

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE VETERINARIA

**“EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS APLICADOS SOBRE GRANO DE
SORGO COSECHADO SECO: EFECTO EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y
EL SITIO DE DIGESTIÓN EN RUMIANTES”**

Por

**MAGALÍ AUDI MACAGNO
MAURO ANDRÉS MINTEGUIAGA CARBAJAL**

TESIS DE GRADO presentada como
uno de los requisitos para obtener el
título de Doctor en Ciencias Veterinarias
Orientación: Producción Animal

MODALIDAD: Ensayo experimental

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2017**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis aprobada por:

Presidente de mesa:

Dr. Sebastián Brambillasca

Segundo miembro:

Dr. Martín Aguerre

Tercer miembro:

Ing. Agr. Alejandro Mendoza

Fecha:

Autores:

Bach. Magalí Audi Macagno

Bach. Mauro Minteguiaga

AGRADECIMIENTOS

A nuestros familiares y amigos, que estuvieron en todo momento.

A nuestro tutor Dr. Martín Aguerre por su tiempo y dedicación para con nosotros.

A los compañeros de tesis; Renato Araújo, Marcos Urrestarazú, Mariana Alcántara y especialmente a Agustín Artegoitia, por tan gratos momentos durante el transcurso del trabajo final.

A todo el personal del Laboratorio de Nutrición de Facultad de Veterinaria, de la Udelar por el entrenamiento, apoyo científico, académico en el procesamiento de las muestras.

A todo el personal del campo experimental de Libertad, por su ayuda a la hora de realizar los trabajos prácticos.

A nuestra casa de estudios, Facultad de Veterinaria de Udelar

Al personal de EEMAC y los compañeros docentes de Facultad de Veterinaria en Paysandú, por el apoyo incondicional en la culminación de mi carrera, en especial a los Dres. Julio Olivera, Sergio Fierro y Jorge Gil, mentores de mi formación docente y maestros de vida.

Contenido

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
LISTA DE CUADROS Y FIGURAS	5
RESUMEN.....	6
SUMMARY	7
INTRODUCCIÓN.....	8
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	10
Digestión de los granos de cereales. Digestión del almidón	10
Diferencias en la digestión entre grupos de cereales.....	12
El grano de sorgo en la alimentación animal.....	13
Cosecha del grano de sorgo.....	17
Cosecha temprana del grano de sorgo.	18
Procesamientos sobre el grano de sorgo cosechado seco	19
Quebrado y Molido.....	19
Agregado de Urea.....	20
Procesamiento del grano de sorgo: Tratamientos que implican el agregado de agua	20
HIPÓTESIS:	22
OBJETIVOS.....	23
Objetivo general	23
Objetivos particulares	23
MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
Procedimientos y Determinaciones:	24
Análisis estadístico:	25
RESULTADOS	26
Composición química.....	26
Sitio de digestión y digestibilidad total	27
DISCUSIÓN.....	28
Conclusiones e Implicancias	30
BIBLIOGRAFÍA	31

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

CUADROS

Cuadro 1. Energía Metabolizable de concentrados energéticos más usados en la alimentación de rumiantes en Uruguay	10
Cuadro 2. Composición química del grano de sorgo	15
Cuadro 3. Degradabilidad ruminal de la Materia seca (MS), almidón y Proteína bruta (PB) de sorgos por nivel de taninos.	16
Cuadro 4. Coeficientes de digestibilidad total del almidón de distintos tratamientos aplicados al grano de sorgo.	17
Cuadro 5. Valor nutricional de los ensilajes de grano húmedo de sorgo en Uruguay	18
Cuadro 6. Composición química de las muestras de sorgo usadas.	25
Cuadro 7. Composición química de granos de sorgo del experimento	27
Cuadro 8. Sitio de digestión y digestibilidad total de granos de sorgo de diferentes tratamientos	28

FIGURAS

Figura 1 Estructura general de los granos de cereales.	11
Figura 2. Cinética de la desaparición de cuatro granos de cereales.	12

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la adición de agua, la germinación, el ensilaje y/o su combinación sobre la composición química y el valor nutritivo de granos de sorgo cosechado seco. Cinco parcelas comerciales de sorgo fueron cosechadas como grano seco y evaluadas para composición química, sitio de digestión y digestibilidad total luego de aplicar seis tratamientos: grano seco (control), remojado por 24 h (Rem), germinados por 5 d (G), germinados por 5 d y ensilados por 21d (Ge), reconstituido a un 30% de humedad y ensilados por 21 d con el grano entero (ERE) y reconstituido a un 30% de humedad y ensilado por 21 d con el grano molido (MRE). Los tratamientos Rem, ERE y Ge determinaron un menor contenido de almidón respecto al grano seco ($P<0.05$). Los tratamientos reconstituido y ensilado (tanto con el grano entero como molido) disminuyeron la concentración de taninos respecto al grano seco ($P<0.05$). El sitio de digestión y la digestibilidad total de la materia seca (MS) fue similar para el grano seco, G y ERE. Sin embargo, comparado con estos tratamientos, Ge y MRE aumentaron la digestibilidad ruminal y total de la MS ($P<0.05$). La digestibilidad en todo el tracto de la MS no difirió entre el tratamiento Rem y el grano seco, sin embargo el tratamiento Rem modificó el sitio de digestión de la MS ($P<0.05$). El sitio de digestión y la digestibilidad en todo el tracto del almidón fue similar entre el grano seco y el MRE. Aunque Ge y ERE tuvieron similar digestibilidad total de almidón en comparación al grano seco, estos tratamientos afectaron su sitio de digestión ($P<0.05$). Los tratamientos Rem y G redujeron la digestibilidad total y cambiaron el sitio de digestión del almidón respecto al grano seco ($P<0.05$). En conclusión, el remojado, el proceso de germinado o el ensilado de granos de sorgo enteros como único factor produjeron cambios en la composición química pero no incrementaron en valor nutritivo del grano de sorgo. Sin embargo, la combinación de la germinación y el ensilado resultaron en cambios en la composición química e incrementaron la digestibilidad de los granos de sorgo. El molido del grano antes de la reconstitución y ensilado es una alternativa para incrementar la digestibilidad y el valor nutritivo del grano de sorgo.

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the effects of water addition, germination, ensiling and/or their association with respect to chemical composition and nutritive value of dry sorghum grain. Five commercial paddocks of sorghum grain were harvested dry and evaluated for chemical composition, digestion site and total digestibility under six treatment conditions: dry ground, soaked for 24 h (Rem), germinated for 5 days (G), germinated for 5 days and then ensiled for 21 days (Ge), reconstituted at 30% humidity and ensiled for 21 days as whole grain (ERE) and reconstituted at 30% humidity and ensiled for 21 days as ground grain (MRE). Soaked, ERE and Ge treatments led to a lower starch content compared to dry grains ($P<0.05$). Reconstituted and ensiled treatments (either as whole or ground grain) decreased the tannin concentration compared to dry grains ($P<0.05$). The dry matter (DM) digestion site and total tract digestibility were similar among dry grains, G and ERE. However, compared to these treatments, Ge and MRE increased ruminal and total DM digestibility ($P<0.05$). Total tract DM digestibility did not differ between Rem and dry grains; however, Rem affected DM digestion site ($P<0.05$). Starch digestion site and total tract digestibility were similar between dry grains and MRE. Although Ge and ERE had similar total starch digestibility in comparison with dry grains, these treatments affected the digestion site ($P<0.05$). Soaked and G treatments reduced total tract digestibility and changed the starch digestion site compared to dry grains ($P<0.05$). In conclusion, the soaking, the germination process, or the ensiling of whole sorghum grain as sole factors, produced changes in the chemical composition but did not improve the nutritive value of sorghum grain. However, the combination of germination and ensiling resulted in changes in the chemical composition and improved the digestibility of sorghum grains. The grinding of grain before reconstitution and ensiling is an alternative to increase the sorghum grain digestibility and nutritive value.

INTRODUCCIÓN

Desde comienzos del siglo XXI la agropecuaria uruguaya sufrió grandes cambios en sus escalas y métodos de producción, incentivados por los altos valores de los commodities a nivel internacional hasta el año 2014 (Capurro, 2016). La superficie agrícola pasó de 600.000 has en la zafra 2005/2006 hasta alcanzar un máximo de 1.800.000 en la zafra 2012/2013 (DIEA, 2013); actualmente se cultivan 1.327.000 hectáreas (DIEA, 2016). Con relación al año 2000, en el 2011 la superficie agrícola había aumentado en un 110%. A medida que la superficie cultivable fue en aumento, se redujo la superficie ganadera en un 36%, ocasionando a su vez un desplazamiento de las zonas ganaderas hacia suelos marginales (de baja aptitud pastoril). Esta situación fue obligando a la intensificación de las producciones ganaderas para competir frente a las empresas agrícolas. En este nuevo escenario, los establecimientos agropecuarios intensificaron los sistemas de producción, con el consecuente aumento de la producción. A modo de ejemplo, desde el ejercicio 2007-2008 hasta 2016 se perdieron más de 700 tambos y se redujo la superficie en 78 mil hectáreas, sin embargo la producción de leche aumentó en un 40% (DIEA, 2016). La situación descrita ha llevado a la necesidad de aumentar la concentración de nutrientes en las dietas de los animales, en las cuales los principales ingredientes utilizados para incrementar el valor energético son los granos de cereales y sus subproductos. Así, en búsqueda de una mayor eficiencia los establecimientos intensivos han incrementado el uso de la suplementación.

Entre los cereales más usados para la suplementación de rumiantes en nuestro país, se encuentran el maíz, sorgo, cebada y trigo. Una de las características más sobresalientes de estos granos es que el componente de mayor proporción en su composición es el almidón, llegando a representar hasta 80% del peso seco del grano (Huntington, 1997). El almidón se encuentra principalmente en el endospermo del grano. Dependiendo del tipo de cereal será el endospermo harinoso o el córneo el que se encuentre en mayor proporción (Mc Donald y col., 2006). Los rumiantes son capaces de utilizar el almidón a través de una intrincada relación entre la flora ruminal y el animal. La degradabilidad ruminal del almidón varía en relación a la especie de cereal, siendo más completa y rápida en el grano de avena, trigo y cebada, seguidos del maíz y sorgo; respectivamente (Herrera-Saldana y col., 1990; Offner y col., 2003). Debido a que la disposición, forma y tamaño de los gránulos de almidón es diferente en los distintos tipos de endospermo, las diferencias en la digestión de los granos está dado por las diferentes proporciones entre endospermo córneo y harinoso (de Blas, 1995; Offner y col., 2003). Dentro del endospermo los gránulos se encuentran embebidos en una matriz proteica, para los cereales de lenta degradación dicha matriz proteica está compuesta por proteínas de más difícil degradación, particularmente prolaminas (kafirinas en el sorgo y zeinas en el maíz) (Duodu, 2003).

La digestibilidad de un alimento en rumiantes está dada por la suma de la degradabilidad ruminal y la digestibilidad en intestino. Dado que la digestión del almidón a nivel intestinal está limitada por la disponibilidad de enzimas digestivas tales como la

amilasa, la digestibilidad final de los granos de los cereales estará determinada en gran medida por la degradación ruminal de los mismos, en particular del almidón (Huntington, 1997; Offner y col., 2003). De manera general, la aplicación de tratamientos físicos o químicos, es eficiente en aumentar la tasa y magnitud de la digestión ruminal del almidón y disminuir la cantidad de almidón que escapa a la fermentación ruminal y llega al duodeno; pudiendo o no aumentar la cantidad de almidón digerido en todo el tracto digestivo (Theurer, 1986; Hill y col., 1991; Offner y col., 2003; Balogun y col., 2006).

Dadas sus características el grano de sorgo es el cereal con mayor potencial para incrementar el aprovechamiento digestivo mediante la aplicación de algún tipo de procesamiento que altere las características físicas o químicas del grano; pudiendo llegar a valores de digestibilidad similares al grano de maíz (Streeter y col., 1990). En Uruguay, el cultivo de sorgo ha crecido en área conforme creció el área total destinada a la agricultura. El sorgo es un cultivo de verano que presenta características agronómicas tales como resistencia a la sequía y a los depredadores, es un cultivo que requiere relativo poco cuidado y es adaptable a muchos tipos de suelos (Blanco y col., 2000; Caorsi y Olivera, 2005), resultando un concentrado energético de bajo costo y accesible en casi todo el país. Además, puede ser cosechado en dos momentos del cultivo, como grano húmedo cuando la humedad del grano se encuentra entorno del 30% y como grano seco cuando la humedad del sorgo es <14%. Se estima que en el país se sembraron durante el 2015 unas 67.000 has (MGAP, DIEA, 2016).

Gran parte de las ventajas agronómicas del cultivo de sorgo se explican por la presencia de taninos, compuestos polifenólicos que le proporcionan al cultivo resistencia a los predadores (Reed, 1995; Magalhães y col., 1997). En relación a la presencia de estos compuestos, las variedades de sorgos se clasifican en altos y bajos en taninos; su concentración oscila entre 0,2 y 6,9% del peso seco del grano (Russell y Lolley, 1989; Evers y col., 1999). Sin embargo, desde el punto de vista nutricional la presencia de estos compuestos tiene efectos antinutricionales, como la capacidad de hacer indigestibles las proteínas, mediante la formación de complejos insolubles, disminuyendo así la disponibilidad del almidón y afectando la digestibilidad del grano (Maxson y col., 1973; Reed, 1995; Curbelo, 2010).

Si bien se conoce por varios trabajos realizados en nuestro país que el sorgo cosechado en etapas temprana de maduración y ensilado (silo de grano húmedo), aumenta la degradabilidad ruminal y en el aprovechamiento digestivo (Bianco y col., 2000; Repetto y col., 2005; Caorsi y Olivera 2005; Curbelo, 2010); la mayoría del sorgo que se comercializa en Uruguay es bajo la forma de grano cosechado seco, con lo cual surge la necesidad de profundizar en alternativas de tratamientos que permitan incrementar el valor nutritivo del grano de sorgo cuando se lo cosecha en un estado de maduración tardía.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Digestión de los granos de cereales. Digestión del almidón

Los granos de cereales se definen como alimentos concentrados energéticos, es decir, aquellos que tienen menos de 18% de Fibra cruda y menos de 20% de Proteína Bruta (PB) (NRC, 2000). Debido a sus características son materia prima de elección para incluir en la dieta de animales con altas producciones de carne y leche. Se caracterizan por su alto contenido en almidón, los que les da la característica de concentrado energético. La concentración energética varía entre las diferentes especies, en la tabla 1 se exponen la energía metabolizable de los diferentes concentrados más utilizados en nuestro país según estimaciones de Mieres y col., 2004. De acuerdo a Owens y Zinn (2005) la concentración energética es proporcional al contenido de almidón del grano.

Cuadro 1. Energía Metabolizable de concentrados energéticos más usados en la alimentación de rumiantes en Uruguay.

Concentrado	Energía Metabolizable para Bovinos (Mcal/kg MS)
Avena (grano)	1,76
Cebada (grano)	3,12
Maíz (grano)	3,26
Sorgo (grano)	3,27
Trigo (afrechillo)	2,86

Adaptado de Mieres y col., (2004).

El grano de cereal es un tejido vivo, que dará origen a una planta cuando las condiciones para el desarrollo se cumplan. Su función biológica es proteger y transportar el embrión, a la vez que aporta los nutrientes necesarios para la germinación y crecimiento temprano de la nueva planta. Morfológicamente poseen tres estructuras bien diferenciadas: embrión, endospermo y pericarpio. El embrión o germen es el tejido que dará origen a la nueva planta, el endospermo es el tejido de almacenamiento de nutrientes y el pericarpio, engloba y protege al grano a la vez que regula la entrada de agua. Algunas semillas, como las de cebada y avena poseen una cáscara fibrosa externa que le confiere resistencia a la digestión microbiana; el pericarpio y la citada cáscara son compuestos por un 90% de fibra, con un valor nutritivo similar a forrajes de baja calidad (McAllister y Cheng, 1996; McDonald y col., 2006).

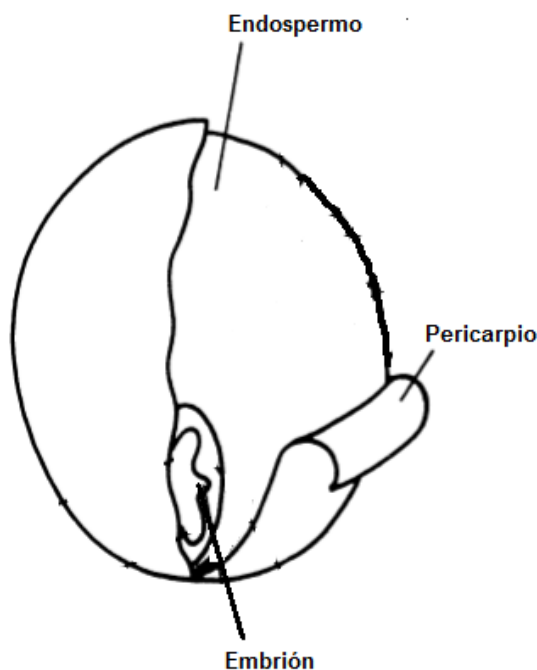


Figura 2 Estructura general de los granos de cereales, modificado de Evers y col., (1999).

En los cereales, el tejido que se encuentra en mayor proporción es el endospermo y dentro de éste el mayor componente es el almidón (Evers y col., 1999). El contenido de almidón en relación al peso seco del grano entero varía entre especies, según Huntington (1997) el grano de trigo es el que posee proporcionalmente más almidón (77%), seguido por el grano de maíz y sorgo (72%), la cebada y la avena (57-58%). El almidón es un polisacárido de almacenamiento insoluble, compuesto por dos polímeros: la amilosa, polímero lineal con enlaces α 1-4 entre las unidades de D-glucosa y la amilopectina, polímero ramificado de mayor peso molecular que la amilosa y con enlaces α 1-4 y α 1-6. Estos polímeros son depositados dentro de las células del endospermo en gránulos cuya forma, tamaño y contenido de amilosa y amilopectina depende de la especie y variedad del grano (Rooney y Pflugfelder, 1986; Kotarski y col., 1992; McDonald y col., 2006). Generalmente la relación entre ambos polímeros es del en torno a 25% de amilosa y 75% de amilopectina (McDonald y col., 2006); no obstante, existen variedades denominadas cerasas o “waxy” cuyo almidón tiene una mayor cantidad de amilopectina (McDonald y col., 2006), llegando a tener <1% de amilosa, lo que los hace más rápidamente digestible en rumen (Kotarski y col., 1992; Huntington, 1997).

La digestibilidad del almidón es afectada por su estructura (proporción de amilosa y amilopectina), por las interacciones proteína-almidón, por factores anti-nutricionales y por la presentación física del alimento (Rooney y Pflugfelder, 1986). Si bien la digestión del almidón en el tracto digestivo es casi completa, existen diferencias entre los cereales en cuanto al grado y sitio de digestión del mismo (de Blas y col., 1995) que afectará la cantidad y tipo de nutrientes disponibles para el animal (Offner y col., 2003). Generalmente, una cantidad menor del almidón proporcionado por los granos de cereales es digerida por las enzimas producidas por el rumiante (McAllister y Cheng, 1996), con

lo cual para mejorar el aprovechamiento digestivo de los granos de cereales es deseable maximizar la digestión ruminal. Para que ocurra la digestión de los gránulos de almidón por parte de la flora amilolítica del rumen deben de ocurrir dos instancias previas; que haya una ruptura del pericarpio (que se consigue mediante la rumia o el procesado) y que la pared celular de las células del endospermo (rica en β -glucanos) sea digerida por parte de las bacterias celulíticas (McAllister y Cheng, 1996). Es así que el procesamiento del grano incrementa la tasa y grado de digestión del almidón a nivel ruminal, haciendo que éste sea más accesible tanto para los microorganismos ruminales como para las enzimas digestivas del animal (Theurer, 1986; McAllister y Cheng, 1996; Offner y col., 2003). De manera general, el grado de digestión en rumen es inversamente proporcional al tamaño de partícula del grano sin procesar (Huntington, 1997).

Según Hill y col. (1991) cuando la degradabilidad a nivel ruminal aumenta, determina una disminución en la degradabilidad intestinal del almidón. La capacidad de digerir el almidón en intestino delgado está dada por la enzima α -amilasa que puede romper los enlaces del almidón para liberar maltosa y dextrinas (Rooney y Pflugfelder, 1986). La cantidad de almidón digerido en el intestino delgado se incrementa a medida que aumenta su flujo hacia el duodeno (Hill y col., 1991), sin embargo, la cantidad de enzimas producida puede actuar como una restricción para la digestión del almidón en intestino (Ørskov, 1986; McAllister y Cheng, 1996). El almidón que escapa a la digestión en intestino delgado es factible de ser fermentado en el intestino grueso, donde sus productos finales son ácidos grasos volátiles al igual que en el rumen (Ørskov, 1986; Huntington, 2006)

Diferencias en la digestión entre grupos de cereales

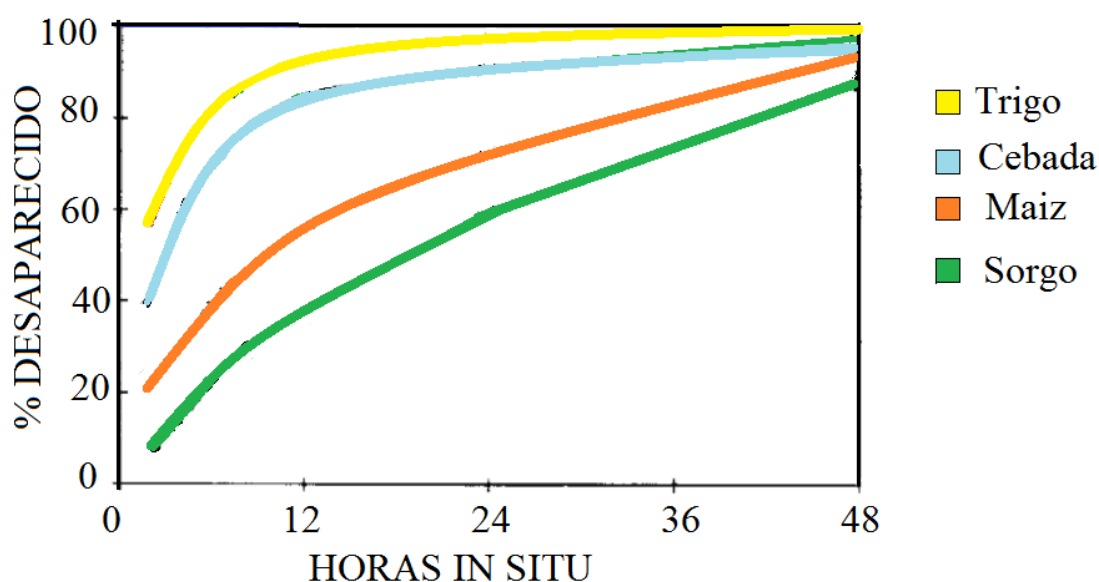


Figura 2. Cinética de la desaparición de cuatro granos de cereales. Modificado de Herrera-Saldana y col., (1990).

Como se mencionó anteriormente, el endospermo es la porción más importante del grano de los cereales, representando hasta el 80% del peso del grano (McAllister y Cheng, 1996; Evers y col., 1999). Pueden diferenciarse tres tipos de endospermo: endospermo harinoso, endospermo córneo y endospermo periférico (McAllister y Cheng, 1996), la proporción de cada uno de ellos dependerá de la especie y del genotipo del grano en cuestión. Es así que, en los granos de avena, cebada y trigo predomina el endospermo harinoso mientras que en los granos de maíz y sorgo predomina el endospermo córneo y endospermo periférico. Como consecuencia de estas diferencias el comportamiento digestivo de los diferentes granos en la alimentación de rumiantes será diferente según el tipo de cereal, especie y variedad- (Herrera-Saldana y col., 1990; Huntington, 1997; McDonald y col., 2006). A nivel ruminal generalmente el trigo y la cebada son fermentados más rápida y completamente que el sorgo y maíz- Figura 2- (Ørskov, 1986; Herrera-Saldana y col., 1990; McAllister y Cheng, 1996, Owens y Zinn, 2005). Las diferencias estructurales de los endospermos mencionadas se deben a la disposición de los gránulos de almidón en cada uno de ellos. En el endospermo córneo los gránulos de almidón están rodeados por una matriz proteica continua, consistente principalmente en proteínas de difícil digestión (prolaminas y gluteínas) y carbohidratos no almidonáceos, relativamente impermeable al agua y a las enzimas hidrolíticas. En contraste, en el endospermo harinoso los gránulos de almidón son de mayor tamaño y están rodeados por una matriz proteica discontinua de fácil digestión formada por albuminas y globulinas, esto hace que el almidón este más accesible a la hidrólisis enzimática y al procesamiento (Kotarski y col., 1992; Huntington, 1997). El endospermo periférico está presente solamente en el maíz y sorgo, siendo mayor en este último. Es una región densa, dura y resistente a la penetración de agua y a la digestión siendo las prolaminas las proteínas más abundantes (Rooney y Pflugfelder, 1986). Es así que la digestión ruminal es menor en las variedades con mayor proporción de endospermo córneo frente a las variedades con mayor proporción de endospermo harinoso, a la vez que los primeros tienen una menor fracción soluble (Phillippeau y col., 1998).

El grano de sorgo en la alimentación animal

El sorgo es uno de los cultivos más versátiles, con muchas ventajas agronómicas frente a otros cultivos; capaz de adaptarse a muy variadas condiciones ambientales, un cultivo rustico y resistente a la sequía (el sistema radicular es muy desarrollado), al calor, a los predadores (aves), y a la proliferación de hongos (Menkir y col., 1996). De manera general se considera que el grano de sorgo es un cereal con menor calidad nutricional que el grano de maíz, debido a características propias del grano (Hibberd y col., 1982; Huntington, 1997). La calidad nutricional del sorgo no es constante entre variedades y entre años; esta variabilidad es en parte explicada por las condiciones ambientales en las que se desarrolla el cultivo, particularmente durante el crecimiento y maduración del grano (Hibberd y col., 1982). Hibberd y col. (1982), reportan que la digestibilidad del almidón aislado de maíz y sorgo no es diferente, con lo cual estos autores sugieren que las diferencias en la calidad nutricional entre los dos cereales estarían dadas por otros compuestos presentes en el grano de sorgo, tales como proteínas y polifenoles (taninos),

siendo la concentración de estos últimos la variable de mayor impacto (Montiel y col., 2011).

De acuerdo con varios autores, la digestibilidad del grano de sorgo es resultado de la proporción y tipo de las proteínas del endospermo, de la asociación de su matriz proteica a los gránulos de almidón, de la proporción de endospermo córneo y del nivel de taninos que presente la variedad del grano (Hibberd y col. 1982, Herrera-Saldana y col. 1990, Huntington, 1997, Offner y col., 2003). En el caso particular del sorgo, además de los endospermos córneo y harinoso, este grano posee un endospermo periférico muy desarrollado. El endospermo periférico, situado por debajo del pericarpio, se caracteriza por ser extremadamente duro, denso y resistente a la entrada de agua. Posee gránulos muy pequeños de almidón y una matriz proteica continúa formada por prolaminas (kafirinas) que lo hace muy resistente a la degradación enzimática (Rooney & Pflugfelder, 1986; Duodu y col. 2003; Montiel & Elizalde, 2004). Según Eckhoff y Watson (2009) la proteína total en el grano de sorgo oscila entre 11,5 y 13,2% de la MS del grano (Cuadro 2), siendo comparativamente mayor que en el grano de maíz (Hibberd y col., 1982). Dichas proteínas (de difícil digestión) se encuentran en su mayoría en el embrión y endospermo (McDonald y col., 2006); en éste último constituyen la matriz proteica que rodea los gránulos de almidón y pueden limitar el acceso a los mismos por parte de las bacterias ruminales (Hibberd y col., 1982). La degradabilidad ruminal de la proteína de sorgo medida a 48 h es menor que la de los otros cereales (Herrera-Saldana y col., 1990). Esto es debido a que aproximadamente el 70 % de las proteínas del sorgo son kafirinas (Duodu y col., 2003; Hamaker y col., 1995 citado por Wong y col., 2009), proteínas de almacenamiento que se encuentran principalmente en el endospermo (Duodu y col., 2003). Estudios *in vivo* indican que las kafirinas son insolubles en líquido ruminal y poco digestibles, formando parte del residuo indigestible en sorgos con altos y bajos contenido de taninos (Butler y col., 1984; Doudu y col., 2002, citados por Doudu y col., 2003). Montiel y col. (2011) reportan relaciones negativas entre la presencia de kafirinas y la degradabilidad *in situ* de la MS, PB y almidón de granos de sorgo. En caso de inclusión de altas cantidades de sorgo en dietas de rumiantes, se debe de tener en cuenta que estas proteínas son de bajo valor biológico al carecer de niveles adecuados de aminoácidos esenciales como la lisina, triptófano y metionina (Montiel y col., 2004).

Cuadro 2. Composición química del grano de sorgo

	% del peso seco en el grano entero	Almidón	Proteína	Grasa	Ceniza
Germen	7,8-12,1	-	18,0-19,2	26,9-30,6	-
Endospermo	80,0-84,6	81,3-83,0	11,2-13,0	0,4-0,8	0-0,44
Pericarpio	7,3-9,3	-	5,2-7,6	3,7-6,0	-
Grano Entero		72,3-75,1	11,5-13,2	3,2-3,9	1,57-1,68

Modificado de Eckhoff y Watson, (2009).

Los polifenoles que se encuentran dentro del grano de sorgo pueden dividirse en ácido fénico, taninos y flavonoides. El ácido fénico es encontrado en todos los tipos de sorgo, pero los flavonoides no (Magalhães y col., 1997). Los taninos son compuestos secundarios para las plantas, no integran rutas metabólicas de crecimiento o reproducción, y su presencia varía ampliamente entre distintos genotipos del grano (Magalhães y col., 1997). Los taninos se clasifican en taninos condensados y taninos hidrolizables, estos últimos son susceptibles a la hidrólisis enzimática y no enzimática; se reconoce también que estos compuestos tienen mayor capacidad tóxica intrínseca (Reed, 1995). Los taninos condensados se encuentran en el grano de sorgo en cantidades variables que van de 0,2 a 6,9% del peso seco del grano (Evers y col., 1999). El efecto negativo de los taninos condensados es su capacidad para formar complejos con proteínas, almidón y minerales (Reed, 1995; Magalhães y col., 1997, Duodu y col., 2003). A su vez, su sabor astringente disminuye el consumo voluntario y baja la palatabilidad del alimento (Kumar y Singh, 1984; Reed, 1995, Magalhães y col., 1997) cuando es administrado en dosis superiores a los 20 mg/kg MS (Krueger y col., 2010). En rumiantes, cuando se aumentan los taninos condensados en la dieta, también se incrementa la cantidad de taninos condensados que llega al duodeno (Streeter y col., 1990).

La magnitud de la interacción de los taninos con las proteínas, almidón o minerales está relacionada con la cantidad de taninos condensados presentes en la semilla ya que, bajo condiciones óptimas, estos compuestos pueden llegar a unirse y precipitar 12 veces su peso molecular. Teniendo en cuenta que la cantidad de proteína presente en el grano de sorgo ronda el 10%, la cantidad de taninos condensados presente en algunas variedades del grano basta para hacer indigestibles la casi totalidad de las proteínas presentes en la semilla (Duodu y col., 2003). En este sentido, Montiel y col. (2009), reportan una relación negativa entre el contenido de taninos y la degradabilidad ruminal de la MS, PB y almidón. En la misma línea, varios estudios realizados a nivel nacional reportan que las variedades altas en taninos tienen menores niveles de degradación ruminal y

digestibilidad intestinal que los genotipos con bajos taninos (Bianco y col., 2000; Caorsi y Olivera, 2005; Curbelo, 2010). El grado de madurez afecta la cantidad de taninos en los granos de sorgo, los granos inmaduros de variedades altas en taninos tienen menor nivel de estos compuestos que los mismos granos maduros, esto es debido a que la polimerización de los taninos condensados se produce rápidamente cuando se acerca la madurez fisiológica del grano (Butler, 1982).

Cuadro 3. Degradabilidad ruminal de la Materia seca (MS), almidón y Proteína bruta (PB) de sorgos por nivel de taninos.

	Nivel de taninos		
	Bajo	Medio	Alto
Degradabilidad (%)			
MS	46,8 ± 1,5	36,4 ± 1,3	28,8 ± 1,3
Almidón	48,8 ± 2,1	30,8 ± 1,9	27,7 ± 1,9
PB	24,5 ± 1,0	17,9 ± 0,9	14,2 ± 0,9

Modificado de Montiel y col., (2011).

Según Rooney y Pflugfelder (1986) para incrementar el aprovechamiento digestivo del grano de sorgo, la matriz proteica debe ser modificada. En el mismo sentido, Streeter y col. (1990), sugiere que, para incrementar la digestión del almidón del endospermo periférico, se debe de desnaturalizar las proteínas que rodean dichos gránulos, lo que se logra con algunos tratamientos, como el ensilado; mientras que los procesos que involucran calor y humedad como el extrusado además provocan la gelatinización del almidón (Hill y col., 1991; Kotarski y col., 1992; Huntington, 1997; Owens y Zinn, 2005). Según Theurer (1986) la magnitud de la respuesta al procesamiento es inversa a la digestibilidad del almidón en el grano sin procesar.

Cuadro 4. Coeficientes de digestibilidad total del almidón de distintos tratamientos aplicados al grano de sorgo.

Procesamiento	Digestibilidad			Total tracto % ⁽⁴⁾
	Rumen % ingesta ⁽¹⁾	Post-ruminal % ingesta ⁽²⁾	% de ingreso ⁽³⁾	
Quebrado	59,8±12,0	26,1 ± 11,4	62,5 ±16,2	87,2 ±5,4
Steam Flaked	78,4	19,6	89,9	98,0
Grano húmedo	73,2	19,6	46,1	92,8
Molido	70,0	15,4	51,0	91,0

Digestibilidad del almidón de sorgo en diferentes tratamientos. 1- Porcentaje de almidón desaparecido en rumen. 2- Porcentaje de almidón desaparecido post-ruminal. 3- Porcentaje de almidón desaparecido de ingresado a intestino. 4- Desaparición total de almidón en el tracto digestivo. Modificado de Huntington, (1997).

El principal sitio de digestión del grano de sorgo es el rumen (cuadro 4). Cuando se aplica algún procesamiento, el efecto directo es el incremento en la digestión ruminal del almidón con la disminución de la fracción que escapa hacia al abomaso (Owens y Zinn, 2005) y el incremento de la digestión total del almidón a lo largo del tracto digestivo relacionado con ese aumento en la digestibilidad ruminal (Theurer, 1986; Huntington, 1997). Estos procesamientos también tienen su impacto en los tramos posteriores del aparato digestivo ya que el aumento en la digestibilidad ruminal provoca un aumento del flujo de proteína microbiana al duodeno. Además, los tratamientos que logran la gelatinización del almidón, como el steam-flaked también incrementa su digestibilidad intestinal (Huntington, 1997). Debido a lo mencionado, el procesado de los granos de los cereales, en especial del sorgo, es ventajoso ya que implica una utilización más efectiva del almidón presente. En este sentido varios autores señalan que, debido a sus características, el sorgo es uno de los cereales en donde el procesamiento provoca un mayor incremento del valor nutricional (Theurer, 1986; Huntington, 1997; Chessa, 2001; Offner y col., 2003). La magnitud de la respuesta está relacionada al tipo y localización de las proteínas presentes en el grano, ya que como se mencionó, son una limitante para la digestión del almidón, en particular las kafirinas (Huntington, 1997).

Cosecha del grano de sorgo.

Tradicionalmente existen dos momentos en la cosecha del grano de sorgo: una etapa temprana cuando el grano tiene entre 25 y 35% de humedad y una etapa tardía cuando el grano está seco (menos de un 14% de humedad) (Bianco y col., 2000). El estado de madurez influye sobre la degradabilidad ruminal de los cereales. En este sentido Akbar y

col. (2002), reportan que a medida que aumenta el grado de madurez en distintas variedades de granos de maíz la degradabilidad del grano disminuye. A su vez otro estudio reportó una mayor degradabilidad de la materia seca de sorgos altos en taninos cuando fueron cosechados con un 35% de humedad respecto a los cosechados con 25% (Montiel y Elizalde, 2004).

Cosecha temprana del grano de sorgo.

El ensilaje de grano húmedo de sorgo consiste en la cosecha anticipada del grano con 25-35% de humedad, el procesado físico (quebrado y/o molido) y el almacenamiento en condiciones de anaerobiosis. Este tratamiento presenta grandes ventajas para el productor agropecuario ya que se obtiene un suplemento concentrado de buena calidad a bajo costo (Rovira, 2014).

Cuadro 5. Valor nutricional de los ensilajes de grano húmedo de sorgo en Uruguay

Parámetro	Valor referencia
Humedad (%)	26,7
PB (% MS)	7,7
Digestibilidad MO (% MS)	85,2
Fibra Detergente Acida (% MS)	11,6
Cenizas (% MS)	2,6
Energía Metabolizable, Mcal/kg MS	3,1

Adaptado de Rovira y Velazco, (2014).

Existen dos factores que condicionan el éxito del ensilaje de grano húmedo, la calidad de la fermentación (el período de almacenamiento anaeróbico) y la humedad de cosecha del grano que debe estar entre 25 y 35%. Según Owens y Zinn (2005) si se cosecha el grano con una humedad menor al 25% (entre 20 y 24) no habrá incremento en el valor nutritivo del grano. Respecto al grano de sorgo cosechado seco, la degradabilidad ruminal de la materia seca se incrementa con el ensilaje de grano húmedo; esta diferencia es particularmente marcada en los genotipos altos en taninos respecto a los bajos en taninos (Curbelo, 2010). El incremento en la digestibilidad del almidón del sorgo cosechado temprano y ensilado húmedo está relacionado con el aumento en la solubilidad de las proteínas que conforman la matriz proteica (Owens y Zinn, 2005). De acuerdo con Curbelo (2010), este tratamiento deja más disponibles los componentes del grano a la degradación ruminal, actuando tanto a nivel de las proteínas como de los taninos del grano; como resultado, hay un incremento de la velocidad de degradación, de la MS y de la PB (Curbelo, 2010). García y Santos y col. (2012) trabajando con variedades de sorgo

altas y bajas en taninos, reportan que luego de 180 días de almacenamiento anaeróbico la concentración de taninos en las variedades altas en taninos disminuyó desde 0,54-0,86% (al momento del ensilaje) hasta 0,13-0,29%. La inactivación de los taninos durante el almacenamiento anaeróbico es debida a la polimerización a moléculas insolubles y de baja reacción con las proteínas (Mitaru y col., 1984).

Repetto y col. (2005) comparando dos genotipos distintos (altos y bajos en taninos) en dos momentos de cosecha; temprana (humedad \geq 24%) y tardía (humedad $<$ 14%); reportan que la anticipación de la cosecha y el ensilaje produce un incremento en la degradabilidad efectiva del grano de hasta un 48% en el genotipo alto en taninos y de un 37% en las variedades bajas en taninos. La mejora en la degradabilidad ruminal tras la cosecha temprana y ensilaje estaría explicada por un incremento en la fracción soluble (Bianco y col., 2000; Caorsi y Olivera, 2005; Repetto y col., 2005; Curbelo, 2010). Este efecto es independiente del genotipo que se trate (Curbelo, 2010). A su vez, el proceso de fermentación *per se* durante el ensilaje tiene efectos en la composición y en el sitio de digestión del grano de sorgo cosechado en etapas tempranas de maduración (Tortero y col., 2012; Araújo y Urrestarazú, 2014). Estos autores reportan caídas en el nivel de proteína y taninos condensados, un aumento en la digestibilidad *in vitro* y cambios en el sitio de digestión, con un aumento de la degradabilidad ruminal y una disminución de la digestibilidad intestinal en los granos húmedos ensilados respecto a los mismos granos sin ensilar.

A pesar del incremento que se logra en el valor nutritivo del grano de sorgo por la cosecha temprana y el ensilaje del grano húmedo, una parte muy importante del sorgo que se comercializa en Uruguay es bajo la forma de grano seco. Esto lleva a la necesidad de profundizar en alternativas de tratamientos que aplicadas sobre granos cosechados en un estado de maduración tardía tengan impacto en incrementar el valor nutritivo del grano.

Procesamientos sobre el grano de sorgo cosechado seco

Quebrado y Molido

Éstos son tratamientos físicos que consisten en la ruptura del pericarpio y exposición del endospermo, el proceso implica el pasaje del grano a través de dos rodillos para disminuir el tamaño de partícula. El tamaño de partícula final varía dependiendo del peso, presión (espacio entre los rodillos), del contenido de humedad del grano y de la velocidad de pasaje del grano por los rodillos (Galyean y col., 1997). La disrupción del pericarpio a la vez que expone el endospermo, incrementa la superficie de ataque para la flora bacteriana del rumen; facilitando la colonización y digestión microbiana. Aunque el molido sea muy fino, los gránulos de almidón continúan embebidos en la matriz proteica (de Blas y col., 1995), aun así hay un incremento en la digestibilidad por aumento de la superficie de contacto entre el endospermo y las enzimas digestivas (McAllister y col.,

1993; Huntington, 1997). Este procesamiento simple y económico tiene gran difusión en la alimentación de bovinos.

Agregado de Urea

Este tratamiento consiste en el agregado de urea al grano de sorgo cosechado con alta humedad o seco. En el primer caso, se usan concentraciones de urea que van de 2 a 6% del peso seco, posibilita el almacenamiento anaeróbico del grano sin enmohecerse (Russell y col., 1988). En el grano seco, la urea es usada en la misma concentración, pero en una solución con agua, para que el grano de sorgo alcance una humedad de 30%, lográndose así la reconstitución (Russell y col., 1988). Una vez que la urea entra en contacto con el agua, se hidroliza y libera NH_3 ; controla el aumento de temperatura asociado con la respiración microbiana y reduce el número de colonias de hongos viables (Russell y col., 1988). En adición, varias publicaciones mencionan que este tratamiento puede tener la capacidad de disminuir la concentración de taninos totales (Russell y Lolley, 1989; Montiel y col., 2006; Montiel y col., 2012). Esta acción sobre los taninos estaría dada mediante la desestabilización de la unión proteína-tanino a través del incremento del pH (Montiel y col., 2012); este efecto depende de la concentración de urea utilizada, ya que a un 2% no se conseguiría el efecto deseado (Bianco y col., 2000). Montiel y col. (2012), evaluando el agregado de un 2% de urea en variedades de sorgo con alto contenido en taninos cosechados y ensilados con 35% de humedad, reportan que el tratamiento con urea incrementó la digestibilidad *in vitro* y disminuyó la concentración de taninos totales en un 70%, resultados similares a los reportados por Russell y Lolley (1989) con concentraciones de 2, 4 y 6% de urea.

Procesamiento del grano de sorgo: Tratamientos que implican el agregado de agua

Se han descrito varios tratamientos para mejorar la utilización del sorgo cosechado seco; ellos son el remojado, reconstituido y germinado. Tienen en común la adición de agua al grano entero, mientras que los tiempos de almacenaje aeróbicos y anaeróbicos son variables. En los tratamientos que implican un período de almacenamiento de más de 24 h serán las condiciones de almacenamiento (aerobiosis o anaerobiosis) y la duración del mismo lo que determinarán qué proceso producirá las alteraciones en el grano; mientras que en la germinación es la activación de enzimas endógenas del grano, en la reconstitución es la fermentación y la degradación microbiana las que determinan la respuesta. En ambos casos, se producirán alteraciones en las proteínas y matriz proteica que provocara un incremento en la degradabilidad y fermentabilidad de los granos así tratados (Balogun y col., 2005).

La reconstitución del grano implica la adición de agua hasta alcanzar una humedad de entre 25 a 35% seguido del almacenamiento en condiciones de anaerobiosis durante 14 a

21 días (Balogun y col., 2005); este tratamiento es efectivo en aumentar la digestibilidad del grano de sorgo (Simpson y col., 1985; Rooney y Pflugfelder, 1986; Hill y col., 1991) a través de la degradación fermentativa de la matriz proteica del endospermo, haciendo que el almidón esté más disponible para la digestión (Rooney y Pflugfelder, 1986). A pesar de ello, los diferentes autores no coinciden en el efecto de la reconstitución; Hill y col. (1991) encontraron que la reconstitución al 28% de humedad y ensilado en condiciones de anaerobiosis produjo el aumento en la degradabilidad ruminal y en la digestibilidad en todo el tracto digestivo del almidón en relación al grano de sorgo seco. Sin embargo, Balogun y col. (2005) no encontraron diferencias de la reconstitución por 21 días sobre la degradación ruminal de la MS y la fermentación *in vitro* en relación al grano seco. Hibberd y col., (1985), reconstituyendo grano de sorgo de variedades con alta y baja concentración de taninos al 30 % de humedad, comunica un aumento de la digestión ruminal y total de las variedades de sorgo bajas en taninos. Según este autor la fermentación del almidón digestible en rumen se incrementó de 69,1 a 91,1 %; sin embargo, la fermentación ruminal del almidón del sorgo alto en taninos no fue alterada por la reconstitución.

El remojado, además de ser un tratamiento, es el primer paso de la reconstitución a partir de los granos cosechados secos; consiste en el agregado de agua hasta cubrir el grano durante 21 a 24 hs y posterior drenado del agua sobrante (Simpson y col., 1985). Los cambios morfológicos que se observan en el endospermo son similares a los que se producen durante la germinación, principalmente a nivel del endospermo periférico (Sullins y col., 1971). Simpson y col. (1985), sugieren que éste procedimiento determina la respuesta a la reconstitución ya que, si bien este tratamiento no ocasionó cambios en la composición química del grano, sí determinó una mejora en la digestibilidad del grano similar a la ocurrida en la reconstitución. Sin embargo, Balogun y col. (2005), no encuentran efectos del remojado en la degradabilidad ruminal de la MS y en la producción de gas *in vitro* con relación al grano seco. Es así que según estos autores el incremento en el valor nutricional en la reconstitución no puede ser explicado sólo por el remojado. Sullins y col. (1971), sugieren que los cambios que se producen en el endospermo del grano reconstituido (interrupción de la matriz proteica y liberación de gránulos de almidón) son similares a los ocasionados durante la germinación; en el mismo sentido, Pflugfelder y col. (1986) comunica que la reconstitución del sorgo sin una fase aeróbica previa (germinación) no ocasiona cambios en la composición del grano que puedan llevar a un incremento en su digestibilidad.

La germinación del grano provoca la activación de enzimas endógenas que llevan a la hidrólisis de las proteínas, particularmente de las ubicadas en el endospermo; lo que determina incrementos en la solubilidad del nitrógeno y de los carbohidratos en los granos (Pflugfelder y col., 1986; Balogun y col., 2005 y 2006). En este sentido, algunos autores reportan que breves períodos de germinación antes de su almacenamiento anaeróbico parecen acelerar en gran medida la fermentación bacteriana del grano de sorgo lo que mejora la digestibilidad de éste en los rumiantes (Pflugfelder y col., 1986; Balogun y col., 2005). Es así que Hibberd y col. (1986) sugieren que es el inicio de la germinación, una

posible causa de los fuertes aumentos en la solubilidad de la proteína en el grano de sorgo reconstituido después de 24 h de almacenamiento aeróbico. Balogun y col., (2006), comparando diferentes tiempos de germinación vs sorgo cosechado seco y molido demuestran que, para incrementar la fermentación del almidón, el tiempo mínimo debe de ser entre 3 y 5 días, no observándose diferencias entre ambos tiempos, alcanzándose en ese momento la máxima fermentabilidad del sorgo.

La combinación de almacenamiento aeróbico (germinación) + almacenamiento anaeróbico (reconstitución) producen aumentos considerables en la degradabilidad de la materia seca, en la producción de gas total, en la producción de AGV y en la fermentación del almidón medida *in vitro* del grano de sorgo cuando éste fue sometido a germinación durante 5 días o a germinación por 5 días y luego ensilado por 16 días (Balogun y col., 2005 y 2006).

Como se ha mencionado, varias publicaciones nacionales destacan un incremento importante en la degradabilidad ruminal y el aprovechamiento digestivo del grano de sorgo cuando es cosechado en estado de maduración temprana y se los ensila húmedos (Bianco y col., 2000; Caorsi y Olivera, 2005; Repetto y col., 2005; Curbelo, 2010; Araújo y Urrestarazú, 2014). Sin embargo, dado que la mayoría del grano de sorgo que se comercializa bajo la forma de grano seco, surge la necesidad de profundizar en alternativas de tratamientos que permitan incrementar el valor nutritivo del grano de los diferentes genotipos de sorgo cuando se lo cosecha en un estado de maduración tardío como grano seco. En este sentido, la reconstitución del grano seco, que conlleva el remojado del grano para reconstituir su humedad y el almacenamiento anaeróbico, es un tratamiento de bajo costo que puede incrementar el valor nutritivo del sorgo (Simpson et al. 1985, Rooney & Pflugfelder, 1986, Hill et al. 1991). Sin embargo, los procesos que determinan el incremento del valor nutritivo de los granos reconstituidos no están del todo claros. Dada la variabilidad en los resultados reportados en la bibliografía internacional, surge la necesidad de profundizar en el conocimiento de los efectos que los procesos involucrados en la reconstitución del grano tienen para mejorar el valor nutritivo del sorgo, de modo de optimizar la respuesta a este tratamiento.

HIPÓTESIS:

La reconstitución de la humedad y el ensilaje de granos de sorgo cosechados secos determinarán cambios en la composición del grano que determinarán cambios en el sitio de digestión en comparación con el grano seco. Este efecto será mayor cuando se combina con una etapa aeróbica previa.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto sobre la composición química, el sitio de digestión y la digestibilidad en todo el tracto de los procesos involucrados en la reconstitución de granos de sorgo cosechados seco.

Objetivos particulares

Evaluar el efecto del remojado, el germinado, el ensilado y de la asociación del germinado y el ensilado de granos de sorgo cosechados seco sobre:

- la composición química de los granos.
- el sitio de digestión en bovinos.
- la digestibilidad en todo el tracto de bovinos

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en la Unidad de Digestión y Metabolismo Ruminal de los departamentos de Nutrición Animal y Bovinos de la Facultad de Veterinaria (UdelaR), situado en el Instituto de Producción Animal de Facultad de Veterinaria (IPAV, Libertad, San José). El protocolo experimental se desarrolló siguiendo las recomendaciones de la Comisión Honoraria de Experimentación Animal (UdelaR, Montevideo, Uruguay).

Sobre 5 muestras de sorgo (BMR 1000, Flash 1, Flash 10, 3034 y Joward Food; IPB[®], San José, Uruguay) obtenidas de chacras comerciales del departamento de San José y cosechadas en estado de maduración tardía (grano seco), se aplicaron 6 distintos tratamientos:

Tratamiento 1: Grano seco molido (Control)

Tratamiento 2: Grano remojado por 24 horas (Rem)

Tratamiento 3: Grano germinado por 5 días (G)

Tratamiento 4: Grano germinado por 5 días y ensilado por 21 días (Ge)

Tratamiento 5: Grano reconstituido y ensilado por 21 días con el grano entero (ERE)

Tratamiento 6: Grano reconstituido y ensilado por 21 días con el molido (MRE)

Para el tratamiento Control y MRE, el grano fue molido en un molino a martillo (JF 2D, JF Máquinas Agrícolas Ltda, Itapira, SP, Brasil) con una zaranda de 3 mm. Para el

tratamiento Rem se utilizaron cantidades iguales de grano de sorgo seco y agua, se mezcló y luego de 24 horas se drenó el agua sobrante y el grano fue congelado. Para los tratamientos G, Ge, ERE y MRE la humedad que se alcanzó mediante la adición de agua fue de 30%, luego según el tratamiento a aplicar los granos fueron mantenidos en condiciones de aerobiosis por 5 días (G), en aerobiosis por 5 días y luego en anaerobiosis por 21 días (Ge), en anaerobiosis por 21 días con el grano entero (ERE) o en anaerobiosis por 21 días con el grano previamente molido (MRE). El ensilaje se hizo en recipientes plásticos de 5 kg de capacidad. El material dentro del recipiente fue comprimido manualmente, fueron cerrados de manera hermética y se mantuvieron durante 21 días en cuarto oscuro y a 20°C. Para cada tratamiento se hicieron tres repeticiones.

Procedimientos y Determinaciones:

Análisis químicos: Sobre todas las muestras se determinó el contenido de materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína bruta (PB) y fibra ácido detergente (FAD) según A.O.A.C. (1997). La fibra neutro detergente (FND) se determinó de acuerdo con Mertens (2002). El contenido de Almidón se determinó mediante hidrólisis enzimática usando un kit comercial (K_TSTA 07/11, Megazyme International Ireland, Irlanda). El contenido de taninos condensados se midió según el método propuesto por Makkar (2000). Se hicieron todos los análisis por duplicado aceptando coeficientes de variación del 5%.

Sitio de digestión: El sitio de digestión se determinó sobre tres novillos de raza Holando ($405 \pm 10,3$ kg de PV), que se prepararon quirúrgicamente con cánulas en el saco dorsal del rumen y duodeno proximal, según la técnica de las "bolsas móviles" descrita por Hvelplund (1985). Durante el experimento, los animales permanecieron alojados en boxes de metabolismo, alimentados con una dieta compuesta por 2/3 de henolaje de avena (94,0 g/kg proteína bruta (PB), 540 g/kg FND y 342 g/kg FAD, base seca) y 1/3 de un concentrado compuesto en base a sorgo (226 g/kg PB, 175 g/kg FND y 68,7 g/kg FAD, base seca). La dieta total contenía en base seca, 138 g/kg PB, 415 g/kg FND y 251 g/kg FAD. El alimento fue distribuido a un nivel de consumo de 70 g MS/kg PV^{0.75}, en dos veces al día teniendo los animales libre acceso a agua fresca. La adaptación de los animales a la dieta se realizó durante un periodo de 14 días. Muestras de sorgo (5 g, secadas a 60°C hasta peso constante y molidas a 1 mm) de cada tratamiento y repetición fueron introducidos por duplicado en bolsas de nylon (10,5 x 21,0 cm; 52 µm de tamaño de poro, ANKOM Technology Corp., Fairport, NY, USA) y se incubaron en el rumen durante 16 h. Se hicieron dos series de incubación ruminal en cada novillo en días diferente. Una vez retiradas del rumen, las bolsas fueron lavadas con agua corriente por 5 minutos y luego congeladas. Una vez realizadas las dos series de incubación en rumen todas las bolsas fueron descongeladas y lavadas nuevamente con agua corriente, luego todas las bolsas fueron secadas en condiciones similares (60°C hasta peso constante).

Para estudiar la digestibilidad intestinal (DI) se usaron los residuos de las bolsas ruminales. Se tomaron muestras de 0,2 g y se colocaron en bolsas del mismo material que las ruminales, especialmente diseñadas para intestino con un tamaño de 3 x 2 cm y 52 µm

de tamaño de poro. Previo a la colocación de las bolsas en intestino, éstas fueron incubadas por 2,5 h a 39°C en una solución de HCl 0,1 M conteniendo 3 g/L de pepsina (Sigma P7125; Sigma, St. Louis, MO, USA) para simular la digestión abomasal y secadas nuevamente (60°C hasta peso constante). Posteriormente se colocaron a través de la cánula duodenal, 32 bolsas por animal y por día con espacios de 15 min entre cada una. La permanencia de más de 48 hs de una muestra en intestino la invalidaba. Las bolsas móviles fueron recolectadas en heces, lavadas y congeladas. Luego de la descongelación, todas las bolsas se lavaron nuevamente con agua corriente y se secaron bajo las mismas condiciones (60°C hasta peso constante). Se determinó el contenido de MS y de almidón en cada una de las muestras. La degradabilidad ruminal y la digestibilidad intestinal de la MS y del almidón se calculó como el porcentaje del material desaparecido luego de la incubación. La digestibilidad en todo el tracto digestivo se calculó como la suma de la degradación ruminal y la digestibilidad intestinal.

Análisis estadístico:

La composición química y el sitio de digestión fueron comparados entre tratamientos por análisis de varianza, utilizando el procedimiento Mixto SAS, de acuerdo al siguiente modelo: $Y_{ij} = \mu + T_i + P_j + e_{ij}$, donde Y_{ij} es el parámetro analizado, μ es la media general, T_i es el efecto fijo del tratamiento ($i = \text{seco, Rem, G, Ge, ERE, MRE}$), P_j es el efecto aleatorio de la muestra de sorgo ($j = 1, 2, 3, 4 \text{ o } 5$) y e_{ij} el error residual, para el sitio de digestión el modelo también incluyó al animal como efecto aleatorio. En caso de detectarse diferencias entre medias las mismas fueron comparadas por el test de Tukey. Se consideraron diferencias significativas cuando $P < 0,05$.

Cuadro 6. Composición química de las muestras de sorgo usadas.

	Joward Food	3034	Flash 1	Flash 10	BMR 1000
MS ⁽¹⁾ (g/kg)	897±2,2	892±1,6	898±0,1	891±0,3	899±1,0
Composición (g/kg MS)					
MO ⁽²⁾	987±0,5	986±0,4	988±0,1	985±0,1	987±0,3
Almidón	724±1,8	660±12,5	684±4,7	727±5,8	732±5,5
N total ⁽³⁾	13,7±0,41	12,6±0,51	12,9±0,49	13,8±0,58	14,0±0,25
FND ⁽⁴⁾	76,9±5,74	138±13,1	112±10,8	111±4,6	159±21,6
FAD ⁽⁵⁾	25,2±2,19	47,9±1,24	51,9±0,02	37,7±2,82	49,8±3,50
TC ⁽⁶⁾	0,943±0,8623	9,49±0,579	13,0±0,38	0,688±0,4833	9,85±0,533

(1)MS, material seca;(2)MO, material orgánica;(3)N total, nitrógeno total;(4)FND, fibra neutro detergente;(5) FAD, fibra ácido detergente;(6) TC, taninos condensados. Los datos son presentados como las medias ± desvío estándar (n = 3).

RESULTADOS

Composición química.

La composición química resultante de los diferentes tratamientos sobre el grano de sorgo se expone en el cuadro 7. Como era esperable, el contenido de materia seca (MS) de los tratamientos que implicaron la adición de agua (Rem, G, Ge, ERE, y MRE) fue menor que el grano seco. El remojado fue el tratamiento con menor contenido de MS ($633 \pm 4,1$ g/kg de MS). Respecto al control el contenido de materia orgánica (MO) no varió por el remojado o el reconstituido y ensilado con el grano entero, sin embargo los tratamientos que involucraron al germinado (G y Ge) y el reconstruido y ensilado con el grano molido determinaron una disminución de la MO, ($P < 0,01$, Cuadro 7). El contenido de almidón no varió entre el grano seco, el tratamiento germinado y el reconstituido y ensilado con el grano molido, sin embargo el remojado, germinado y ensilado, y el reconstituido y ensilado con el grano entero determinaron una reducción en el contenido de almidón ($P < 0,01$). Esta reducción fue particularmente importante (25% de la inicial) en el tratamiento Ge, mientras que en los tratamientos remojado germinado y reconstituido y ensilado con el grano entero la reducción fue entre 10-13% ($P < 0,01$). Los niveles de Nitrógeno total (N total) fueron mayores que tratamiento germinado sin detectarse diferencias entre los demás tratamientos y el control ($P < 0,01$). No se detectaron diferencias significativas en la concentración de fibra neutro detergente (FND) y fibra ácido detergente (FAD) ($P > 0,05$). Los tratamientos reconstituido y ensilado (tanto con el grano entero como molido) fueron efectivos para disminuir la concentración de taninos condensados en las muestras de sorgo tratadas ($P < 0,01$), la magnitud de esta disminución fue del 76 y 86% para los tratamientos ERE y MRE respectivamente. Dentro de los tratamientos que incluyeron fermentación, el Ge y ERE tuvieron menor pH que el tratamiento MRE ($4,49$ vs $5,33 \pm 0,11$).

Cuadro 7. Composición química de granos de sorgo: secos (control), remojados por 24 horas (Rem), reconstituidos hasta 30% de humedad y luego germinados por 5 días (G), germinados por 5 días y ensilados por 21 días (Ge), ensilados por 21 días con el grano entero (ERE), o ensilados por 21 días con el grano previamente molido (MRE)

	Seco	Rem	G	Ge	ERE	MRE	DS	P
MS ⁽¹⁾ , (g/kg)	896 ^a	633 ^d	732 ^b	688 ^c	694 ^c	689 ^c	4,1	<0,01
Composición, (g/kg MS)								
MO ⁽²⁾	986 ^a	986 ^a	985 ^{bc}	985 ^{bc}	985 ^{ab}	984 ^c	0,7	<0,01
Almidón	705 ^a	619 ^b	638 ^{ab}	530 ^c	613 ^b	673 ^{ab}	17,0	<0,01
N total ⁽³⁾	13,4 ^{bc}	13,0 ^c	14,5 ^a	13,6 ^{bc}	13,1 ^c	14,0 ^{ab}	0,29	<0,01
FND ⁽⁴⁾	119	105	120	92,7	133	102	13,1	0,09
FAD ⁽⁵⁾	42,5	40,5	41,0	40,0	42,6	43,4	7,08	0,73
TC ⁽⁶⁾	6,80 ^a	4,16 ^{ab}	8,42 ^a	4,76 ^{ab}	1,76 ^b	0,94 ^b	1,971	<0,01
pH	--	--	--	4,49 ^b	4,49 ^b	5,33 ^a	0,110	<0,01

(1)MS, material seca;(2)MO, material orgánica;(3)N total, nitrógeno total;(4)FND, fibra neutro detergente;(5) FAD, fibra ácido detergente;(6) TC, taninos condensados.

Sitio de digestión y digestibilidad total

El sitio de digestión y la digestibilidad total resultante de los diferentes tratamientos sobre el grano de sorgo se expone en el Cuadro 8. Tanto el sitio de digestión como la digestibilidad total de la MS fueron similares para los tratamientos control, germinado y reconstituido y ensilado con el grano entero. Si bien el remojado tuvo similar digestibilidad total de la MS que el control, este tratamiento determinó un cambio en el sitio de digestión con una caída en la degradación ruminal y un incremento en la digestibilidad intestinal de la MS ($P<0,01$). Tanto el germinado y ensilado como el reconstituido y ensilado con el grano molido fueron los únicos tratamientos efectivos en incrementar la digestibilidad total de la MS ($P<0,01$), este incremento se sustentó en una mayor degradación a nivel de rumen ($P<0,01$).

Respecto al control, tanto el remojado como el germinado determinaron una caída en la degradabilidad ruminal del almidón ($P<0,01$), si bien la digestibilidad intestinal aumentó esto no compensó la caída en la degradación ruminal determinando una menor digestibilidad total del almidón en estos tratamientos ($P<0,01$). Los tratamiento germinado y ensilado y reconstituido con el grano entero no determinaron cambios en la digestibilidad total del almidón, sin embargo estos tratamientos determinaron cambios en el sitio de digestión con una caída en la degradabilidad ruminal y aumento en la digestibilidad intestinal ($P<0,01$). El reconstituido y ensilado con el grano molido fue el único tratamiento que no se diferenció en digestibilidad total y sitio de digestión respecto al control.

Cuadro 8. Sitio de digestión y digestibilidad total de granos de sorgo: secos (control), remojados por 24 horas (Rem), reconstituidos hasta 30% de humedad y luego germinados por 5 días (G), germinados por 5 días y ensilados por 21 días (Ge), ensilados por 21 días con el grano entero (ERE), o ensilados por 21 días con el grano previamente molido (MRE)

	Seco	Rem	G	Ge	ERE	MRE	DS ^g	P ^h
Materia Seca								
DR ⁽¹⁾	0,650 ^{cd}	0,589 ^e	0,620 ^d	0,715 ^a	0,658 ^c	0,687 ^b	0,0190	<0,01
DI ⁽²⁾	0,201 ^{bc}	0,253 ^a	0,236 ^{ab}	0,175 ^c	0,206 ^b	0,197 ^c	0,0166	<0,01
DT ⁽³⁾	0,850 ^{bc}	0,843 ^c	0,856 ^{bc}	0,891 ^a	0,864 ^b	0,884 ^a	0,0068	<0,01
Almidón								
DR ⁽²⁾	0,658 ^a	0,517 ^d	0,548 ^c	0,605 ^b	0,582 ^b	0,676 ^a	0,0251	<0,01
DI ⁽²⁾	0,246 ^c	0,340 ^a	0,325 ^{ab}	0,305 ^b	0,297 ^b	0,248 ^c	0,0209	<0,01
DT ⁽³⁾	0,902 ^{ab}	0,857 ^d	0,872 ^{cd}	0,907 ^a	0,880 ^{bc}	0,925 ^a	0,0075	<0,01

1-DR, degradabilidad ruminal a las 16 horas de incubación en rumen; 2-DI, digestibilidad intestinal; 3-DT, digestibilidad total (calculada como la suma de DR y DI).

^g desvío estándar de la media (n = 15).

^h Nivel de significancia del efecto tratamiento. Diferentes letras en la misma fila, P < 0,05.

DISCUSIÓN

La leve pérdida de MO que se observó en los tratamientos germinado, germinado y ensilado y reconstituido con grano molido podrían ser explicados por la activación de procesos biológicos (germinación o ensilaje) que según Pflugfelder y col. (1986) llevan a la desaparición de MO. La relativa mayor caída en el contenido de almidón en comparación a la variación en la concentración de MO en los tratamientos germinado y ensilado, y reconstituido y ensilado con el grano entero indicaría que la caída en los niveles de almidón estarían relacionados a su degradación a compuestos más simples por causa estos tratamientos. Otros autores reportan una disminución en la concentración de almidón en los tratamientos que incluyeron germinación que se asoció a un aumento en la concentración de azúcares libres y nitrógeno soluble (Pflugfelder y col., 1986 y Balogun y col., 2005). Según estos autores, ésto fue consecuencia de la activación de enzimas endógenas durante la germinación del grano que degradan la estructura de la matriz proteica. En nuestro trabajo la germinación como único factor no determinó cambios en la concentración de almidón, pero cuando ésta fue combinada con el ensilaje determinó una caída importante en la concentración de este compuesto. En este sentido, Balogun y col. (2005), reportan que la combinación de germinación más almacenamiento anaeróbico por 16 días incrementa los niveles de azúcares libres y nitrógeno soluble, a la vez que reportan una disminución acentuada de los niveles de almidón en dicho tratamiento (superior a los tratamientos de remojado, reconstituido y germinado), similares resultados fueron obtenidos en nuestro ensayo (cuadro 7). La menor

concentración de almidón en el tratamiento remojado respecto al grano seco fue inesperada ya que otros autores no encontraron diferencias en la concentración de almidón entre granos de sorgo remojados y secos (Pflugfelder et al., 1986, Balogun et al., 2005). El hecho que el molido previo a la reconstitución y ensilado en el tratamiento MRE inhibe toda posibilidad de germinación podría explicar la causa de la falta de efecto de este tratamiento en la concentración de almidón.

La disminución en el contenido de taninos condensados se produjo en los tratamientos reconstituidos, fuera con grano entero o molido, en acuerdo con los resultados obtenidos por Mitaru y col. (1984). Este resultado puede atribuirse al efecto del proceso de ensilado sobre la concentración de taninos condensados como ya fue reportado por otros trabajos nacionales (Curbelo, 2010, Torterolo y col., 2012; García y Santos y col., 2012).

La mayor caída en el pH en los tratamientos germinado y ensilado, y reconstituido y ensilado con el grano entero respecto al reconstituido con el grano molido podría ser atribuido a una mayor presencia de azúcares solubles como consecuencia de una germinación voluntaria (germinado y ensilado) o involuntaria (reconstituido y ensilado con el grano entero), mientras que el molido previo a la reconstitución y ensilado en el tratamiento MRE inhibe toda posibilidad de germinación y por ende de formación de carbohidratos solubles que se usen para la fermentación y caída del pH.

Los procesos de germinación o de ensilaje de manera aislada no afectaron el sitio de digestión ni la digestibilidad total en los tratamientos con grano entero, pero cuando se combinaron ambos procesos en el grano germinado y ensilado (Ge) se incrementó la degradabilidad ruminal y la digestibilidad de la MS. Esto indicaría una sinergia entre ambos tratamientos que determina una mejora en la digestibilidad ruminal y total de la MS resultado que está en acuerdo con Pflugfelder y col. (1986). Estos autores sugieren que un período de almacenamiento aeróbico previo al almacenamiento anaeróbico ocasiona mejoras en la digestibilidad del grano para rumiantes mediante aceleración de la fermentación bacteriana (Pflugfelder y col., 1986). En otro estudio derivado del presente trabajo (Artegoitia, 2014), se determinó la producción de gas *in vitro*, la misma confirma el efecto sinérgico de la germinación y el ensilaje en el tratamiento Ge ya que este tratamiento tuvo una mayor tasa de fermentación y un menor tiempo en producir la mitad del gas asintótico ($P < 0,01$).

La mayor degradabilidad ruminal y digestibilidad total de la MS en el tratamiento reconstituido y ensilado con el grano molido podría ser debido a la exposición del endospermo a la fermentación y a la caída en los niveles de taninos condensados, resultados que van en la misma línea de lo reportado por Torterolo y col. (2012).

La menor degradación ruminal del almidón en los tratamientos G, Ge y ERE podría estar asociado al proceso de germinación desarrollado en estos tratamientos (en el ERE se produciría también una germinación, aunque no intencional). La fracción de almidón de más fácil fermentación pudo haberse consumido durante el proceso de germinación,

lo que ocasionaría un incremento en la concentración de almidón más resistente a la fermentación ocasionando una menor degradación ruminal. El tratamiento reconstituido y ensilado molido (MRE) fue el único capaz de incrementar significativamente ($P<0,05$) la degradabilidad ruminal y la digestibilidad total de la MS sin afectar el sitio de digestión del almidón. El hecho que en este tratamiento no se puede producir la germinación, reafirma el concepto de que los cambios en la composición que determina la germinación llevarían a la disminución de la degradación del almidón.

CONCLUSIONES E IMPLICANCIAS

La adición de agua por sí sola, el proceso de germinación o de ensilaje como hechos aislados en grano de sorgo enteros producen cambios en la composición química pero no mejoran la digestibilidad total respecto al grano seco. La combinación de ambos procesos (germinación + ensilaje) es efectiva en modificar la composición química y además produce un incremento en el aprovechamiento digestivo del grano. Asimismo, la molienda previo a la reconstitución del grano de sorgo seco es una alternativa para incrementar la digestibilidad del grano de sorgo.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Akbar, MA., Lebzien, P., Flachowsky, G., (2002). Measurement of yield and in situ dry matter degradability of maize varieties harvested at two stages of maturity in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 100: 53-70.
- 2) Artegoitia, A. 2014. Evaluación de tratamientos aplicados sobre grano de sorgo cosechado seco: efecto en la composición química y producción de gas in vitro. Tesis de grado. Facultad de Veterinaria, Udelar. Montevideo, Uruguay. 35p.
- 3) Araújo, R. y Urrestarazú, M., 2014. Evaluación del efecto del ensilado en granos de sorgo cosechados húmedo sobre el sitio de digestión en bovinos. Tesis de grado. Facultad de Veterinaria, Udelar. Montevideo, Uruguay. 32p.
- 4) Balogun RO., Rowe, JB., Bird, SH., (2005). Fermentability and degradability of sorghum grain following soaking, aerobic or anaerobic treatment. *Animal Feed Science and Technology* 120: 141-150.
- 5) Balogun, RO., Bird, SH., Rowe, JB., (2006). Germination temperature and time affect in vitro fermentability of sorghum grain. *Animal Feed Science and Technology* 127:125-132.
- 6) Bianco, A. Goñi V., Oholeguy S. (2000). Efecto del procesado y el contenido de taninos del grano de sorgo sobre la composición química y la digestión de la materia seca en rumiantes. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_granos/04-taninos_del_grano_de_sorgo.pdf Fecha de consulta 17/01/2017.
- 7) Butler LG. (1982). Relative degree of polymerization of sorghum tannin during seed development and maturation. *J. Agric. Food Chem.* 30: 1090-1094.
- 8) Caorsi, ML., y Olivera, AP., (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 de grado. Facultad de Agronomía, Udelar. Montevideo. Uruguay. 68p.
- 9) Capurro, A. Perspectiva económica de los principales países compradores de productos ovinos del Uruguay. Los cambios estructurales y la nueva coyuntura global. Seminario 50 años SUL, Montevideo, Uruguay. Disponible en: http://www.sul.org.uy/descargas/des/13.A._Capurro_Perspectiva_económica_de_los_principales_países_compradores_de_productos_ovinos_del_Uruguay.pdf Fecha consulta 17/01/2017.
- 10) Chessa, A., (2001). Calidad del sorgo granífero. *Revista Agro Mercado.* 62:7-9.

- 11) Curbelo, A., 2010. Ensilaje de granos de sorgo con diferente contenido en taninos: efecto sobre la composición química, degradabilidad ruminal, digestibilidad intestinal y fermentescibilidad. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. 101p.
- 12) Duodu KG., Taylor JRN., Belton PS., Hamaker BR. (2003). Factors affecting sorghum protein digestibility. *Journal of Cereal Science* 38. 117-131.
- 13) de Blas C., Rebollar PG., Mendez J. (1995). Utilización de cereales en dietas de ganado vacuno. XI Curso de especialización FEDNA. Barcelona. España. 19p.
- 14) Eckhoff SR., and Watson SA., (2009). Corn and sorghum starches: Production in *Starch Chemistry and Technology*. BeMiller J. and Whistler R., Ed. Academic Press.
- 15) Evers AD., Blakeney AB., Brien LO. (1999). Cereal structure composition. *Aust. J. Agric. Res.* 50: 629-650.
- 16) Galyean, ML., Wagner, DG. and Owens, FN. (1997). Dry matter and starch disappearance of corn and sorghum as influenced by particle size and processing. *J. Dairy Sci.* 64: 1804-1812.
- 17) García y Santos C., Basilio D., Orihuela JJ., Suarez G. Felix A. Cajerville C. (2012). Dinámica de los taninos condensados en cuatro silos de grano húmedo de sorgo en el tiempo. *Veterinaria* 48:143.
- 18) Hamaker, BR., Mohamed, AA., Habben, JE., Huang, CP., Larkins, BA., (1995). An efficient procedure for extracting maize and sorghum kernel proteins reveals higher prolamins contents than the conventional method. *Cereal Chemistry* 72: 583-588.
- 19) Hibberd CA., Wagner DG., Schemm RL., Mitchell ED, Hintz RL., Weibel DE. (1982). Nutritive characteristics of different varieties of sorghum and corn grains. *Journal of Animal Science.* 55. 665-672.
- 20) Huntington G.B. (1997). Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *J. Anim. Sci.* 75: 852-867.
- 21) Herrera-Saldana, RE., Huber, JT., Poore, MH., 1990. Dry matter, crude protein, and starch degradability of five cereal grains. *J. Dairy Sci.* 73: 2386-2393.
- 22) Hill TM., Shmidt SP., Russell RW., Thomas EE., Wolfe DF., (1991). Comparison of urea treatment with established methods of sorghum grain preservation and processing on site and extent of starch digestion by cattle. *J. Anim. Sci.* 69: 4570-4576.

- 23) Hibberd CA., Wagner DG., Schemm RL., Mitchell ED., Hintz RL., Weibel DE., (1982). Nutritive characteristics of different varieties of sorghum and corn grains. *J. Anim. Sci.* 55: 665-672.
- 24) Hibberd CA., Wagner DG., Hintz RL., Griffin DD., (1985). Effect of sorghum grain variety and reconstitution on site and extent of starch and protein digestion in steers. *J. Anim. Sci.* 61: 702-712.
- 25) Hibberd CA., Wagner DG., Schemm RL., Mitchell JR., Weibel DE., and Hintz RL. (1986). Response of different sorghum grain and maize varieties to reconstitution. *Animal Feed Science and Technology* 15: 231-244.
- 26) Huntington G.B., Harmon D.L., Richards C.J. (2006). Sites, rates, and limits of starch digestion and glucose metabolism in growing cattle. *J. Anim. Sci.* 84(E. Suppl.): E14–E24.
- 27) Huntington G.B. (1997). Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *J. Anim. Sci.* 75: 852-867.
- 28) Hvelplund T. 1985. Digestibility of rumen microbial protein and undegraded dietary protein estimated in the small intestine of sheep by *in sacco* procedure. *Acta Agric. Scand. Suppl.* 25
- 29) Kotarski SF., Waniska RD., and Thurn KK., (1992). Starch hydrolysis by the ruminal microflora. *Journal of Nutrition* 122: 178-190.
- 30) Krueguer WK., Gutierrez-Bañuelos H., Carstens GE., Min BR., Pinchak WE., Gomez RR., Anderson RC., Krueguer NA., Forbes TDA. (2010). Effects of dietary tannin source on performance, feed efficiency, ruminal fermentation, and carcass and non-carcass traits in steers fed a high-grain diet. *Animal Feed and Technology* 159:1-9.
- 31) Kumar R., Singh M., (1984). Tannins: Their adverse role in ruminant nutrition. *J. Agric. Food Chem.* 32: 447-453.
- 32) Magalhães PC., Alvarenga Rodrigues W., Durães FOM. (1997). Tanino no grão de sorgo. *Bases Fisiológicas e Métodos de determinação.* EMBRAPA – CNPMS. Circular técnica, 27p.
- 33) Makkar HPS. (2000). Quantification of tannins in tree foliage. *FAO/IAEA Working Document IAEA, Vienna, Austria.* 41:247-259

- 34) Maxson WE., Shirley RL., Bertrand JE., Palmer AZ. (1973). Energy values of corn, bird resistant and non-bird resistant sorghum grain in rations fed to steers. *J. Anim. Sci.* 37: 1451-1457.
- 35) McAllister T. A., Phillippe R. C., Rode L. M., Cheng K. J. (1993). Effect of the Protein Matrix on the Digestion of Cereal Grain by Ruminal Microorganisms. *J. Anim. Sci.*; 71:205-212.
- 36) McAllister, T.A., Cheng, K.J. (1996) Microbial strategies in the ruminal digestion of cereal grains. *Animal Feed Science and Technology* 62: 29-36.
- 37) McDonald P., Edwards R., Greenhalgh J., Morgan C. (2006). *Nutrición Animal*. 6° ed. Zaragoza, Acribia. 587p.
- 38) Menkir A., Ejeta G., Butler L. and Melakeberhan A. (1996). Physical and chemical kernel properties associated with resistance to grain mold in sorghum. *Cereal Chem.* 73: 613-617.
- 39) Mertens DR. (2002). Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds using refluxing in breakers or crucibles: collaborative study. *J.AOAC Int.* 85:1217-1240.
- 40) Mgap DIEA. (2013). 2: Producción vegetal; Cultivos cerealeros y de verano. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/unidad-ejecutora/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/publicaciones/anuarios-diea/anuario-2013>. Fecha de consulta: 28/01/2017.
- 41) Mgap DIEA (2016). Anuario Estadístico 2016. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/unidad-ejecutora/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/publicaciones/anuarios-diea/anuario2016> Fecha de consulta: 28/01/2017.
- 42) Mieres J.M., (2004). Guía para alimentación de rumiantes. Serie Técnica N° 142, INIA. Montevideo, Uruguay.
- 43) Mitaru B.N., Reichert R.D., Blair R. (1984). Kinetics of tannin deactivation during anaerobic storage and boiling treatment of high tannin sorghum. *J. Food Sci.* 49: 1566-1568.
- 44) Montiel M.D., Elizalde J.C., Santini, F., Giorda, L. (2012). Desactivación de taninos en grano humedo de sorgo con polietilenglicol o urea. *Arch. Zootec.* 61 (234): 235-244.

- 45) Montiel M.D., Elizalde J.C., Santini, F., Giorda, L. (2011). Características físicas y químicas del grano de sorgo. Relación con la degradación ruminal en bovinos. Arch. Zootec. 60 (231):533-541.
- 46) Montiel M.D., Elizalde J.C. (2004). Factores que afectan la utilización ruminal del grano de sorgo en vacunos. Rev. Arg. Prod. Anim. 24 (1-2):1-20.
- 47) Nocek J.E., Russell J.B. (1988). Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. J. Dairy Sci. 71:2070-2107.
- 48) NRC, Nutritional requirements of beef cattle (2000). 7a ed. Washington D.C. National Academies Press. 248 p.
- 49) Offner A., Bach A., Sauvant D., (2003). Quantitative review of in situ starch degradation in the rumen. Anim. Feed Sci. Technol. 106: 81-93.
- 50) Ørskov, ER, (1986). Starch utilization in ruminants. J. Anim. Sci. 63:1624-1633.
- 51) Owens FN., Zinn RA. (2005). Corn Grain for Cattle: Influence of Processing on Site and Extent of Digestion. Proc. Southwest Nutr. Conf.: 86-112.
- 52) Philippeau C., Landry J., Michalet-Doreau B. (1998). Influence of the biochemical and physical characteristics of the maize on ruminal starch degradation. J. Agric. Food Chem. 46: 4287-4291.
- 53) Pflugfelder, RL., Rooney, LW. and Schake, LM. (1986). The role of germination in sorghum reconstitution. Anim. Feed Sci. Technol. 14: 243-254.
- 54) Reed JD. (1995). Nutritional Toxicology of Tannins and Related Polyphenols in Forage Legumes. J. Anim. Sci. 73: 1516-1528.
- 55) Repetto JL., Curbelo A., Melognio E., Ortiz R., Cajarville C., (2005). Ruminal degradation of different genotypes of sorghum grain harvested with high or low moisture. Congresso Brasileiro de Buiatria. Búzios, Brasil. 54:73-80 (abstract).
- 56) Rooney LW., Pflugfelder RL., (1986). Factors affecting starch digestibility with especial emphasis on sorghum and corn. J. Anim. Sci. 63: 1607-1623.
- 57) Rovira P., (2014). Suplementación de bovinos con grano húmedo de sorgo y fuentes proteicas sobre campo natural. Serie Técnica N° 212. INIA. Ed. Hemisferio Sur; Montevideo, Uruguay. 92 p.

- 58) Russell RW., Lin JCM., Thomas EE., Mora EC., (1988). Preservation of high-moisture milo with urea: grain properties and animal acceptability. *J. Anim. Sci.* 66:2131-2139.
- 59) Russell RW., Lolley JR., (1989). Deactivation of tannin in high tannin milo by treatment with urea. *J. Dairy Sci.* 72: 2427-2430.
- 60) Simpson EJ. Jr., Schake LM., Pflugfelder RL., Riggs JK. (1985). Evaluation of moisture uptake, aerobic and anaerobic phases of reconstitution upon sorghum grain digestibility and performance of steers. *J. Anim. Sci.* 60: 877-882.
- 61) Streeter MN., Wagner DG., Hibberd CA., Mitchell ED., Oltjen JW. (1990). Effect of variety of sorghum grain on digestion and availability of dry matter and starch *in vitro*. *Anim. Feed Sci. Technol.* 29: 279-287.
- 62) Sullins RD., Rooney LW., Riggs JK, 1971. Physical changes in the kernel during reconstitution of sorghum grain. *Cereal Chemistry* 48: 567-575.
- 63) Theurer CB., (1986). Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *J. Anim. Sci.* 63: 1649-1662.
- 64) Torterolo M., Curbelo A., Cajarville C., Repetto JL., Aguerre M. (2012). Silage process affects chemical composition and digestion site in high moisture sorghum grain. *J. Anim. Sci.* 90 (Suppl. 3): 201.
- 65) Wong JH., Lau T., Cai N., Singh J., Pedersen JF., Vensel WH., Hurkman WJ., Wilson JD., Lemaux PG., Buchanan BB, (2009). Digestibility of protein and starch from sorghum (*Sorghum bicolor*) is linked to biochemical and structural features of grain endosperm. *Journal of Cereal Science* 49: 73-82.