

AUMENTO DE LA PARTICIPACION DEL GRANO DE SORGO EN LAS DIETAS DE RUMIANTES: ¿OPORTUNIDAD O CONDICIONAMIENTO PARA EL LOGRO DE NIVELES ALTOS DE PRODUCCION?

José Luis Repetto¹, Ana Curbelo², Martín Aguerre³, Cecilia Cajarville⁴

¹Departamento de Bovinos, Fac. de Veterinaria ²Ejercicio Liberal, ³Ejercicio Liberal y Estudiante de Doctorado, Fac. de Veterinaria, Becario de ANII ⁴Departamento de Nutrición, Fac. de Veterinaria

El grano de sorgo es ampliamente utilizado en el país, aunque la información internacional de que se dispone es limitada y a nivel nacional existen contradicciones en cuanto a resultados de su aplicación en el sector productivo. Esto hace que el estudio de este grano sea de especial interés para nuestra región. Esta presentación pretende aportar elementos para conocer más sobre este recurso alimenticio, con gran potencial de su uso en Uruguay. Se resumen algunos datos de la bibliografía internacional y se plantea discutir los principales resultados de 6 experimentos realizados en el país directamente vinculados al potencial del sorgo como alimento para la alimentación de rumiantes.

El grano de sorgo en el Uruguay

Luego de muchos años de vaivenes en su crecimiento, la producción de grano de sorgo parece afianzada, duplicándose las cantidades producidas respecto a las de hace una década. Ese crecimiento no se basó en la comercialización del grano en el mercado internacional, favorable para los granos forrajeros, sino en el uso interno destinado a la alimentación animal. Si bien el grano de sorgo no se exporta en forma directa, lo hace a través de su participación en cada tonelada de carne, quesos y leche en polvo que sale al exterior.

La producción de grano de sorgo alcanzó en la zafra pasada en Uruguay niveles históricos máximos, tanto en lo referido al área sembrada, que se triplicó, como a la producción total y rendimiento por hectárea. El área sembrada fue de 88.000 hectáreas y la producción de grano de casi 400.000 toneladas. Pero esto es sólo una parte, la declarada a DIEA y que es destinada a la producción de grano seco. Si se calcula el resto del área sembrada, de acuerdo a la importación de semillas para siembra, la superficie estimada sembrada de sorgo llegaría a las 250.000 hectáreas sembradas como media para los últimos años (ver tabla 1). El área no considerada por DIEA es destinada principalmente a la producción de grano húmedo, aunque también una parte se destina a la confección de ensilaje de planta entera y a la implantación de verdeos de verano (Methol, 2012).

Tabla 1: Importaciones de semillas, potencial de siembra y área sembrada estimada por DIEA para el grano de sorgo (años 2003-2012, adaptado de Methol 2012)

Año	Importación de semilla (kg)	Siembra potencial (ha)	Porcentaje sobre el total potencial del área estimada por DIEA
2003	1.251.255	104.271	17
2004	1.345.987	112.166	17
2005	1.521.952	126.829	12
2006	2.367.171	197.264	22
2007	2.310.897	192.575	20
2008	3.482.233	290.186	23
2009	3.547.676	295.640	12
2010	1.981.106	165.092	19
2011	3.387.060	282.255	31
2012	2.775.127	231.261	30

Para el caso se asumió que la cantidad de semilla necesaria para sembrar 1 ha es de 12 kg de sorgo.

Si bien por el momento, el grano de sorgo presenta restricciones para la exportación, se espera que el incremento de la producción de grano siga creciendo a pedido de la producción animal. Este crecimiento basado en las demandas locales tiene perspectivas de futuro favorables, de acuerdo a las propias del sector lechero y cárnico. El ejercicio pasado mostró un record en cuanto al ingreso neto por hectárea para los productores lecheros (605 U\$/ha para la media de los productores agrupados en FUCREA), con un mercado externo que continua ávido de lácteos (Vidal, 2012). A esto se suma la utilización creciente de grano por parte de los productores de carne, originada por la intensificación de todos los procesos productivos y particularmente por el aumento de los engordes a corral. Todo hace pensar que la demanda interna seguirá incrementándose desde el sector lácteo y de producción de carne. Se debe agregar a lo mencionado, el hecho que el cultivo de sorgo es adecuado para incluir en los esquemas de rotaciones para controlar la erosión de los suelos de acuerdo a los Planes Pilotos de Uso y Manejo de Suelos del MGAP.



El grano de sorgo muestra históricamente una relación de precio favorable al compararlo con el maíz, como muestra la figura 1.

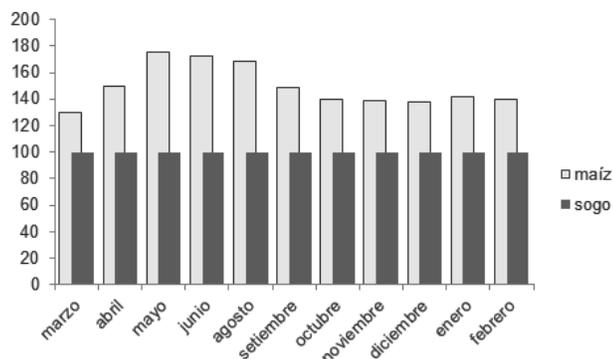


Figura 1: Relación de precios entre el maíz y el sorgo (sorgo = 100) durante la zafra comercial 2012-2013 (adaptado de Methol, 2012)

Esta relación muestra una ventaja comparativa nada menor en la utilización del grano de sorgo como fuente energética para los rumiantes. La diferencia en el aporte de nutrientes entre los dos granos es mucho menor que la diferencia en los precios. A esta ventaja se suma el hecho de que el cultivo de sorgo puede prosperar en lugares no favorables para el cultivo del maíz.

Los productores conocen estas ventajas y eso se refleja en el aumento sostenido en la producción de sorgo (250.000 ha de sorgo vs 140.000 ha de maíz potenciales de siembra en los últimos 2 años). Sin embargo ciertas restricciones atentan contra un crecimiento aún mayor. Son las mismas que dificultan la comercialización internacional y se podrían resumir en la gran heterogeneidad que presentan los diferentes granos, la mala calidad de algunos productos y la falta de indicadores claros de calidad del grano. Desde el punto de vista del valor nutritivo en el país se disponen de materiales que compiten en el aporte de nutrientes con el mejor de los otros granos y otros que ni siquiera podrían ser considerados concentrados de acuerdo a los nutrientes que aportan. Las diferencias mayores se encuentran entre los diferentes genotipos y particularmente entre los diferentes procesados de los materiales. A continuación revisaremos con más detalle estos conceptos.

El almidón de los granos

Los granos son ampliamente utilizados en las dietas por su aporte energético, que proviene del almidón, principal constituyente de los mismos. En la tabla 1 puede observarse la composición comparada de diferentes granos de cereales de acuerdo con Herrera-Saldana et al (1990).

Tabla 2: Composición química de cereales

%	Maíz	Sorgo	Trigo	Cebada	Avena
Materia Orgánica	98,5	98,3	98,3	97	97,7
Proteína Bruta	9,7	9,8	15,8	11	12,8
Almidón	75,7	71,3	70,3	64,3	58,1
FND	9,3	15,6	11,3	19,5	24
FAD	3,3	5,3	4,2	7,8	16,5
NIDA	1,1	3,6	1,1	0,6	0,3

Los almidones son carbohidratos complejos de muy alto peso molecular. Son homopolisacáridos constituidos una mezcla de moléculas de amilosa y amilopectina. La amilosa está constituida por cadenas lineales de glucosa unidas por enlaces glucosídicos α (1,4), mientras que la amilopectina es una cadena ramificada, cuyas ramificaciones se unen a una cadena central mediante enlaces α (1,6). Aunque las proporciones que representan la amilosa y la amilopectina son variables de acuerdo a la especie y genotipo del grano, en general la amilosa es minoritaria (menos del 30% del almidón) y puede ser muy baja o inexistente en algunos genotipos de grano como los cerosos (Rooney y Pflugfelder, 1986). El contenido de almidón dentro de una misma especie puede modificarse genéticamente, así como también los porcentajes de amilosa y amilopectina (Huntington, 1997). En general se acepta que la digestibilidad del almidón está en relación inversa a su contenido en amilosa (Montiel y Elizalde, 2004) ya que es menos soluble en agua y en otras soluciones que la amilopectina. Un mayor contenido en amilosa dificulta algunos tipos de procesamiento del grano. El contenido en amilosa es importante para animales monogástricos y para alimentación humana. En el caso de los granos que se utilizan para alimentar rumiantes adultos la estructura de la matriz proteica donde se ubica el almidón dentro del grano parecería ser más determinante sobre la magnitud y sitio de digestión del mismo, como se verá a continuación.

Dentro del grano, el almidón está contenido en el endospermo, estructura de reserva que representa entre el 80 y 85% del peso total (Montiel y Elizalde, 2004). A su vez, en el endospermo, el almidón se dispone en forma de gránulos rodeados por una matriz proteica. Esta matriz consiste principalmente en proteínas y carbohidratos no almidonosos, siendo relativamente insoluble en agua y resistente a la acción de enzimas hidrolíticas. De acuerdo con las características de dicha matriz, en el endospermo de los granos se diferencian al menos dos capas: una periférica, compuesta de gránulos embebidos en una matriz muy organizada (endosperma vítreo o córneo), y otra central, con mayor concentración de almidón, con una estructura granular más desorganizada o sin matriz proteica (endosperma harinoso). La matriz proteica del endosperma limita el acceso a los gránulos por las bacterias ruminales y está demostrado que esta estructura afecta negativamente la tasa y magnitud de la fermentación ruminal de los cereales (McAllister et al., 1993). Por esta razón, el almidón contenido en el endosperma harinoso es mucho más susceptible a la

degradación ruminal y a los procesos digestivos en general, así como a la acción de diferentes procesamientos, y una mayor abundancia relativa determina que el grano sea más degradable en el rumen y que su digestión, sea mayoritariamente por fermentación y no por digestión enzimática intestinal (Huntington, 1997; Corona et al., 2006). El endosperma córneo predomina en granos menos degradables en el rumen como el maíz o el sorgo y el harinoso en granos de rápida degradación como el trigo o la cebada. La relación endosperma córneo/harinoso está regulada genéticamente, aunque algunos factores son capaces de incrementarla, como la maduración del grano y la fertilización nitrogenada (Owens y Zinn, 2005).

¿Por qué algunos granos de sorgo son de difícil digestión?

El grano de sorgo se caracteriza por una gran variabilidad en su composición química y tipo de endospermo, la cual está determinada principalmente por el genotipo y también por las condiciones ambientales durante el crecimiento y maduración (Hibberd et al., 1982). Es así que se pueden encontrar grandes diferencias en el sitio y magnitud de la digestión del grano tanto entre genotipos como dentro de un mismo genotipo (Wester et al., 1992; Streeter et al., 1991). Veremos a continuación los principales factores que hacen que algunos granos de sorgo sean de especial difícil digestión.

Los granos de sorgo generalmente tienen una capa denominada endospermo periférico, compuesta por las primeras capas de células debajo de la aleurona. Este tejido se caracteriza por ser extremadamente duro, denso y resistente a la entrada de agua. Los gránulos de almidón que contiene son pequeños y están rodeados de un gran número de cuerpos proteicos (prolaminas) (Montiel y Elizalde, 2004). Como consecuencia de esto el almidón que contiene prácticamente no está disponible para la degradación enzimática.

Además de lo anterior, algunas variedades de sorgo pueden producir importantes cantidades de taninos. Los contenidos en taninos pueden alcanzar valores de hasta un 6,9%, valor muy elevado si se tiene en cuenta que un grano promedio contiene entre 0,1 y 1 % de este tipo de compuesto (Evers et al., 1999). Los taninos son metabolitos secundarios de las plantas que cumplen en funciones de defensa. Es así que los genotipos de sorgo con mayor contenido en taninos poseen ciertas ventajas agronómicas (mayor resistencia a la germinación pre-cosecha, resistencia a ataques de hongos, insectos y pájaros) lo que determina un mayor rendimiento del cultivo. Por esta razón, las variedades con elevado contenido en taninos son muy comunes en el mercado de cereales.

Químicamente, los taninos son polímeros de compuestos fenólicos. Existen dos tipos de taninos: los taninos hidrolizables y los taninos condensados. Los hidrolizables son susceptibles a la hidrólisis y tienen una mayor solubilidad (Reed, 1995), mientras que los condensados

(proantocianidinas) son moléculas más grandes y menos susceptibles de ser hidrolizados. El principal efecto biológico de los taninos es la habilidad de formar complejos indigestibles con las proteínas (Reed, 1995). A modo de ejemplo, los taninos del sorgo serían capaces de precipitar proteínas en cantidades 12 veces superiores a su propio peso (Duodu et al., 2003). En el caso de los rumiantes, estos complejos se formarían en el rumen, dado que se ven favorecidos por su pH cercano a la neutralidad, haciendo indigestibles las proteínas para la población ruminal. Como estos complejos son dependientes del pH y se mantienen estables a pH de entre 3,5 y 8,5, en condiciones normales, el pH del abomaso podría desdoblarlos y dejar libre para la digestión intestinal a sus componentes. Esto es lo que sucede de hecho con los complejos constituidos por proteínas y taninos hidrolizables, y es a través de este mecanismo que los taninos pueden ejercer efectos beneficiosos en el rumiante como prevención del timpanismo y aporte de proteína de pasaje (Wang et al. 1996). Sin embargo, cuando se trata de taninos condensados, la unión con las proteínas se produce mediante puentes de hidrógeno. Dicha unión es resistente al pH abomasal, por lo que termina dificultando la digestión de las proteínas y aumentando la cantidad de proteína excretada en heces. En un trabajo reciente, Montiel et al (2011) evaluando 16 variedades distintas de sorgos, observó una estrecha relación entre el contenido en taninos del sorgo y la degradabilidad de materia seca, la proteína y el almidón del grano. En nuestro país, Curbelo (2010), muestreando sorgos cosechados secos y húmedos en chacras comerciales observó que los contenidos en taninos condensados oscilaron entre 0.01 y 1.3 % de la materia seca del grano. Por otra parte, D' Alessandro et al., (1997) midiendo la digestibilidad de diferentes tipos de sorgo en cerdos comunicó valores llamativamente bajos para los identificados como altos en taninos. Más recientemente, otros trabajos realizados en el Departamento de Nutrición de la Facultad de Veterinaria reportan menores niveles de degradabilidad ruminal de genotipos altos en taninos respecto a los bajos (Curbelo et al., 2007), resultados que coinciden con los reportados por otros autores nacionales (Caorsi y Olivera, 2005, Bianco et al., 2000).

La interacción entre proteínas y taninos no solo modifica la digestibilidad del grano sino que también afecta su palatabilidad. La astringencia es la sensación causada por la unión de taninos y glicoproteína salivar, llevando a un aumento en la salivación y menor aceptabilidad (Reed, 1995). También se han descrito otros aspectos anti-nutricionales de estos compuestos como la interferencia con procesos digestivos y la toxicidad directa sobre algunos tejidos, acción tóxica directa sobre los microorganismos ruminales así como la inhibición de sus enzimas. Se ha comprobado que los taninos inhiben la actividad proteolítica, ureolítica y celulolítica en rumen así como también provocan una disminución en el número de protozoarios ruminales (Getacheu, 1999).



Tratamientos para aumentar la digestión del grano de sorgo

El tratamiento más simple es la molienda del grano. Este tendría en primer lugar, la función de romper las estructuras de protección del mismo. Adicionalmente, a medida que aumenta el grado de molienda, la reducción en el tamaño de partícula incrementa el área de contacto con las enzimas microbianas y vuelve a la estructura del grano más frágil y accesible a la digestión (Owens y Zinn, 2005). En el grano de sorgo, este tratamiento es especialmente importante dada la doble característica de ser un grano de pequeño tamaño y de tener una fuerte estructura de protección como ya se mencionó.

En general hay acuerdo en que los procesamientos húmedos son los más efectivos para incrementar la digestibilidad de los componentes del grano. Uno de ellos es la reconstitución, que implica el agregado de agua a granos secos hasta lograr una humedad de 25 a 35%, y posteriormente el almacenamiento en condiciones de anaerobiosis durante 14 a 21 días (Balogun et al., 2005). El oxígeno absorbido por el grano en el inicio de la germinación resulta en la hidrólisis de proteínas y carbohidratos en el endosperma. Cuando el oxígeno disminuye el proceso de germinación se detiene y comienza el de autólisis (Sullins et al. 1971). Otro evento que se ha demostrado durante la reconstitución de granos de sorgo es la disminución de la concentración de taninos, mediante la formación de polímeros insolubles de elevado peso molecular (Mitaru et al., 1984). En un trabajo reciente de nuestro equipo (Aguerre et al. 2012), se comparó el sitio de digestión de granos de sorgo sometidos a distintos tratamientos que involucran humedad. Los resultados se presentan en la tabla 3

Tabla 3. Efecto del tratamiento sobre el sitio de digestión de granos de sorgo (DR: digestión ruminal, DI: digestión intestinal, DT: digestión total)

	GS	GR	GG	GGE	REE	REM	REU	EEM
DR	65,0 ^{cd}	58,9 ^e	62,0 ^d	71,5 ^a	65,8 ^c	68,7 ^b	64,2 ^{cd}	1,8
DI	20,1 ^{bcd}	25,3 ^a	23,5 ^{ab}	17,5 ^d	20,7 ^c	19,7 ^{cd}	23,5 ^{ab}	1,7
DT	85,0 ^{cde}	84,3 ^e	85,5 ^{de}	89,1 ^a	86,4 ^{bcd}	88,4 ^{ab}	87,7 ^{abc}	0,5

Grano seco (GS), remojado (GR), germinado (GG), germinado y ensilado (GGE), reconstituido y ensilados, grano entero (REE), reconstituidos y ensilado grano molido (REM) reconstituido con urea (REU). Diferente letra en una misma fila $P < 0,05$; EEM: error estándar de las medias

Rooney y Pflugfelder (1986) indicaron que la matriz proteica del endosperma del grano de sorgo debe ser alterada si se pretende incrementar su valor nutritivo para rumiantes. Analizando histológicamente el efecto que tienen los diferentes procesamientos sobre la estructura del grano de sorgo, Sullins et al. (1971) concluyeron que el proceso de hidrólisis enzimática de proteínas, almidón y otros carbohidratos durante la reconstitución es similar al malteado de la cebada. El área que muestra mayor

grado de modificación es el endosperma periférico, adyacente a la aleurona, estructura donde se iniciarían los cambios hormonales que darían comienzo a la actividad enzimática. Para estos autores la reconstitución de granos enteros, molidos luego de 21 días de almacenamiento anaeróbico fue el tratamiento con mejores resultados.

Un tratamiento húmedo muy utilizado en Uruguay es el ensilaje de grano húmedo. El ensilaje del grano cosechado con una humedad entre 25 y 35% suma los efectos de una etapa de maduración temprana del grano, humedad y fermentación anaeróbica. Según datos reportados por la bibliografía, este tratamiento podría determinar valores de aprovechamiento digestivo similares a los logrados mediante aplicación de vapor y presión, con evidentes ventajas económicas (Owens y Zinn, 2005, Nocek y Tamminga, 1991).

Como ya se mencionó el estado de madurez influye sobre la degradabilidad ruminal de los cereales. Akbar et al. (2002) estudiando 6 variedades de grano de maíz encontraron que la degradabilidad ruminal de la materia seca disminuía a medida que aumentaba el grado de madurez al momento de cosecha. En el mismo sentido, Philippeau y Michalet-Doreau (1997) estudiando dos variedades de maíz cosechados en dos etapas de maduración, encontraron que la degradabilidad in situ del almidón disminuía con la madurez, siendo mayor la diferencia para el genotipo con mayor proporción de endosperma córneo. En el caso de los genotipos de sorgo con alto contenido en taninos, la disminución de la digestibilidad a medida que aumenta la madurez estaría agravada por la condensación de las moléculas de taninos así como por la mayor posibilidad de reacción química entre estos y otros componentes del grano (Doherty et al., 1987).

En nuestra región, Montiel y Elizalde (2004) reportaron una mayor degradabilidad de la materia seca de sorgos altos en taninos cuando fueron cosechados con 35% de humedad respecto a los cosechados con 25%. También trabajos realizados a nivel nacional comunican un aumento importante en la degradabilidad ruminal y en el aprovechamiento digestivo del grano de sorgo cuando se lo cosecha en un estado de maduración temprana y se los ensila como grano húmedo, respecto a los mismos cuando son utilizados en un estado de maduración tardía como grano seco (Repetto et al., 2005, Caorsi y Olivera 2005, Bianco et al., 2000). En un trabajo realizado con chacras de genotipos altos y bajos en taninos, Curbelo et al. (2007) observaron que el ensilaje incrementó el aprovechamiento digestivo de los granos de sorgo, principalmente incrementando la degradabilidad ruminal. Generalmente el ensilaje ya se realiza con el grano con algún grado de disminución de tamaño de partícula, es decir que involucra otro procesamiento. No obstante, Galyan et al. (1981) determinaron que el ensilaje de grano húmedo incrementa la digestibilidad de la materia seca más allá de la reducción en el tamaño de partícula. En definitiva, el ensilaje de grano húmedo, es reconocido



como un tratamiento que mejora el aprovechamiento digestivo de granos de cereales en general y del grano de sorgo en particular, aunque es escasa la información sobre los mecanismos exactos que actúan para lograrlo. Uno de los problemas es que lleva anidado el efecto de una cosecha temprana, que también beneficia la digestibilidad del grano. En este sentido, Torterolo et al. (2012) en un trabajo reciente, demostraron que el proceso de fermentación per se al que es sometido el grano húmedo de sorgo durante el ensilaje, hace disminuir el contenido en taninos y aumentar la digestión a nivel ruminal.

Tratamientos más agresivos aplicados a nivel industrial para aumentar el aprovechamiento digestivo de granos de difícil digestión, cosechados en una etapa de maduración tardía, generalmente implican la reducción de tamaño de partícula conjuntamente con la gelatinización del almidón o la disrupción de la matriz proteica que rodea a los gránulos de almidón (Offner et al. 2003). En este sentido, el "steam flaked", tratamiento que involucra la aplicación de vapor y calor seguido de un laminado posterior, determina la disrupción de la matriz proteica, un aumento en la solubilidad del almidón e incrementos en el aprovechamiento digestivo de los granos (DePeters et al., 2007, Offner et al., 2003). Theurner et al., (1999) estudiando el efecto del "steam flaked" en el aprovechamiento digestivo del grano de sorgo reportan cambios en el sitio de digestión del almidón con incrementos del 15% en la degradabilidad ruminal y del 2,5% en la digestibilidad total en los granos tratados. En el mismo sentido, Anguita et al., (2006) reportan incrementos en la digestión in vitro del almidón de varios tipos de grano cuando éstos fueron sometidos a procesos de cocción por vapor. Este tipo de tratamiento, muy utilizado en el hemisferio norte, aún no se ha impuesto en nuestra región. Es importante destacar, de todas formas, que según Owens y Zinn (2005), su efecto en cuanto a la disrupción de la matriz que rodea los gránulos sería equiparable a la del ensilaje como grano húmedo. Esta última afirmación lleva a reflexionar sobre el valor de la tecnología de elaboración de grano húmedo de sorgo. Este proceso, que compite con los tratamientos más sofisticados y costosos utilizados a nivel mundial, ya está impuesto a nivel nacional y es dominado por nuestros productores. Los esfuerzos por mejorar esta herramienta sin duda se verán recompensados por los resultados en producción.

Dadas las ventajas agronómicas del cultivo de grano de sorgo, el precio de este grano respecto a los otros y el hecho de que, a pesar de la gran variabilidad entre genotipos (que podría ser el principal condicionamiento), hay pruebas de que tratamientos de fácil aplicación tienen gran impacto en su aprovechamiento, sin duda este grano representa una gran oportunidad para mejorar la producción animal en nuestro país.

Referencias bibliográficas

● Aguerre M., Cajarville C., Artegoitia A., Audi M.,

Minteguiaga M., Repetto J.L. 2012. Evaluación de tratamientos aplicados sobre grano de sorgo cosechado seco: sitio de digestión. *Veterinaria (Montevideo)* 48 Suppl. 1, 132.

● Akbar M.A., 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.

● Anguita M., Gasa J., Martín-Orúe S.M., Pérez J.F. 2006. Study of the effect of technological processes on starch hydrolysis, on-starch polysaccharides solubilization and physicochemical properties of different ingredients using a two-step in vitro system *Anim. Feed Sci. Technol.* 129: 99-115.

● Balogun R.O., Rowe J.B., Bird S.H. 2005. Fermentability and degradability of sorghum grain following soaking, aerobic or anaerobic treatment. 2005. *Anim. Feed Sci. Technol.* 120: 141-150.

● 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. www.produccion-animal.com.ar

● Caorsi M. A., Olivera A.P. 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. Montevideo, Uruguay.

● Corona L., Owens F.N., Zinn R.A. 2006. Impact of corn vitreousness and processing on site and extent of digestion by feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84: 3020-3031.

● Curbelo A., Cajarville C., Melognio E., Repetto J.L. 2011. Ensilaje de granos de sorgo con diferente contenido en taninos: efecto sobre el sitio de digestión en rumiantes. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, v. 19: 396.

● 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 en Ciencias Agrarias (Orientación Ciencia Animal). Facultad de Agronomía, UdelaR, Uruguay. 84pp.

● Curbelo A., Cajarville C., Melognio E., Ortiz R., Repetto, J.L. 2007. Cinética de degradación ruminal de granos de sorgo: efecto del genotipo y del ensilado. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, v. 151, p. 368.

● DePeters E.J., Getachew G., Fadel J.G., Corona L., Zinn R.A. 2007. Influence of corn hybrid, protease and methods of processing on in vitro gas production *Anim. Feed Sci. Technol.* 135: 157-175.

● Doherty C.A., Waniska R.D., Rooney L.W., Earp C.F., Poe J.H. 1987. Free phenolics compounds in sorghum caryopsis and glumes during development. *Cereal Chem.* 64(1):42-46.

● Duodu K. G., Taylor J. R. N., Belton P. S., Hamaker B. R. 2003. Factors affecting sorghum protein digestibility. *J. of Cereal Sci.* 38: 117-131.



D'Alessandro J., Barlocco N., Peinado R., Garín D. 1997. Digestibilidad, balance nitrogenado y energía de granos de sorgo alto y bajo en taninos para cerdos. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol 17, Sup. 1.

- Evers A. D., Blakeney A. B., Brien L. O. 1999. Cereal structure composition. *Aust. J. Agric. Res.* 50: 629-650.
- Galyan M.L., Wagner D.G., Owens F.N. 1981. Dry Matter and starch disappearance of corn and sorghum as influenced by particle size and processing. *J. Dairy Sci.* 64: 1804-1812.
- Gatechew G., Makkar H.P.S., Becker K. 2000. Effect of the polyethilen glycol on in vitro degradability of nitrogen and microbial protein synthesis from tannin-rich browse and herbaceous legumes. *British J. Nutr.* 84: 73-83
- Herrera-Saldanha R. E., Huber J. T., Poore M. H. 1990. Dry matter, crude protein and starch degradability of five cereal grains. *J. Dairy Sci.* 73:2386-2393.
- Hibberd C.A., Wagner D.G., Schemm R.L., Mitchell E.D. Jr., Hintz R.L., Weibel D.E. 1982a. Nutritive characteristics of different varieties of sorghum and corn grains. *J. Anim. Sci.* 55: 665-672.
- Huntington G.B. 1997. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *J. Anim. Sci.* 75:852-867.
- 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 Ruminant Microorganisms. *J. Anim. Sci.* 71: 205-212.
- Methol M. 2012. Maíz y sorgo: situación y perspectivas. Anuario OPYPA. MGAP. Montevideo.
- 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.
- Montiel M. D. y 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.
- Montiel M.D., Elizalde J.C., Santini, F y Giorda, L. 2011. Características físicas y químicas del grano de sorgo. Relación con la degradación ruminal en bovinos. *Arch. Zootec.* 60 (231): 533-541.
- Nocek J. E., Tamminga S. 1991. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effects on milk yield and composition. *J. Dairy Sci.* 74: 3598-3629.
- Offner A., Bach A., Sauvart D. 2003. Quantitative review

of in situ starch degradation in the rumen. *Anim. Feed Sci. Technol.* 106: 81-93.

- Owens F.N., Zinn R. A. 2005. Corn Grain for Cattle: Influence of Processing on Site and Extent of Digestion. *Proc. Southwest Nutr. Conf.*: 86-112.
- Philippeau C., Michalet-Doreau B. 1997. Influence of Genotype and stage of maturity of maize on rate of ruminal starch degradation. *Anim. Feed Sci. Technology.* 68: 25-35.
- Reed J. D. 1995. Nutritional Toxicology of Tannins and Related Polyphenols in Forage Legumes. *J. Anim. Sci.* 73: 1516-1528.
- Repetto J.L., Curbelo A., Melognio E., Ortiz R., Cajarville C. 2005b. Ruminal degradation of different genotypes of sorghum grain harvested with high or low moisture. *Congresso Brasileiro de Buiatría. Búzios, Brasil.*
- Rooney L.W., R.L. Pflugfelder. 1986. Factors affecting starch digestibility with especial emphasis on sorghum and corn. *J. Anim. Sci.* 63: 1607
- Steeter M. N., Wagner D. G., Owens F. N., Hibberd C.A. 1991. The effect of pure and partial yellow endosperm sorghum grain hybrids on site and extent of digestion in beef steers. *J. Anim. Sci.* 69: 2571-2584.
- Sullins R.D., Rooney L.W., Riggs J.K., 1971. Physical changes in the kernel during reconstitution of sorghum grain. *Cereal Chem.* 48: 567-575.
- Theurer C.B, Lozano O., Alio A., Delgado-Elorduy A., Sadik M., Huber J.T., Zinn R.A. 1999. Steam-Processed corn and sorghum grain flaked at different densities alter ruminal, small intestinal, and total tract digestibility of starch by Steers. *J. Anim. Sci.* 77:2824-2831.
- Torterolo M., Curbelo A., Cajarville C., Repetto J.L., Aguerre M. 2012. Silage process affects chemical composition and digestion site in high moisture sorghum grain. *Journal of Animal Science*, v.: 90, E-suppl : 201
- Vidal M.E. 2012. Producción lechera: situación y perspectivas. Anuario OPYPA. MGAP. Montevideo.
- Wang Y., Douglas G. B., Waghorn G. C., Barry T. N., Foote A.G. 1996. Effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* upon lactation performance in ewes. *J. Agric. Sci.* 126: 353-362.
- Wester T. J., Gramlich S.M., Britton R.A., Stock R.A. 1992. Effect of grain sorghum hybrid on in vitro rate of starch disappearance and finishing performance of ruminants. *J. Anim. Sci.* 70: 2866-2872.