silo de grano húmedo de sorgo, en virtud de la importancia creciente que ha adquirido en los últimos años. Según MGAP. OPYPA para la zafra 2015/16 se estimó en 282 mil toneladas la producción de sorgo en forma de silo de grano húmedo (corregida la humedad del grano a 14%, similar al grano seco, Methol, 2016).

La producción conjunta de sorgo (grano seco y húmedo) para la zafra 2015/16 sería similar o incluso superior a la del año anterior (520 mil toneladas) ya que el aumento en la producción de silo de grano húmedo compensaría la disminución del grano seco.

2.3 TIPOS DE SORGO

En la actualidad se han desarrollado una gran cantidad de materiales genéticos y cultivares con diversos propósitos como resistencia a enfermedades y plagas o con el fin de aumentar la producción o las bondades del grano. El color del grano puede ir desde matices de blanco, pasando por el rosado, anaranjado, rojo y marrón. Dicho color está determinado entre otras cosas por el espesor del pericarpio, la presencia o no de testa, el color del endosperma y dos genes (intensificador y difusor) que intervienen en el color del grano (Porter, 1995).

Los últimos estudios realizados sostienen que es poca la correlación que existe entre el color del grano y su valor nutritivo (Sullivan y Douglas, citados por Porter, 1995). De acuerdo a lo expresado por Porter (1995) la presencia de testa es determinante en la presencia de taninos condensados, es decir si la testa está presente el grano tendrá taninos y sorgos con altos contenidos de taninos no son deseables ya que se ha comprobado un efecto depresivo sobre el crecimiento de los animales.

Los sorgos con bajo tanino se caracterizan por su mayor valor nutritivo, estimándose por Louis et al. (1991) un 95% del aporte con respecto al maíz. En cerdas gestantes o lactantes, estos autores no encontraron diferencias en la utilización digestiva de la materia seca y la energía entre sorgo de bajo tanino y maíz. Se mantienen sin embargo diferencias en la utilización de la proteína, que asocian a la estructura de la

kafirina y la menor biodisponibilidad de los aminoácidos de la proteína del sorgo (Louis et al., 1991). Por su parte Cousins et al. (1981) no encontraron diferencias en el valor nutritivo entre el sorgo bajo tanino y el maíz, siendo ambos netamente superiores a los sorgos con alto contenido de taninos. A la misma conclusión llegan Macías et al. (2012) cuando comparan los valores de digestibilidad ileal aparente de sorgo rojo de bajo tanino cultivado en Cuba con el maíz. De acuerdo con Martínez et al. (2012) la sustitución de hasta el 30% del maíz de la dieta de cerdos en recría por sorgo rojo de bajo tanino no tiene efecto sobre la utilización digestiva a nivel ileal de la materia seca, materia orgánica, energía y proteína.

Myer et al. (1986) observaron que el sorgo bajo en tanino tiene un valor nutritivo mayor al sorgo alto en tanino. Sin embargo los autores hacen notar que dada la gran variabilidad en las concentraciones de taninos en los sorgos considerados “altos en taninos” las diferencias, si bien consistentes, son cuantitativamente muy variables.

2.4 . COMPOSICIÓN QUÍMICA

2.4.1 El grano

El sorgo es un grano que se agrupa dentro de los llamados concentrados energéticos. El contenido de paredes celulares del grano de sorgo es relativamente bajo y poco lignificadas, con un contenido de fibra detergente ácido (F.D.A) del orden del 4% y de fibra detergente neutro (F.D.N) del orden del 8% (FEDNA, 2010).

Como todos los granos, el sorgo posee una cubierta externa rígida denominada pericarpio, que representa el 6% del grano. En el interior encontramos el embrión que ocupa un 10 % y rodeando a éste, el tejido de almacenamiento o endosperma que representa un 84% aproximadamente del peso seco del grano (Porter, 1995).

2.4.2 Pericarpio

Podemos subdividirlo en epicarpio, mesocarpio y endocarpio. El epicarpio es la capa más externa y está compuesta por dos o tres capas de células. El mesocarpio situado por debajo puede variar su espesor, dependiendo de la cantidad de almidón que acumule. La parte más interna corresponde al endocarpio y es el principal punto de ruptura cuando se somete el grano a la molienda (Domanski et al., 1997).

2.4.3 Testa

Debajo del pericarpio se encuentra una capa muy pigmentada denominada testa. Cuando la testa está presente encontramos alojados en ella a la mayoría de los taninos condensados, responsables de los efectos antinutricionales que más adelante se profundizarán (Domanski et al., 1997). Si la testa está ausente el sorgo no tendrá taninos, independientemente del color del grano (Porter, 1995).

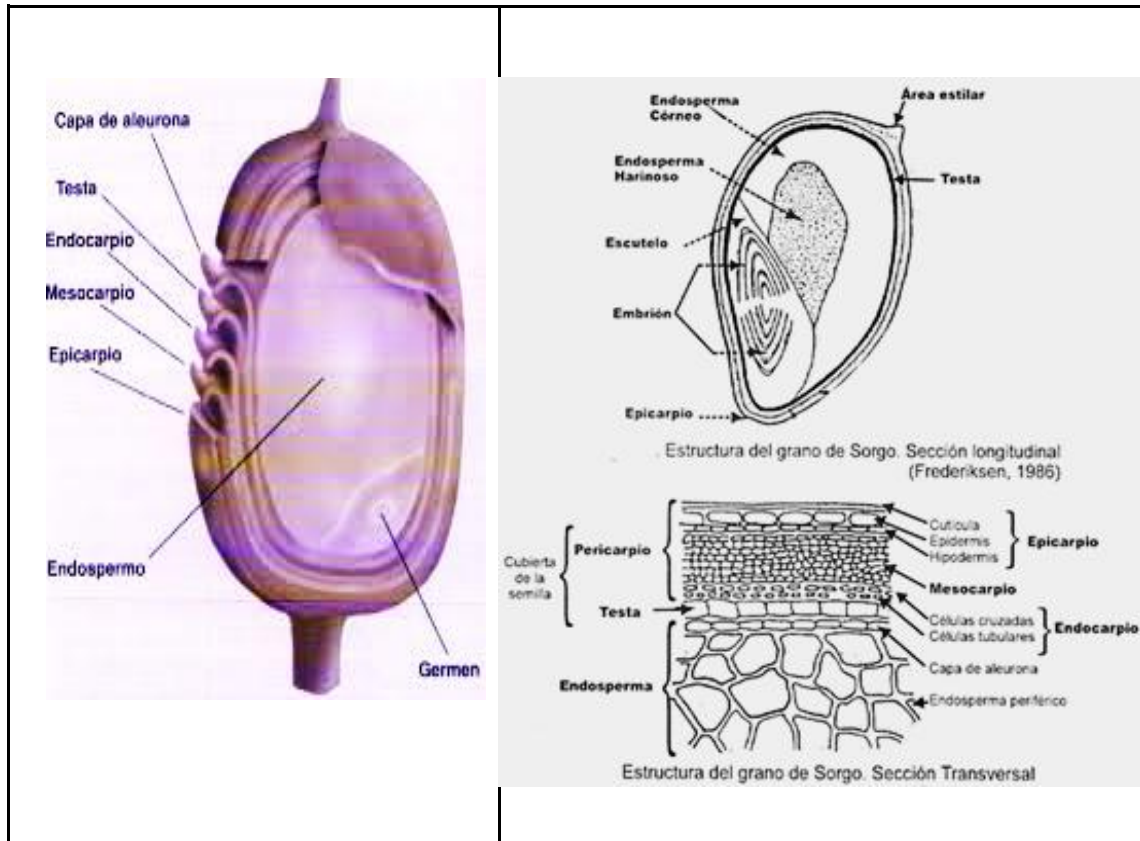
2.4.4 Endosperma

El endosperma representa cerca del 84% del grano (Porter, 1995). Contiene cerca del 82% del almidón y su aprovechamiento depende de la textura y tipo de endosperma (Domanski et al., 1997).

Dentro de los tipos de endosperma, el normal o no ceroso tiene 75 % de amilopectina y 25 % de amilosa, dándole una estructura tipo vítrea, mientras que el endosperma ceroso tiene casi 100 % de amilopectina (Domanski et al., 1997). Estos últimos son más digestibles, como consecuencia de que las moléculas de amilopectina, más grandes y ramificadas, resultan más susceptibles a la ruptura de los enlaces entre las cadenas de glucosa cuando el grano se fractura. A su vez la amilopectina es soluble en agua mientras que la amilosa no, por lo que de forma genérica es posible afirmar que la digestibilidad del almidón es inversamente proporcional al contenido de amilosa.

Por otra parte, la textura del endosperma se refiere a la proporción relativa entre la parte córnea y la parte harinosa del mismo. En la fracción córnea, la proteína y el almidón se encuentran fuertemente ligados mientras que la fracción harinosa no presenta matriz proteica.

Figura No.1. Estructura del grano de sorgo



Fuente: adaptado de Domanski et al. (1997).

Cuadro No. 1. Composición química del grano de sorgo y sus partes anatómicas

Componente	Grano entero %	Endosperma %	Embrión %	Pericarpio %
Grano entero	100	84.2	9.4	6.5
Rango	---	81.7-86.5	8.0-10.9	4.3-8.7
Proteína	12.3	10.5	18.4	6.0
Rango	11.5-12.3	8.7-13.0	17.8-19.2	5.2-7.6
Proteína total	100	80.9	14.9	4.0
Grasa	3.6	0.6	28.1	4.9
Rango	---	0.4-0.8	26.9-30.6	3.7-6.0
Grasa total	100	13.2	76.2	10.6
Almidón	73.8	82.5	13.4	34.6
Rango	72.3-75.1	81.3-83.0	---	---
Almidón total	100	94.4	1.8	3.8
Cenizas	1.6	0.4	10.4	2.0
Rango	1.6-1.7	0.3-0.4	---	---
Cenizas totales	100	20.6	68.6	10.8

Fuente: Porter (1995).

Las diferencias existentes entre los híbridos de sorgo, indican que el aporte nutritivo del grano es altamente dependiente del genotipo, razón por la cual un valor estándar de la composición o de la calidad nutritiva de este grano puede subestimar o sobreestimar su valor alimenticio real (Caorsi y Olivera, 2005). Otro factor que afecta la composición del grano es el ambiente donde se desarrolló, bajo condiciones de estrés hídrico habrá una mayor proporción de embrión en relación al endosperma (Porter, 1995).

2.5 APORTE EN NUTRIENTES

El valor nutricional de los alimentos es determinado por su composición en nutrientes esenciales y por la digestibilidad y disponibilidad de los mismos para los animales (Araiza-Piña et al., 2003). Entre los diversos factores que afectan el valor nutritivo del sorgo está el tipo de endosperma y su textura, el almidón y la proteína digestible, la presencia de taninos condensados, el ambiente en los cuales ha crecido y los métodos de procesamiento del grano previo a su consumo (Porter, 1995).

El grano de sorgo es considerado ligeramente inferior al maíz desde el punto de vista nutricional, estableciéndose un valor energético del 95 al 98% respecto al mismo (Porter, 1995). Esto es debido a un menor contenido de lípidos, así como una menor digestibilidad de los carbohidratos y de la proteína, lo que trae aparejado una incidencia negativa en la velocidad de crecimiento del animal y un menor índice de conversión. Parte de esto es atribuible a la presencia de taninos condensados, aspecto que se desarrollará con más profundidad en el siguiente punto pero, en síntesis, niveles superiores a 0.28- 0.30% en la dieta afectan la digestibilidad del alimento (D'alejandro et al., 1997). Sin embargo la gran variabilidad entre cultivares de sorgo en el contenido en taninos hace difícil tener conclusiones generales sobre el aporte energético y proteico de cada variedad (Moreira et al., 2013).

El contenido de vitaminas es similar entre el maíz y el sorgo, pero este último posee una concentración superior de la mayoría de los minerales, particularmente fósforo (Porter, 1995).

2.5.1 Valor proteico

Para los monogástricos el sorgo es considerado principalmente una fuente de energía, pero también se tiene en cuenta la calidad y cantidad de sus proteínas, ya que las dietas basadas en este cereal pueden suplir hasta la mitad de la proteína requerida por los cerdos en crecimiento (Porter, 1995).

El contenido de proteína cruda (P.C) del sorgo es muy similar o ligeramente superior al maíz, del orden de 9.5 - 12.3 % según distintos autores (Porter 1995, Araiza-Piña et al. 2003, FEDNA 2010, Moreira et al. 2013).

Entre las proteínas características de los granos encontramos las prolaminas, que son un grupo de proteínas con gran contenido de prolina, que recubren los gránulos de almidón haciendo más difícil la interacción con los agentes digestivos. En el caso del sorgo, la prolamina se denomina kafirina y representa el 54% de la fracción proteica. Se trata de una proteína de baja digestibilidad, especialmente para los animales monogástricos, asociado a su baja solubilidad, aun en las variedades de bajo tanino. La β y γ - kafirina se caracterizan por contener importante cantidad de cisteínas, que forman enlaces disulfuros, de baja digestibilidad (Nyannor et al., 2007). También encontramos glutelina, 34.4%, globulinas, 7.1% y albúminas, 5.7% (FEDNA, 2010).

La proteína del sorgo contiene más triptófano, valina, treonina, isoleucina y leucina que la del maíz (NRC 1998, INRA 2004). Asimismo estudios realizados por Eckert y Allee (1974), Ward y Southern (1995) demuestran que el primer aminoácido limitante en la proteína del sorgo es la lisina, siendo la treonina el segundo limitante y la

metionina el tercero, a diferencia del maíz donde el tercer limitante es el triptófano (Cuadro No. 2).

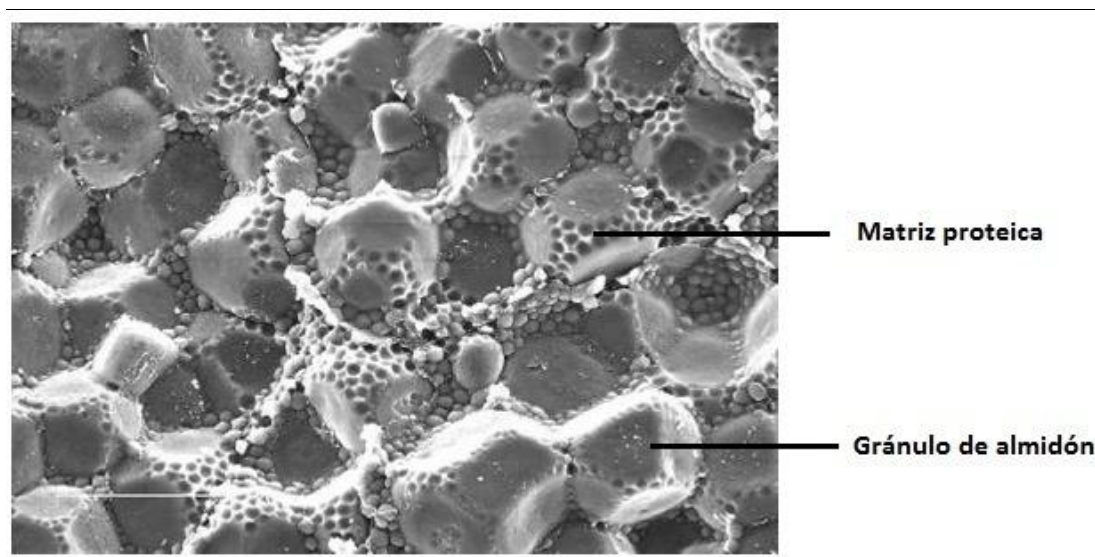
Cuadro No. 2. Composición típica de aminoácidos de granos de sorgo y maíz

Total de aminoácidos (% en base seca)	Sorgo	Maíz
Lisina	0,22	0,26
Isoleucina	0,37	0,28
Leucina	1,21	0,99
Metionina	0,17	0,17
Cisteína	0,17	0,19
Treonina	0,31	0,29
Triptófano	0,10	0,06
Valina	0,46	0,39

Fuente: INRA (2004).

Ward y Southern (1995) señalan que no solo el balance en aminoácidos hace la diferencia entre el valor nutritivo de las proteínas del sorgo y el maíz, ya que la suplementación de dietas con aminoácidos sintéticos a niveles similares no permite obtener performances equivalentes entre ambos alimentos estando el sorgo por debajo en la respuesta animal, hecho que los autores atribuyen al resultado de la interferencia en la digestibilidad, debido al efecto de los taninos u otro factor asociado a la proteína del sorgo.

Figura No. 2. Proteínas recubriendo los gránulos de almidón



Fuente: Fiol (2011).

2.5.2 Valor energético

El contenido energético del grano de sorgo es menor al del maíz, fundamentalmente debido a su menor contenido de lípidos (Tokach et al., 2012). Para maximizar el valor energético del sorgo es importante el procesamiento realizado para reducir el tamaño de las partículas, especialmente de su núcleo duro. El NRC (1998) estima que el sorgo tiene un contenido en energía metabolizable (EM) de 1,533 Mcal/kg, con respecto a 1,551 en el maíz.

Existe un importante efecto del contenido de taninos sobre el valor energético del sorgo. Grosjean y Castaing (1984) estimaron para los sorgos utilizados en Francia un valor energético equivalente al 92% del maíz, en los cultivares de contenido medio de taninos (1.0 %), no existiendo diferencias con el maíz para las variedades de bajo tanino, mientras que en las variedades de alto tanino su valor es marcadamente inferior. Por su parte D'Alessandro et al. (1997) coinciden en señalar una disminución del aporte energético, particularmente de energía metabolizable del sorgo a medida que aumenta su contenido en taninos, debido al efecto negativo de éstos sobre la utilización de la proteína, que implica una mayor pérdida energética por la excreción del nitrógeno.

2.6 TANINOS

En la naturaleza y dentro de los alimentos utilizados en los sistemas de producción de diferentes regiones del mundo, existen macromoléculas complejas capaces de interferir en los procesos digestivos afectando el consumo, el crecimiento y hasta el valor nutritivo de los mismos. Un grupo de estas moléculas, conocidas genéricamente con el nombre de taninos, pueden presentarse en el grano de sorgo (Caorsi y Olivera, 2005).

Son numerosos los estudios que demuestran el efecto negativo que causan los taninos en las dietas para animales especialmente en no rumiantes (aves y cerdos) sobre la ganancia de peso.

El término “tanino” en sus orígenes fue utilizado para catalogar un grupo de sustancias que presentan propiedades relacionadas con el curtido de cueros, formando fuertes uniones con las proteínas de la piel de los animales.

Los taninos se definen en general como moléculas de polifenoles que tienen la propiedad de precipitar las proteínas.

El sorgo es el único cereal capaz de sintetizar cantidades importantes de taninos condensados (FEDNA, 2010).

En el sorgo, cuyo grano no presenta una protección externa como puede ser la chala en el caso del maíz o las glumas en el trigo, los taninos son una defensa química contra el crecimiento de bacterias y hongos que causan la pudrición del grano, resistencia a pájaros e insectos, e inhibiciones de ciertas enzimas animales (Buttler, citado por Latorre y Calderón, 1998).

El contenido de taninos de los sorgos es una característica de la variedad. Reichert, citado por Caorsi y Olivera (2005) observa que los taninos en el grano de sorgo se encuentran en un 81.6 % en la testa, 15.1 % en el pericarpio y 3.3 % en endosperma y germen.

En los sorgos el contenido de taninos varía en un rango considerable que va de 0,1% a 10 % de acuerdo a la variedad (Fekete y Casting 1987, Russell et al., citados por Caorsi y Olivera 2005).

Existen dos tipos de taninos, los hidrolizables (TH) y los condensados (TC), siendo éstos últimos los que poseen mayor capacidad de interactuar con otras moléculas afectando a la producción animal.

Todos los sorgos graníferos (independientemente de su color), poseen sustancias tánicas hidrolizables (ácido gálico y ácido elágico) como constituyentes de

sus granos (Caorsi y Olivera, 2005), pero sólo los sorgos con cubierta seminal (testa) pigmentada, poseen taninos condensados (catequinas, flavonoides, y leucocianinas).

Los taninos hidrolizables son hidrolizados por ácidos o bases débiles produciendo carbohidratos y ácido fenólico, mientras que bajo las mismas condiciones las uniones c-c de los taninos condensados no son hidrolizados (Latorre y Calderón, 1998). De lo dicho se desprende que los taninos condensados son los que efectivamente representan un problema en la dieta animal.

Dentro de los híbridos taninosos el contenido de tanino varía de acuerdo al grosor de la testa, la que puede ir de 8 a 40 μm de espesor. Se clasifican como bajo tanino (entre 0,0 y 0,4%), contenido medio (0,4 y 1,0 %) y alto tanino (1,0 a 10%). Las variedades con alto tanino están en vías de desaparición en muchas partes del mundo, siendo más comunes las que poseen entre 0,0 y 0,4 % (Fekete y Castaing 1987, FEDNA 2010).

Estas sustancias están compuestas por polímeros de unidades de catequina unidas por enlaces débiles de c-c, y son capaces de unirse y precipitar proteína en medio acuoso.

Los taninos forman complejos insolubles con las proteínas, almidones, celulosas y minerales, afectando negativamente la utilización digestiva de estos nutrientes y como consecuencia la energía metabolizable.

La formación del complejo tanino-proteína es el responsable del bajo nivel de crecimiento, baja palatabilidad por su sabor astringente, baja digestibilidad de la proteína con disminución de aminoácidos aprovechados e incremento del nitrógeno excretado. La interacción tanino proteína es específica y depende de la estructura de ambos compuestos. Las uniones tanino-proteína se ven favorecidas por el alto peso molecular, estructuras flexibles y abiertas, ricas en prolina y alta movilidad conformacional (Latorre y Calderón, 1998).

Los taninos condensados inhiben la acción de las enzimas pancreáticas (amilasa, lipasa, tripsina), causando una disminución del 10 al 30 % en la eficiencia alimentaria, en comparación con los sorgos que no poseen estos compuestos (Maksinchuk, 2004). Interfieren con la digestión normal, formando complejos con las proteínas endógenas reduciendo la digestibilidad aparente de los aminoácidos (Porter 1995, Latorre y Calderón 1998, Chicarelli 2012). Esta conclusión está avalada por los resultados de Cousins et al. (1981) quienes observaron un aumento en la excreción de proteína de origen endógeno, que se refleja en una disminución de la digestibilidad de los aminoácidos prolina y glicina.

A su vez los almidones tienen la capacidad de formar cavidades que permiten formar complejos con los taninos (Latorre y Calderón, 1998).

Los taninos no solamente afectan la calidad de los alimentos sino que también causan toxicidad. Se observó que a mayor contenido de taninos condensados además de bajar la digestibilidad de la proteína esto se ve acompañado por grandes secreciones de fluidos a nivel del tracto digestivo, para contrarrestar los efectos tóxicos, lo que a su vez redundo en niveles más altos de nitrógeno excretado (Makkar et al., citados por Latorre y Calderón, 1998).

2.7 DIGESTIBILIDAD

La digestibilidad de la materia seca y materia orgánica del sorgo disminuye al aumentar la concentración de taninos. Kemm y Brand (1996) citan valores de digestibilidad de la materia orgánica entre 88,5 y 76,6% para sorgos de bajo y alto tanino respectivamente. Esto es debido a la formación de complejos tanino-proteína y tanino-carbohidratos, que afectan la actividad de las enzimas pancreáticas. Con concentraciones entre 0,3 y 0,7% de taninos la reducción es leve, pero por encima de 1% es significativa la respuesta en cerdos jóvenes (Fekete y Castaint 1987, Kemm y Brand 1996, D'Alessandro et al. 1997, Barros et al. 2012). Se debe tener en cuenta que el 93% de la digestión de la materia orgánica del sorgo se produce en el intestino delgado (Liu et al., 2013).

Otro factor que afecta directamente la digestibilidad ileal aparente de la materia seca, almidón, energía bruta y nitrógeno es el tamaño de partícula, mejorando significativamente a medida que se reduce el tamaño de ésta de 3,57 a 2,36 mm (Owsley et al., 1981). Los autores concluyen que el efecto más importante de la reducción del tamaño de partícula sobre el valor nutritivo del sorgo se asocia a una mejor digestibilidad de la energía, ya que el valor proteico es poco modificado, al no variar la biodisponibilidad del primer aminoácido limitante.

2.7.1 Procesamiento para la mejora de la digestibilidad

El grano de sorgo presenta un núcleo pequeño y muy duro con respecto al maíz, por lo que la molienda del mismo, aumentando su área de exposición a las enzimas, tiene un efecto positivo para la digestión por el cerdo (Tokach et al. 2012, Liu et al. 2013).

El almidón en el endosperma del grano de sorgo está rodeado de una capa que resiste tanto la digestión física como enzimática; y además los granos de este almidón están embebidos en una densa matriz de proteína (Figura No. 2).

El procesamiento del grano de sorgo a través de diferentes métodos es una herramienta valiosa para mejorar el aprovechamiento eficiente del grano y su energía contenida. Hill, citado por Caorsi y Olivera (2005), afirma que los métodos de procesamiento tales como molido o pisado del grano seco, descascarado por vapor, y reconstitución o cosecha temprana y ensilado, seguido por molido o pisado previo a ser suministrado, han mejorado la digestibilidad del grano de sorgo alterando la matriz proteica alrededor de los gránulos de almidón .

La mayoría de los métodos de procesamiento buscan exponer el contenido interior del grano a los agentes digestivos, y modificar la velocidad de consumo de los granos. Ambos objetivos se alcanzan alterando la forma del alimento, provocando la gelatinización del almidón, aumentando la palatabilidad de los granos y/o modificando el tamaño de partícula mediante ruptura del grano por aplastado mecánico, molido, quebrado, haciendo uso del calor, etc. (Caorsi y Olivera, 2005).

En la medida en que más pequeño es el tamaño de partícula mayor es la exposición del almidón y proteínas del grano a las enzimas digestivas, pero se ha comprobado que para suinos el tamaño óptimo de partícula ronda las 500 a 700 micras (Porter 1995, Chicarelli 2012).

2.7.1.1 Molienda del grano seco

Es el método más común y menos costoso de procesamiento. Consiste en reducir el tamaño del grano generando partículas más pequeñas. Para esto se utiliza molino a martillos o rodillos.

En la molienda con rodillos (arrollado, aplastado en Uruguay), la cantidad de semilla que escapa a la molienda y el tamaño de las partículas dependerá de la velocidad de flujo de los granos, de la luz entre los rodillos y del corrugado de los mismos (Caorsi y Olivera, 2005).

Según Caorsi y Olivera (2005) en las moliendas, (especialmente con molinos a martillo), debe evitarse la generación de partículas muy chicas ya que los granos muy molidos son poco palatables y el polvillo representa una pérdida de nutrientes.

Se observa que a medida que se reduce el tamaño de partícula, se obtiene una respuesta cuadrática en la eficiencia alimenticia de cerdos destetados y en recría, con un tamaño óptimo de 500 a 700 micras (Kemmer y Brand 1996, Chicarelli 2012, Tokach et al. 2012). Sin embargo, con tamaños de partícula inferiores a las 400 micras se corre el riesgo de que aparezcan úlceras gástricas (Chicarelli 2012, Liu et al. 2013).

2.7.1.2 Silo grano húmedo

Los ensilajes de grano húmedo son una alternativa de conservación de alimentos en fresco por un tiempo determinado, para su posterior uso. Son técnicas que permiten transferir el alimento de épocas de alto potencial de producción a otras de menor potencial (Scarpitta, 2008). Consiste en cosechar el grano con una humedad comprendida entre 23 y 40% y conservarlo sin previo secado en condiciones de anaerobiosis de manera que se produzca una fermentación generando un pH entre 4 y 4,5 lo que asegura que el material no pierda su valor nutritivo (Chalking y Brasesco, 2003).

La conservación de grano húmedo a través del ensilado es una alternativa que ofrece buenas ventajas para la utilización de éste como concentrado.

Para lograr buenos resultados es necesario aplicar la técnica correcta teniendo en cuenta el momento de la cosecha, la conservación, el proceso de ensilado, forma de utilización y el rendimiento del cultivo, que en el caso del silo de grano húmedo de sorgo es de entre 4 y 5 toneladas por hectárea promedio (Chalking y Brasesco 2003, Rovira y Velazco 2012).

a) Cosecha

Es importante identificar el momento correcto para hacer la cosecha del grano con destino a silo de grano húmedo. Este momento es lo que se denomina madurez fisiológica del grano y ocurre antes de la madurez comercial. En la madurez fisiológica el grano tiene el máximo de peso seco con la cantidad más elevada de nitrógeno y azúcar total. Es en este punto donde se interrumpe la comunicación vascular entre la planta y el grano teniendo éste una humedad del 35 % aproximadamente (Chalking y Brasesco, 2003). Debido a que a nivel de campo no es fácil identificar este momento, la madurez del grano se hace visible cuando los tejidos vasculares han cicatrizado y se observa el punto negro en la inserción del grano con una humedad entre el 28 a 35% (Carrasco 1990, Bennetty Tucker, citados por Chalking y Brasesco 2003). Como señalan estos autores, cosechar antes de la madurez fisiológica implica una pérdida de rendimiento y por consecuencia de nutrientes ya que el grano aún no ha finalizado su llenado. En contrapartida, la cosecha pasada este punto de madurez fisiológica puede implicar menor calidad del grano, al disminuir el contenido de proteínas y la calidad de los almidones. También se suman pérdidas por la cosechadora por estar más seco el material y pérdidas ocasionadas por el ambiente como pueden ser los pájaros o el clima. Si el contenido del grano es inferior a 22 % no es aconsejable realizar silo húmedo porque no se producirá la fermentación.

b) Proceso de ensilaje

Para producir un ensilaje de buena calidad es esencial partir de un material de buena calidad. En el proceso de ensilaje es importante cerciorarse que los rodillos del molino quiebren el grano, evitando el pasaje de granos enteros a la bolsa que luego no son utilizados por los animales ya que no los pueden digerir. Según Montiel y Depetris (2007) este quebrado del grano en el ensilado provoca que la matriz proteica que rodea los gránulos de almidón (Figura No. 2) se encuentre en forma discontinua y no constituya una barrera para el ataque enzimático. Por otra parte en el proceso de fermentación se producen hidrólisis de los taninos condensados, reduciendo su capacidad de fijar proteínas (Myer et al., 1986).

Desde el punto de vista del valor nutritivo, el almidón de los ensilados de grano húmedo tiene mayor digestibilidad que el del grano seco, dada por la mayor accesibilidad de las enzimas a los gránulos. Esto se debe a que a estos contenidos de humedad el almidón se encuentra en un estado amorfo, que lo convierte en altamente digestible (Montiel y Depetris, 2007).

Como consecuencia se mejora la digestibilidad de la proteína y del almidón, obteniendo mayor respuesta en el caso de los sorgos con alto tanino (Knabe y Tanksley 1982, Myer et al. 1986, Patricio et al. 2006). Por lo dicho, algunos autores mencionan que el sorgo ensilado como grano húmedo puede sustituir totalmente al maíz de la dieta para cerdos en recría-terminación.

Según Rovira y Velazco (2012) el grano de sorgo tiene el potencial para producir un excelente ensilaje ya que dispone de suficiente cantidad de azúcares simples que son utilizados como sustrato por las bacterias anaeróbicas para la producción principal de ácido láctico, y en menor cantidad acético, responsables fundamentales de una buena fermentación. Además, el sorgo, contiene niveles bajos de proteína cruda (7-9%), nutriente que en altas concentraciones actúa entorpeciendo el rápido descenso del pH, como sucede en los ensilajes provenientes de leguminosas, que tienen valores de 18 a 20% de proteína cruda. Al generarse éstos ácidos, el pH del material baja a un nivel de 4,2 que inhibe a los microorganismos que inducen la putrefacción, y se producen los procesos para la conservación deseada.

Chalking y Brasesco (2003) distinguen cuatro etapas o fases en el proceso de ensilado, una vez que el material fresco ha sido almacenado, compactado y cubierto para excluir el aire.

Etapa 1 (aeróbica)

El material es atacado por microorganismos, dando lugar a procesos de respiración del grano, con utilización de carbohidratos. Por lo tanto cuanto menor sea el intervalo cosecha-ensilaje y mejor sea la compactación, menor será la pérdida de

nutrientes por respiración y las bacterias lácticas tendrán más sustrato para actuar, posibilitando así una mejor conservación. El síntoma evidente en granos que están expuestos a muchas horas entre cosecha y embolsado, es su calentamiento. En esta etapa el pH es de 6,0 a 6,5.

Etapa 2 (fermentación)

Requiere un medio con ausencia de oxígeno, con azúcares solubles, humedad, y una población adecuada de microorganismos que produzcan el máximo posible de ácido láctico. La fermentación comienza a producirse en un ambiente anaerobio y dura de varios días hasta semanas, dependiendo del material y las condiciones en el momento del ensilaje. Si la fermentación se desarrolla con éxito, la actividad de las bacterias ácido lácticas proliferan y se convertirán en la población predominante, y por la producción de los ácidos grasos volátiles el pH bajará a valores entre 3,8 a 4,5 (Romero et al., citados por Chalking y Brasesco, 2003).

Un proceso correcto de fermentación produce la hidrólisis de los polímeros de taninos, reduciendo el contenido de taninos condensados y por lo tanto su capacidad de fijar las proteínas (Myers et al., 1986) por lo que mejora la digestibilidad en cerdos. Estos autores observan mejoras significativas en la digestibilidad de la proteína, pero sin cambios en la digestibilidad de la materia seca y energía, en sorgos ensilados con alta humedad o sorgos reconstituidos y ensilados. En los de alto tanino, según Myers et al. (1986) la digestibilidad de la proteína mejora un 13%, mientras que en los de bajo tanino la respuesta fue de 8%.

Si por el contrario existe aire dentro de la bolsa, ya sea por mala compactación del material y/o roturas de la bolsa, se promueve la multiplicación de aquellas bacterias que crecen en presencia de oxígeno, así como hongos y levaduras, que causan el deterioro de la calidad del grano conservado, ya que promueven procesos y fermentaciones no deseados (Rovira y Velazco, 2012).

Los ácidos grasos volátiles más frecuentes en el ensilaje son: acético, butírico y láctico, y la relación entre ellos determina la calidad de conservación y la aceptabilidad posterior del ensilado por parte de los animales (Romero et al., citados por Chalking y Brasesco, 2003).

El ácido láctico es el más fuerte (a igual cantidad produce mayor acidez), y el preferido para una adecuada conservación; siendo el que se produce y utiliza con mayor eficiencia energética y biológica, lo que permite conservar y hacer disponible para los animales en mayor proporción la energía contenida en el material original a partir del cual fue obtenido (Chalking y Brasesco, 2003).

El ácido acético es de calidad intermedia, no produce tanta acidez, y cuando se acumula en grandes cantidades tiende a afectar negativamente el consumo animal. Su

producción requiere del proceso de de-carboxilación que implica pérdida de materia seca (Chalking y Brasesco, 2003).

El ácido butírico es muy poco acidificante, y su presencia aún en cantidades mínimas da un aspecto “baboso” y fuerte olor a “putrefacción” al ensilaje, lo que puede limitar su aceptabilidad. De hecho la fermentación butírica, conjuntamente con la oxidación por problemas de eliminación del aire y sellado del material son los responsables principales de las pérdidas de ensilajes (Romero et al., citados por Chalking y Brasesco, 2003).

Etapa 3 (estabilización)

Durante esta fase el silo está estabilizado con un pH final bajo que garantiza la conservación del material mientras se mantenga un ambiente sin aire. Es importante tener en cuenta que este pH bajo es un buen indicador de la calidad y tipo de fermentación ocurrida, en el caso del sorgo de grano húmedo, el pH óptimo se encuentra entre 4 y 4.5. En esta fase la mayoría de los microorganismos reducen lentamente su presencia y algunos se mantienen inactivos (Chalking y Brasesco 2003, Scarpitta 2008).

Etapa 4 (deterioro aeróbico)

Comienza con la apertura del silo y la exposición al aire. Si bien es inevitable, puede registrarse antes de iniciar el suministro, por daño de la cobertura del silo (por acción de roedores, pájaros, etc.). El proceso de deterioro según Creenshaw et al. (1986) se inicia en un lapso de 3 días luego de retiradas las condiciones de anaerobiosis y puede dividirse en dos etapas. En la primera ocurre una degradación de los ácidos orgánicos, mediante la acción de levaduras y ocasionalmente de bacterias que producen ácido acético. Esto induce un aumento en el valor del pH, para pasar a la segunda etapa de deterioro. En la segunda se constata un aumento de temperatura y de la actividad de microorganismos que deterioran el ensilaje (bacilos, mohos y bacterias). Estas pérdidas pueden llegar hasta el 50%; por lo tanto un manejo apropiado es vital para reducirlas y mejorar la eficiencia de utilización (Sebastian et al. 1996, Romero et al., citados por Chalking y Brasesco 2003).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN

El ensayo se llevó a cabo en el predio granja de la Facultad de Agronomía, Montevideo (Sayago), en la Estación de Pruebas de Porcinos durante el período comprendido entre el 29 de setiembre y 10 de octubre de 2014.

3.2 TRATAMIENTOS

Se realizó una prueba de digestibilidad fecal aparente donde se evaluaron tres tratamientos.

T1: (testigo): maíz molido.

T2: sorgo bajo tanino grano seco molido.

T3: sorgo bajo tanino ensilado como grano húmedo.

3.3 ANIMALES

Se utilizaron nueve cerdos, cachorros machos castrados, homogéneos en peso, con un promedio de $36,3 \pm 3,2$ kg, provenientes de un establecimiento comercial, los cuales se distribuyeron al azar entre los diferentes tratamientos.

3.4 ALOJAMIENTO

Los animales fueron ubicados en la Estación de Prueba de Porcinos, en una primera instancia se alojaron en lotes en bretes con piso de hormigón, siendo pesados e identificados con caravanas numeradas. Posteriormente, cuando alcanzaron el peso establecido para el inicio de la prueba, se los acondicionó de forma individual en jaulas de digestibilidad (Figura No. 3). Se utilizaron las jaulas convencionales para este tipo de ensayo, que cuentan con un comedero al frente tipo batea donde se deposita el alimento sólido y el cual, por el tipo de diseño minimiza las pérdidas. El agua se suministró mediante un bebedero automático tipo chupete. El piso, de rejilla, cuenta con un sistema

para la recolección de heces consistente en una bandeja retirable y un embudo para la recolección de la orina en un recipiente móvil. El ancho así como el largo de la jaula son graduables, lo que permite adaptarlas al tamaño del animal para garantizar una correcta recolección de las heces y orina evitando contaminación por el mezclado entre ellas.

Figura No. 3. Jaula de digestibilidad



3.5 MANEJO

El periodo experimental se desarrolló durante 12 días, comprendiendo dos etapas. En la etapa de acostumbramiento, de 7 días de duración, se realizaron los ajustes en las jaulas para lograr una adecuada contención de los animales, se definió el nivel de alimentación y se estabilizó el consumo diario de dieta experimental. Durante la etapa de recolección de 5 días de duración se suministró diariamente a cada animal una cantidad de alimento equivalente en MS al 6% de su peso metabólico corporal (PMC), en dos tomas iguales, a las 8:00 y 18:00 hs. Se realizó recolección diaria del total de heces excretadas por cada cerdo, en la mañana, las que fueron pesadas y guardadas en bolsa de nylon, identificadas por animal, y mantenidas congeladas hasta la finalización del período de recolección. Se llevó registro diario por animal de las cantidades de alimento ofrecidas, rechazadas y la excreción de heces. Al finalizar la etapa de recolección, el total de las heces fueron descongeladas, mezcladas en una bandeja única por animal y secadas a 60°C, luego pesadas y molidas, conformando así la muestra para su análisis en el Laboratorio de Nutrición Animal de Facultad de Agronomía.

En muestras de los alimentos suministrados y de las heces se determinó: materia seca (MS) a 105°C, proteína cruda (PC), extracto al éter (EE), fibra detergente neutro (FDN) y cenizas (C); por diferencia se obtiene el contenido de carbohidratos solubles (CHOs) y de materia orgánica (MO). Por cálculo a partir de las concentraciones y los calores de combustión de las fracciones, se estimó la concentración de energía bruta (EB) por kg de MS, mediante la fórmula: $EB \text{ Mcal/kg} = PC * 5,6 + FDN * 4,2 + EE * 9,2 + CHOs * 4,2$.

3.6 ALIMENTOS

El grano de maíz fue adquirido en un comercio de plaza; el grano de sorgo bajo en taninos, fue obtenido de las partidas adquiridas por ALUR para la elaboración de biocombustible y el silo de grano húmedo de sorgo bajo en taninos fue cedido por un productor lechero, de las partidas elaborada para la utilización en su establecimiento.

3.6.1 Composición química de los alimentos utilizados

Cuadro No. 3. Composición química de los alimentos utilizados

	MS% *	C% *	PC% *	FDNmo %*	EE% *	CHOs %**	EB Mcal/kg ***	Taninos %****
T1 maíz molido	100	1,39	10,12	14,67	3,36	71,85	4,51	
	87,92	1,22	8,90	12,90	2,95	63,17	3,96	
T2 sorgo BT. molido	100	0,95	7,59	6,27	4,66	81,48	4,54	0,10
	88,37	0,84	6,71	5,54	4,12	72,00	4,01	
T3 sorgo BT. ensilado	100	1,88	9,33	6,47	2,52	81,68	4,46	0,10
	68,94	1,30	6,43	4,46	1,74	56,31	3,07	

* Análisis realizado en laboratorio de nutrición animal de Facultad de Agronomía.

** Calculado por diferencia de la MS con el resto de las fracciones analíticas.

*** Calculado por la sumatoria de los productos de la concentración de cada fracción por su correspondiente calor de combustión.

**** Análisis realizado en el laboratorio de calidad de granos de INIA-La Estanzuela.

3.7 CÁLCULOS REALIZADOS Y PARÁMETROS DETERMINADOS

A partir de la información de las cantidades de alimento consumidas y de la composición química se estableció la cantidad total y diaria promedio consumida de: MS, PC, FDN, CHOs y EB.

Del mismo modo, a partir de la cantidad de heces excretadas y su composición química se determinó la excreción total y media diaria de las mismas fracciones.

Se realizó el cálculo de digestibilidad fecal aparente (DFA) de las fracciones MS, PC, FDN, CHOs y EB, por animal y promedio por tratamiento (alimento evaluado) mediante la aplicación de la fórmula:

Dig.Ap. % = (cantidad consumida – cantidad excretada en heces)/ cantidad consumida) x 100

Se obtuvo así un dato de digestibilidad de cada fracción por animal y su promedio por tratamiento dio el valor final obtenido en el trabajo para cada una de las dietas.

Mediante cálculo se determinó la concentración en ED de cada uno de las dietas evaluadas.

3.7.1 Diseño estadístico

Parcelas al azar con tres repeticiones por tratamiento. La unidad experimental estuvo constituida por un animal.

El modelo corresponde a una variable aleatoria con distribución normal, con la siguiente fórmula general: $\hat{Y}_i = \mu + A_i + \epsilon_{iat}$, siendo \hat{Y}_i la variable de respuesta; μ la media poblacional; A_i el efecto del *i*ésimo alimento en estudio; ϵ_{iat} el error experimental.

Los resultados fueron analizados estadísticamente mediante prueba F con nivel de precisión del 1 y del 5%, realizando, en los casos de encontrar diferencias significativas, la comparación de medias mediante la prueba de mínimas diferencias significativas (MDS) a los mismos niveles de significación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS ALIMENTOS EVALUADOS

El maíz molido que se empleó en el trabajo representa un tipo estándar de este grano (Cuadro No. 3), con valores de PC del orden del 10,12 %, CHOs 71,8%, E.E 3,36%. Este material ofició de testigo para contrastar el desempeño del sorgo en las diferentes formas.

En cuanto al sorgo, los análisis indican un valor de taninos de 0,10% para ambos casos, lo que lo ubica en un nivel bajo de taninos de acuerdo a lo indicado por Fekete y Castaing (1987). Estos autores clasifican como bajo contenido de tanino entre 0,0 y 0,4%.

El contenido de humedad del silo de grano húmedo fue de 31 % lo que lo ubica dentro del rango aconsejado según Carrasco (1990), Chalking y Brasesco (2003).

Los valores de PC de las muestras de sorgo analizadas están un poco por debajo de los valores de referencias encontrados en la bibliografía, en particular el sorgo molido. Los rangos mencionados son del orden de 9,5 - 12,3 % según autores como Porter (1995), Araiza-Piña et al. (2003), FEDNA (2010), Moreira et al. (2013). El ensilado de grano húmedo se acercó más a este rango, esto puede deberse a varios factores como el año, la variedad, el efecto del ensilado que, como se mencionó, provoca una mayor disponibilidad de la proteína. Si bien el valor de PC es un dato relevante no hay que olvidar el valor biológico de dicha proteína, que en el caso del sorgo, la kafirina, representa el 54% de la fracción proteica, y es una proteína de baja digestibilidad, especialmente para los animales monogástricos (Nyannor et al. 2007, Liu et al. 2013).

El contenido de lípidos, del sorgo molido es levemente superior al del maíz, para este caso, pero se encuentra dentro de los rangos mencionados. Esto puede ser atribuido al efecto año donde situaciones de estrés pueden afectar esta relación así como un efecto de la variedad (Porter 1995, Caorsi y Olivera 2005).

4.2 DIGESTIBILIDAD

Cuadro No. 4. Digestibilidad fecal aparente por fracción

TRATAMIENTO	T1	T2	T3
	MAÍZ	SORGO BT	SILO BT
M.S.	90,27 ± 0,65 A	91,23 ± 1,48 A	93,16 ± 2,16 A
M.O.	90,18 ± 0,66 A	91,09 ± 1,50 A	93,05 ± 2,18 A
P.C.	81,65 ± 1,89 A	72,63 ± 3,92 B	83,55 ± 3,08 A
ENERGÍA	89,74 ± 0,78 A	90,83 ± 1,26 A	92,78 ± 1,94 A
F.D.N	71,93 ± 3,36 A	51,77 ± 8,12 B	66,23 ± 9,43 A

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre alimentos para la digestión fecal aparente (DFA) de la materia seca. No obstante, a nivel de tendencias, el silo de sorgo bajo en tanino fue quien presentó la mayor digestibilidad aparente para la fracción materia seca (M.S) (93,16%) seguido por el grano de sorgo molido bajo en taninos (91,23%) y por último el maíz (90,27%). Estos resultados concuerdan con lo mencionado por Myer et al. (1986), Patricio et al. (2006), Montiel y Depetris (2007), que establecen que la ruptura del grano, así como el posterior proceso de ensilado donde se dan procesos de fermentación, favorecen la digestibilidad del material. Es en estas condiciones donde autores como Chicarelli (2012), mencionan que el sorgo ensilado como grano húmedo puede sustituir totalmente al maíz de la dieta para cerdos en recría-terminación. Para la fracción materia orgánica (M.O) se observa la misma respuesta que para MS con coeficientes de digestibilidad similares.

Para la fracción proteína cruda (PC) la digestibilidad fecal aparente (DFA) fue muy similar entre el silo de grano húmedo y el maíz, donde no se observaron diferencias estadísticamente significativas para ambos tratamientos. Se observó una marcada diferencia en el tratamiento 2 con sorgo molido bajo en taninos. Para este tratamiento el valor de la digestibilidad de la proteína cruda fue de 72,6% siendo significativamente menor desde el punto de vista estadístico. Este resultado concuerda con lo observado por Myer et al. (1986), Louis et al. (1991), Nyannor et al. (2007) quienes lo atribuyen a la estructura de la kafirina y la menor biodisponibilidad de los aminoácidos de la proteína

del sorgo, dado por la presencia de cisteína, que forma enlaces disulfuros de baja digestibilidad. También Liu et al. (2013) plantean que la naturaleza hidrofóbica de la kafirina es otro factor a considerar en la baja digestibilidad. Esto, combinado con el efecto de los taninos condensados y su interferencia en el acceso enzimático (Liu et al., 2013) contribuye a explicar la baja del 10 % entre la digestibilidad del sorgo molido bajo en taninos y los otros dos tratamientos.

A la menor utilización digestiva del grano de sorgo se agrega su menor contenido de proteína cruda (7,59%) en comparación con el maíz (10,12% Cuadro No. 3). Por lo expuesto anteriormente (baja digestibilidad de la proteína cruda y bajo contenido de proteína cruda por parte del grano) se configura un bajo valor de aporte proteico en el grano de sorgo molido bajo en tanino (T.2). Estos resultados nos permiten suponer que si bien el molido del grano favorece la digestión de la proteína, el ensilado favorece un mejor aprovechamiento de la misma.

La digestibilidad de la energía, no presenta diferencias significativas entre los tratamientos, ubicándose en el entorno de 90 - 93%, lo cual es consistente con lo planteado por Grosjean y Castaing (1984) quienes sostienen que no existe diferencias con el maíz para las variedades de bajo tanino. Por su parte Louis et al. (1991) en la misma línea plantean que no se encuentran diferencias en la utilización de la energía entre sorgo de bajo tanino y maíz en cerdas gestantes.

La digestibilidad aparente de la fracción fibra detergente neutro (FDN) no presenta diferencias estadísticamente significativas entre el maíz y el silo de grano húmedo de sorgo. Por el contrario para el grano de sorgo seco molido encontramos diferencias estadísticamente significativas con valores sensiblemente inferiores en comparación con los otros tratamientos observados. Es de destacar como en los casos anteriores, el efecto del proceso de fermentación del ensilado que mejora la digestibilidad de esta fracción en el sorgo.

5. CONCLUSIONES

El silo de grano húmedo de sorgo bajo en tanino presenta mayor digestibilidad fecal aparente de la energía y proteína en comparación con el grano de maíz.

La digestión fecal aparente de la materia seca y materia orgánica del silo de grano húmedo de sorgo bajo en tanino fueron superiores a las obtenidas con el grano de maíz.

El grano de sorgo bajo en tanino molido realizó un aporte energético levemente superior al maíz, pero la digestibilidad de la proteína cruda y fibra detergente neutra fue significativamente inferior.

6. RESUMEN

Se realizó un trabajo con el objetivo de evaluar la digestibilidad fecal aparente en cerdos en recría, del grano de sorgo bajo en taninos, molido y procesado como silo de grano húmedo en relación al grano de maíz. Se utilizaron nueve cerdos machos con un peso promedio de $36,3 \pm 3,2$ Kg. alojados en jaulas de digestibilidad individuales. Se evaluaron tres tratamientos: maíz molido (testigo), grano de sorgo molido bajo en taninos y sorgo bajo en tanino ensilado como grano húmedo. El período experimental duró doce días, con una primera etapa de acostumbramiento de siete días de duración y una segunda etapa de recolección de heces de cinco días. A cada animal se le suministró una cantidad diaria de alimento equivalente en MS al 6% de su peso de masa corporal (P.M.C), en dos tomas iguales. Se realizó recolección total de heces y se determinó la digestibilidad fecal aparente de la materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC) y energía bruta (EB) para cada tratamiento. Los resultados indican que a nivel de tendencia, el sorgo bajo en tanino ensilado como grano húmedo fue quien presentó la mejor digestibilidad fecal aparente para las fracciones analizadas. Esto confirma el efecto positivo del ensilado en la digestibilidad. El sorgo bajo en taninos molido tuvo una digestibilidad similar al maíz para las fracciones materia orgánica (MO), materia seca (MS) y energía.

Palabras clave: Sorgo de bajo tanino; Ensilado de grano húmedo; Digestibilidad fecal aparente.

7. SUMMARY

A study was carried out with the objective of evaluating the apparent fecal digestibility (DFA) for pigs in low sorghum grain recirculation in tannins, ground and processed as a wet grain silo in relation to corn grain. Nine male pigs with an average weight of 36.3 ± 3.2 Kg housed in individual digestibility cages were used. Three treatments were evaluated: ground corn (control), ground sorghum grain low in tannins and low tannin sorghum in silage as wet grain. The experimental period lasted twelve days, with a first stage of seven-day acclimatization and a second five-day stool collection stage. Each animal was given a daily amount of food equivalent in MS at 6% of its metabolic body weight, in two equal doses. Total fecal collection was carried out and fecal apparent digestibility of dry matter (DM), organic matter (OM), crude protein (CP) and gross energy (EB) for each treatment was determined. The results indicate that low tannin sorghum in silage as wet grain was the one that presented the best apparent fecal digestibility for the fractions analyzed. This confirms the positive effect of silage on digestibility. Ground sorghum low in tannins had a digestibility similar to corn for MO, MS and Energy fractions.

Key words: Low tannin sorghum; Wet grain silage; Apparent faecal digestibility.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Araiza-Piña, A.; Cervantes, M.; Morales, A.; Espinosa, S.; Cervantes, M.; Torrentera, N. 2003. Digestibilidad ileal aparente de aminoácidos en sorgo, maíz y trigo en dietas para cerdos en crecimiento. *Agrociencia*. 37: 221-293.
2. Caorsi, M.; Olivera, A. 2005. Efecto del método de conservación de distintos materiales de grano de sorgo sobre la degradabilidad ruminal y digestibilidad intestinal de la materia seca. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 34 p.
3. Carrasco, P. 1990. Sorgo granífero. Montevideo, Facultad de Agronomía. 40 p.
4. Chalkling, D.; Brasesco, R. 2003. En silaje de grano húmedo: una alternativa promisorio. (en línea). Río Cuarto, Sitio Argentino de Producción Animal. s.p. Consultado ene. 2017. Disponible en <http://www.produccion-animal.com.ar>
5. Chicarelli, D. 2012. Uso de sorgo en alimentación porcina. (en línea). In: Simposio de Sorgo de AIANBA (2012, Córdoba). Trabajos presentados. Río Cuarto, Sitio Argentino de producción Animal. s.p. Consultado nov. 2014. Disponible en <http://www.ciap.org.ar/ciap/Sitio/Materiales/Produccion/Aspectos%20Nutricionales/Alimentacion%20de%20cerdos%20con%20sorgo%20granifero.pdf>
6. Cohen, R. S.; Tanksley, T. D. 1973. Energy and protein digestibility of sorghum grains with different endosperm textures and starch types by growing swine. *Journal of Animal Science*. 37: 931 - 935.
7. Cousins, B. W.; Tanksley, T. D.; Hnabe, D. A.; Zebrowska, T. 1981. Nutrient digestibility and performance of pigs fed sorghums varying in tannin concentration. *Journal of Animal Science*. 53: 1524 - 1537.
8. Crenshaw, J. D.; Peo, E. R.; Lewis, A. J.; Schneider, N. R. 1986. The effects of sorbic acid in high moisture sorghum grain diets on performance of weanling swine. *Journal of Animal Science*. 63: 831 - 837.

9. D`Alessandro, J.; Barlocco, N.; Peinado, M. R.; Garín, D. 1997. Digestibilidad, balance nitrogenado y energía de granos de sorgo alto y bajos en taninos en cerdos. In: Congreso Binacional de Producción Animal Argentina-Uruguay(1°), Congreso Argentino de Producción Animal (21°), Congreso Uruguayo de Producción Animal (2°,1997, Paysandú). Trabajos presentados. s.n.t. pp. 1-8.
10. Domanski, C.; Giorda, L. M.; Feresin, O. 1997. Composición y calidad del grano de sorgo. INTA. Cuaderno de Actualización. no. 7: 1-3.
11. Eckert, T. E.; Allee, G. H. 1974. Limiting amino acids in milo for the growing pig. *Journal of Animal Science*. 39: 694 - 698.
12. Etuk, E. B.; Ifeduba, A. V.; Okata, U. E.; Chiaka, I.; Okoli. C. I.; Okeudo, N. J.; Esonu, B. O.; Udedibie, A. B. I.; Moreki, J. C. 2012. Nutrient Composition and Feeding Value of Sorghum for Livestock and Poultry: a review. *Journal of Animal Science*. 2(6):510-524.
13. FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, ES). 2010. Tablas FEDNA de composición de alimentos. Valor nutritivo. (en línea). Barcelona. s.p. Consultado dic.2016. Disponible en http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/sorgo-blanco-bajo-en-taninos
14. Fekete, J.; Castaing, J. 1987. Utilisation de sorgos a diferentes teneurs en tannins par le porceletsevre. *Journees de la Recherche Porcine en France*. 19: 327-332.
15. Fiol, C. 2011. Concentrados energéticos en rumiantes. Montevideo, Facultad de Veterinaria. 57 p.
16. Goodband, B.; Tokach, M. 2016. Feed value benefits of sorghum for swine. (en línea). Lubbock, Texas, Sorghum Checkoff. 54 p. Consultado feb. 2016. Disponible en http://www.sorghumcheckoff.com/assets/media/pdfs/2016_09_02_Swine_FeedingGuide.pdf
17. Grosjean, F.; Castaing, J. 1984. Comparaison de sorgos français a différentes teneurs en tannins dans l'alimentation du porccharcutier. *Journees de la Recherche Porcine en France*. 18: 301-306.

18. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). 2012. Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de sorgo granífero período 2011. Colonia. 45 p.
19. INRA (Institut National de la Recherche Agronomique, FR). 2004. Tables of composition and nutritional value of feed materials. 2nd. ed. Paris. 304 p.
20. Kemm, E. H.; Brand, T. S. 1996. Grain sorghum as an energy source for growing pigs. *Pig News and Information*. 17(3): 87 - 89.
21. Knabe, D. A.; Tanksley, T. D. 1982. Organic acid-preserved high moisture sorghum for growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*. 55: 745-751.
22. Latorre, S. J.; Calderon, C. A. 1998. Evaluación fisiológica y nutricional del efecto de los taninos en los principales sorgos graníferos (*Sorghum bicolor* (L) moench) cultivados en Colombia. (en línea). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Regional 7). 170 p. Consultado nov. 2015. Disponible en http://webdelprofesor.ula.ve/ciencias/chataing/Cursos/productos_naturales/taninos_2.pdf
23. Liu, S. Y.; Selle, P. H.; Cowieson, A. J. 2013. Strategies to enhance the performance of pigs and poultry on sorghum-based diets, review. *Animal Feed Science and Technology*. 181: 1-14.
24. Louis, G. F.; Lewis, A. J.; Peo, E. Jr. 1991. Feeding value of grain sorghum for the lactating sow. *Journal of Animal Science*. 69: 223-229.
25. Macías, M.; Díaz, C.; Martínez, O. 2012. Digestibilidad y flujo de digesta ileal en cerdos alimentados con granos de sorgo rojo en la dieta. (en línea). *Revista Electrónica de Veterinaria*. 13 (6): 1-7. Consultado oct. 2015. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63624434003>
26. Maksinchuk De Lima, D. A. 2004. Evaluación del ensilado de sorgo granífero y la influencia del contenido de taninos sobre la producción de leche. Tesis de grado. Montevideo. Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 58 p.
27. MAP. CIAAB (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger, UY). 1974. Sorgo granífero. Montevideo. 62 p.

28. Martínez, O.; Macías, M.; Díaz, C. 2012. Digestibilidad y flujo de digesta ileal en cerdos alimentado con harina de granos de sorgo en la dieta. Revista Computarizada de Producción Porcina. 19 (3): 158 - 160.
29. Methol, M. 2012. Maíz y sorgo: situación y perspectivas. Anuario OPYPA 2012: 137- 148.
30. _____. 2013. Maíz y sorgo: situación y perspectivas. (en línea). Anuario OPYPA 2013: 181-198. Consultado nov. 2016. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/anuario-opypa-2013.pdf>
31. _____. 2016. Maíz y sorgo: situación y perspectivas. (en línea). Anuario OPYPA 2016: 181-198. Consultado dic. 2016. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/anuario_opypa_2016_en_baja.pdf
32. MGAP. OPYPA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Oficina de Programación y Planeamiento Agropecuario, UY). 2015. Maíz y sorgo: situación y perspectivas. (en línea). Anuario OPYPA 2015:171-186. Consultado dic. 2016. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/anuario_opypa_2015_final_chico.pdf
33. _____. _____. 2016. Maíz y sorgo: situación y perspectivas. (en línea). Anuario OPYPA 2016:179-192. Consultado dic. 2016. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/anuario_opypa_2016_en_baja.pdf
34. Montiel, M. D.; Depetris, G. 2007. Silos de grano húmedo de sorgo. (en línea). Buenos Aires, Sitio Argentino de Producción Animal. 2 p. Consulta dic. 2015. Disponible en <http://www.produccion-animal.com.ar>
35. Moreira, F. R. C.; Costa, A. N.; Martin, T. D. D.; Silva, J. H. V.; Cruz, G. R. B.; Pascoal, L. A. F. 2013. Substitucao parcial do milho por sorgo granifero na alimentacao de matrizes suinas primíparas no periodos de puberdade e gestacao. Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinaria e Zootecnia. 65 (3): 902 - 908.
36. Myer, R. O.; Gorber, D. W.; 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. Journal of Animal Science. 62: 1290 - 1297.

37. NRC (National Research Council, US). 1998. Nutrient Requirements of Swine. 10th. rev. ed. Washington, D. C., National Academic Press. 180 p.
38. Nyannor, E. J.; Adedokun, S. A.; Hamaker, B. R.; Ejeta, G.; Adeola, O. 2007. Nutritional evaluation of high-digestible sorghum for pigs and broiler chicks. *Journal of Animal Science*. 85: 196 - 203.
39. Owsley, W. F.; Knabe, D. A.; Tanksley, T. D. 1981. Effect of sorghum particle size on digestibility of nutrient at the terminal ileum and over the total digestive tract of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*. 52: 557 -566.
40. Patricio V. M.; Furlan, A. C.; Moreira, I.; Martins, E. N.; Jobim, C. C.; Costa, C. 2006. Avaliação nutricional da silagem de grãos úmidos de sorgo de alto ou de baixo conteúdo de taninos para leitões na fase de creche. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 35:1406-1415.
41. Pordomingo, A. J. s.f. Suplementación con granos a bovinos en pastoreo. (en línea). Anguil, Sitio Argentino de Producción Animal. 4 p. Consultado ago.2017. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/19-suplementacion_con_granos_a_bovinos_a_pastoreo.pdf
42. Porter, K. 1995. El color del sorgo granífero y su relación con el valor de comercialización y con su valor nutritivo. (en línea). s.n.t. 9 p. Consultado oct. 2014. Disponible en <http://studylib.es/doc/5396819/el-color-del-sorgo-gran%C3%ADfero-y-su-relaci%C3%B3n-con-el-valor-de>
43. Rovira, P.; Velazco, J. 2012. Ensilaje de grano húmedo de sorgo: guía práctica para su uso en la alimentación de ganado en regiones ganaderas. Montevideo, INIA. 20 p. (Boletín de Divulgación no. 101).
44. Scarpitta, N. 2008. ¿Qué necesitamos conocer sobre el silo de grano húmedo de sorgo.(en línea). *Revista del Plan Agropecuario*. no. 126: 48-54. Consultado 26 ene. 2017. Disponible en http://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R126/R_126_48.pdf
45. Tokach, M.; Goodband, B.; DeRouchey, J. 2012. Sorghum in swine production feeding guide. (en línea).Lubbock, TX, USA, Sorghumcheckoff. 28 p.

Consultado nov. 2016. Disponible en <http://texassorghum.org/wp-content/uploads/2011/09/Swine-Feeding-Guide.pdf>

46. Ward, T. L.; Southern, L. L. 1995. Sorghum amino acid-supplemented diets for the 50 to 100 kilogram pig. *Journal of Animal Science*. 73: 1746 – 1753.