UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE VETERINARIA

"EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL ENSILADO EN GRANOS DE SORGO COSECHADOS HÚMEDO SOBRE EL SITIO DE DIGESTIÓN EN BOVINOS"

Por

Renato ARAÚJO TORRES

Marcos URRESTARAZÚ GUASQUE

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

2014

PÁGINA DE APROBACIÓN

Presidente de Mesa: ----------
Dr. SEBASTIAN BRAMBILLASCA

Segundo Miembro (Tutor): ----------
Dr. MARTIN AGUERRE

Tercer Miembro: ----------
Dr. MAXIMILIANO PASTORINI

Cuarto Miembro: ----------
Dr. JOSÉ LUIS REPETTO

Quinto miembro ----------
Dra. CECILIA CAJARVILLE

Fecha: 03 de Septiembre 2014

Autores:

RENATO ARAÚJO

MARCOS URRESTARAZÚ

AGRADECIMIENTOS

- A nuestro tutor, Dr. Martin Aguerre por darnos la oportunidad de realizar este trabajo, por confiar en nosotros, por su enseñanza continua, tiempo y dedicación brindada para que esto saliera adelante.

- Al Dr. Mauro Torterolo por su cooperación.

- A nuestra casa de estudios Facultad de Veterinaria UdelaR.

- A nuestros co tutores José Luis Repetto Y Cecilia Cajarville.

- A la Dra. Virginia Urrestarazú por el apoyo constante en la realización de este trabajo.

- A la Ing Agr. Camila Bonilla por su cooperación.

- A todo el personal del Laboratorio de nutrición de facultad de veterinaria, por brindarnos entrenamiento, apoyo científico, académico y ayuda en el procesamiento de las muestras.
.
- A todo el personal del campo experimental de Libertad, por brindarnos todo su apoyo a la hora de realizar los trabajos prácticos.

- A todos los compañeros de producción y clínica 2012, producción 2013 por brindarnos su ayuda incondicional, y principalmente por su cariño y amistad.

- A todo el personal de la biblioteca de Facultad de Veterinaria por habernos brindado un gran apoyo para la realización de la revisión bibliográfica.

- A todo aquel que de una u otra manera contribuyó a la realización de este trabajo.

- A nuestras familias y amigos por habernos apoyado en nuestra carrera, siempre con cariño y paciencia. Muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN……2
AGRADECIMIENTOS……..……..3
LISTA DE CUADROS Y FIGURAS…..……..5
RESUMEN……..……6
SUMMARY……..……7
INTRODUCCIÓN…..8
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA……..……..10
- Los granos de cereales para alimentación de rumiantes……10
- Características del grano de sorgo……12
- Procesamientos aplicados en los cereales……..13

HIPÓTESIS……17
OBJETIVO GENERAL……..……17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS……..……..17
MATERIALES Y MÉTODOS……..……..17
- Determinación del sitio de digestión……..……18
- Análisis estadístico……..……19

RESULTADOS.....20
DISCUSIÓN……..…….22
CONCLUSIONES.……24
BIBLIOGRAFÍA.……25

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

FIGURAS **PÁGINA**

Figura 1. Composición química de los granos de sorgo ensilados y sin ensilar 18

Figura 2. Efecto del ensilado sobre el sitio de digestión y la digestibilidad total del grano de sorgo cosechado húmedo. 20

Figura 3. Correlaciones entre la digestibilidad total con la degradabilidad ruminal y la digestibilidad intestinal. 21

Figura 4. Correlaciones entre degradabilidad ruminal e intestinal de granos de sorgo cosechados húmedos. 22

RESUMEN:

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del proceso de ensilaje de granos de sorgo cosechados húmedos sobre el sitio de digestión en bovinos. Se utilizaron muestras de 25 chacras comerciales de diferentes genotipos de sorgo obtenidas al momento de la cosecha para ensilaje de grano húmedo. Una submuestra de cada chacra fue congelada inmediatamente luego de ser tomada y otra fue ensilada (como grano entero) determinándose así dos tratamientos, grano húmedo sin ensilar y grano húmedo ensilado. Sobre 3 novillos Holando preparados quirúrgicamente con cánulas ruminales y duodenales se determinó el sitio de digestión de la materia seca (MS) según la técnica de las "bolsas móviles". Los animales fueron alimentados con una dieta compuesta por 2/3 de forraje y 1/3 de grano de sorgo molido. La degradabilidad ruminal de la MS se determinó incubando las muestras de sorgo en rumen durante 16 horas en bolsas de nylon (Ankom Technology Corp., Fairport, NY, USA). La digestibilidad intestinal (DI) se determinó sobre los residuos de la incubación en rumen. Se tomaron muestras de 0,2 g y se colocaron en bolsas del mismo material que las ruminales, especialmente diseñadas para intestino. Previo a la colocación de las bolsas en intestino, éstas fueron incubadas en una solución de pepsina y ácido clorhídrico con un pH 2 a 38,5ºC durante dos horas y media. Posteriormente se colocaron a través de la cánula duodenal y fueron recolectadas en heces. La digestibilidad total se calculó como la suma de la degradabilidad ruminal y la digestibilidad intestinal. No se encontraron diferencias en la digestibilidad total de los sorgos ensilados y sin ensilar (83,8 *vs* 83,5 ± 1,22 p = 0,76). Sin embargo, el proceso de ensilaje determinó cambios en el sitio de digestión. La degradabilidad ruminal de los sorgos ensilados tuvo un incremento de 7 puntos porcentuales respecto al no ensilado (58,5 *vs* 51,4 ± 2,38; p < 0,01) mientras que el proceso de ensilaje determinó una disminución en la digestibilidad intestinal de los granos ensilados respecto a los no ensilados (25,3 *vs* 32,0 ± 2,47; p < 0,01). De los parámetros de composición química sólo la humedad y el nivel de proteína se correlacionaron con los parámetros de sitio de digestión. El nivel de humedad del grano se correlacionó positivamente con la degradabilidad ruminal (r = 0,65, p < 0,01 Mientras que el nivel de proteína del grano se correlacionó negativamente con la degradabilidad ruminal (r = - 0,57, p < 0,01). En conclusión, si bien el proceso de ensilaje no incrementó el aprovechamiento digestivo de los granos de sorgo cosechados húmedos, este proceso determinó cambios en el sitio de digestión a través de un incremento en la degradabilidad ruminal y una disminución en la digestibilidad intestinal.

SUMMARY:

The aim of this study was to evaluate the effect of ensiling high-moisture sorghum grain on digestion site of bovines. Samples from 25 commercial farms of different sorghum genotypes early harvested for high-moisture silage making were used. A subsample from each farm was frozen immediately after being taken and another was ensiled (as whole grain), thereby determining two treatments, high-moisture grain and ensiled high-moisture grain. On 3 Holstein steers, surgically prepared with ruminal and duodenal cannulas dry matter (DM) digestion place was determined according to the mobile nylon-bag method. Animals were fed a diet of 2/3 of forage and 1/3 of ground sorghum grain. Ruminal degradability of DM was determined by incubating samples of sorghum in rumen for 16 h in nylon bags (Ankom Technology Corp., Fairport, NY, USA). The intestinal digestibility (DI) was determined on the residues of the incubation in rumen. Samples of 0.2 g were taken and placed in bags of the same material as in rumen, especially designed for gut. Prior placing in the intestine, intestinal bags were incubated in a pepsin and hydrochloric acid solution with pH of 2 at 38,5 °C for two and a half hours. Later, the bags were placed through the duodenal cannula and collected in feces. Total digestibility was calculated as the sum of the ruminal degradability and intestinal digestibility. No differences in total digestibility of ensiled and non-ensiled grains were found (83.8 vs. 83.5 ± 1.22; $p = 0.76$). Nevertheless, the ensiling process determined changes in the digestion site. The ruminal degradability of ensiled sorghum increased 7 percent units with respect non-ensiled grains (58.5 vs. 51.4 ± 2.38; $p < 0.01$), whereas the ensiling process determined a decrease in intestinal digestibility of ensiled grains (25.3 vs 32.0 ± 2.47; $p < 0.01$). From the chemical composition parameters only the moisture and the level of protein were correlated with the parameters of digestion site. The moisture content of the grains was positively correlated with ruminal degradability ($r = 0,65$; $p < 0,01$), while the protein level was negatively correlated with ruminal degradability ($r = -0.57$; $p < 0.01$). In conclusion, although the process of silage did not increase the digestive utilization of high-moisture sorghum grains, this process changed the digestion site through an increase in the ruminal degradability and a decrease in the intestinal digestibility.

Key words: sorghum grain, ensiling, ruminal degradability, intestinal digestibility.

Introducción:

En los últimos años, la producción de carne y leche en el Uruguay, así como sus precios han tenido un fuerte incremento. En la última década, la producción de carne vacuna aumentó un 14% (Ilundain y col., 2002; Mila y Tambler, 2012) y la faena un

pericarpio contiene vitaminas y otros nutrientes, este último actúa como barrera de protección contra agentes externos, impidiendo la pérdida de humedad y distribuyendo el agua dentro del grano (Van Barneveld, 1999). Otra estructura que presentan algunos granos llamados “vestidos” (cebada y avena por ejemplo) es la cáscara. Ésta es la capa más externa del grano compuesta por fibras vegetales, otorga protección al grano y a su vez actúa como diluyente, reduciendo proporcionalmente el valor energético del grano. Los granos que no presentan cáscara (maíz, sorgo o trigo por ejemplo) son denominados “desnudos” (McDonald y col., 2002).

Como se mencionó anteriormente el endospermo es el componente más importante del grano y se compone de áreas bien definidas donde el almidón se encuentra rodeado de estructuras proteicas de características diferentes. El endospermo periférico en el que se encuentra la mayor proporción de proteínas de escasa solubilidad llamadas kafirinas, es el menos accesible a la digestión enzimática (Duodu y col., 2003), este endospermo le otorga al grano una particular rigidez y resistencia a la degradación. El endospermo córneo, situado entre el periférico y el harinoso, tiene una matriz proteica prácticamente continua conformada principalmente por glutaminas y prolaminas que rodean a pequeños gránulos de almidón. Por último el endospermo harinoso ubicado en el centro del grano tiene gránulos de almidón de mayor tamaño rodeados de una estructura discontinua de proteínas solubles (albuminas y globulinas) haciéndolos más sensibles a la digestión (Rooney y Pfulgfelder, 1986). La proporción y composición de las diferentes partes del endospermo varían según el tipo y especie de grano (Rooney y Pfulgfelder, 1986).

El almidón es el principal constituyente del endospermo de los granos, variando su proporción de acuerdo al tipo de grano y a otros factores intrínsecos de la planta (Rooney y Pfulgfelder, 1986). Químicamente está formado por dos tipos de polímeros, la amilosa y la amilopectina. La digestibilidad del almidón es inversamente proporcional al contenido de amilosa (Rooney y Ppfulgfelder, 1986). Ésta representa del 14 al 34% del almidón de los cereales, caracterizándose por su estructura lineal y la resistencia a la disolución en agua. Por el contrario, la amilopectina constituye del 66 al 86% del almidón de los granos, es un polímero ramificado, soluble en agua y menos resistente al ataque enzimático (Kotarski y col., 1992). Existe una variedad de granos llamados cerosos o waxy donde la amilosa puede no estar presente o ser casi nula (Rooney y Ppfulgfelder, 1986).

La degradabilidad ruminal y la digestión post ruminal del almidón de los granos puede variar con el tipo de cereal, genotipo, el grado de adaptación de la microbiota ruminal a la dieta y la aplicación de procesamientos (Huntington, 1997). La participación del endospermo corneo y harinoso así como las características del almidón, en relación a los niveles amilopectina y amilosa, varía entre los distintos tipos y variedades de grano (Huntington, 1997; Owens y Zinn, 2005). El endospermo harinoso predomina en granos como el trigo y la cebada mientras que el corneo

predomina en maíz y sorgo. Estas diferencias estructurales juegan un papel importante en las características de degradabilidad ruminal en los distintos cereales (Huntington, 1997; Owens y Zinn, 2005) ya que el ataque microbiano a nivel ruminal se ve favorecido cuanto mayor proporción de endospermo harinoso contengan los granos (Owens y Zinn, 2005). La mayor resistencia del endospermo córneo a la colonización bacteriana y posterior digestión, disminuyen la degradación ruminal de granos como el maíz y sorgo (McAllister y col., 1990). En estos últimos el endospermo harinoso representa un 50% del total del almidón mientras que en el trigo puede llegar hasta un 80% (Evers y col., 1999; Owens y Zinn, 2005).

La eficacia de los tratamientos aplicados sobre los granos varía no sólo en función del método, sino también de la fuente de almidón. Existen diferencias en la susceptibilidad a la degradación ruminal entre los distintos cereales, diferencias que muchas veces no se perciben en la digestibilidad total del tracto digestivo producto del efecto compensatorio que ejerce la digestión post ruminal (Spicer y col., 1986). En este sentido, Knowlton y col (1998) realizaron un experimento donde utilizaron 6 vacas de 43 días de lactancia con cánulas ruminales y duodenales, para evaluar la digestión del maíz sometido a distintos procesamientos. La digestión del almidón en el rumen y el intestino delgado fue mayor para el maíz de alta humedad, pero la desaparición de almidón en el intestino fue mayor para el maíz seco (Knowlton y col., 1998). En comparación con el grano entero tanto el grano molido como el ensilado con alto contenido de humedad aumentaron la digestibilidad del almidón en el tracto total. Aunque la proporción deseada del grano que se digiera en cada sector del tubo digestivo puede variar en distintas situaciones productivas, el incremento en la digestibilidad total de este mejora el aprovechamiento del grano.

CARACTERÍSTICAS DEL GRANO DE SORGO:

El grano de sorgo tiene un tamaño que varía entre 2,5-5,5 mm y el peso de 100 granos debe oscilar entre los 2 y los 3 gramos para que el sorgo haya tenido un llenado normal durante la maduración. Estos parámetros están determinados por diferentes factores tanto genéticos como nutricionales (Calderón, 2010).

El sorgo comparado con otros granos presenta un menor valor nutricional para la alimentación animal (Herrera-Saldana y col., 1990). Esto es debido a que presenta mayor proporción de endospermo periférico que le otorga al grano su particular rigidez y resistencia a la degradación (Rooney y Ppfulgfelder, 1986; Waniska, 2000). A su vez, la mayor resistencia del endospermo córneo a la colonización bacteriana y posterior digestión, disminuyen la degradabilidad del grano (McAllister y col., 1990). Por esta razón, el almidón de los granos de sorgo es generalmente considerado menos accesible a la degradación enzimática respecto a otros granos (Rooney y Ppfulgfelder, 1986). Esto se debe a que la matriz proteica donde se encuentran los gránulos de almidón del sorgo es más densa comparada con la de otros granos (McNeil y col., 1975; Rooney y Ppfulgfelder, 1986).

El sorgo presenta una gran variabilidad de genotipos diferenciados por la proporción de sus componentes, la asociación que existe entre ellos y la presencia de taninos condensados que afectan negativamente el valor nutritivo del grano, ya que fijan las proteínas reduciendo su disponibilidad e inhiben la acción de la amilasa (Rooney y Pfulgfelder, 1986; Chessa, 2007). Esto determina que la degradabilidad ruminal de los distintos genotipos sea altamente variable oscilando entre un 56 y un 81% (Miller y col., 1972). Al igual que otros granos el almidón es el principal componente glucídico del sorgo y representa entre un 70 a un 80% de la materia seca. Está compuesto por amilopectina y amilosa, pudiendo esta última variar entre un 0 a un 30% (Rooney y Pfulgfelder, 1986) siendo la digestibilidad de su almidón inversamente proporcional al contenido de amilosa (Lichtenwalner y col., 1978). De las proteínas del endospermo las kafirinas son las que se encuentran en mayor cantidad, y son de baja solubilidad y valor nutricional debido a la carencia en aminoácidos esenciales (Seckinger y Wolf, 1973). A medida que el nivel de estas proteínas aumenta, la calidad nutricional del grano disminuye (Taylor y col., 1984). La escasa solubilidad y fermentación de las kafirinas inciden negativamente en la disponibilidad del almidón a nivel ruminal (Sullins y col., 1971; Duodu y col., 2003).

detiene la germinación y comienza la autolisis (Sullins y col., 1971). A medida que aumenta el contenido de humedad en la reconstitución del grano se produce un mayor aumento en la tasa de digestión del almidón (Stock y Mader, 1987). A su vez se ha demostrado que mediante este método se logra disminuir la concentración de taninos del grano (Mitaru y col., 1984), disminuyendo así la formación de complejos proteína-tanino que dificultan la disponibilidad de almidón afectando la digestibilidad del grano y su calidad nutricional (Van Barneveld, 1999).

Los métodos para el procesamiento que incluyen calor y humedad, como la fabricación de copos al vapor que suele realizarse en maíz, son métodos agresivos aplicados a nivel industrial para aumentar el aprovechamiento digestivo de granos. El método consiste en la cocción con vapor con un rolado posterior para producir una delgada lámina. Esta lámina cocida y afinada finalmente se deseca. Otro método que implica la utilización de calor es la micronizacion. Este término suele emplearse para describir la cocción por calor radiante seguida de la molienda en molino de rodillos (McDonald y col., 2002). En este tipo de tratamientos la aplicación de calor y presión causa una ruptura irreversible de la matriz proteica del endospermo, además logran una disminución de la cristalinidad del almidón aumentando así la solubilidad y la capacidad de absorción de agua del almidón incrementando el aprovechamiento digestivo de los granos (DePeters y col., 2007; Offner y col., 2003). Theurer y col (1999) estudiando el efecto del rolado con vapor en el aprovechamiento digestivo del grano de sorgo reportan cambios en el sitio de digestión del almidón, con un incremento del 15% en la degradabilidad ruminal y del 2,5% en la digestibilidad total en los granos tratados. En el mismo sentido, Anguita y col (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.

Un tratamiento de fácil aplicación a nivel de predio es el ensilaje de grano húmedo, que consiste en la cosecha anticipada del grano para luego conservarlo bajo condiciones de anaerobiosis. La cosecha del grano se realiza con un alto contenido de humedad de 25 a 30%, esto es importante debido a que la madurez fisiológica de la planta llega cuando tiene un 35% de humedad y en este momento alcanza el mayor peso seco, y la mayor cantidad de azucares totales (Montiel y col., 2006).

Respecto al grano seco, el ensilado presenta, además de ventajas nutricionales como la mejora en la digestión del almidón (Simpson y col., 1985) y la eficiencia de conversión del grano (Simpson y col., 1985; Stock y Mader, 1987), otras ventajas desde el punto de vista del manejo, como la liberación anticipada de la chacra, el ahorro en fletes y secado del grano (Stock y Mader, 1987). Generalmente este proceso se realiza con algún grado de disminución de tamaño de partícula, es decir que involucra otro procesamiento previo. No obstante, el ensilaje de grano húmedo incrementa la digestibilidad de la materia seca más allá de la reducción en el tamaño de partícula (Galyan y col., 1981). Durante el almacenamiento el grano es sometido a condiciones de anaerobiosis, donde la fermentación determina la formación de ácido láctico, esto ayuda a la preservación del grano. Luego del proceso de ensilado,

los gránulos de almidón quedan más susceptibles al ataque de las enzimas microbianas debido a una disrupción de la matriz proteica del grano (Rowe y col., 1999; Owens y Zinn, 2005). Por otra parte el almacenamiento bajo condiciones de anaerobiosis puede reducir el contenido de taninos de los granos (Reichert y col., 1980).

Los métodos de procesamiento que utilizan humedad (grano húmedo o reconstituido) mejoran la eficiencia alimenticia (Stock y Mader, 1987). Simpson y col (1985) realizaron varios experimentos evaluando el efecto de los procesamientos en el grano de sorgo sobre la digestibilidad y la eficiencia de conversión en novillos. Hallaron una mejora del 11 al 18% en la eficiencia de conversión a favor de los novillos alimentados con grano húmedo respecto al seco. Por su parte, Stock y Mader (1987) recopilaron datos de varios trabajos experimentales donde encontraron que el porcentaje de mejora en la eficiencia de alimentación del grano húmedo varía entre un 8 a un 20% respecto al grano seco. Riggs y McGinty (1970) realizaron varios ensayos comparando alimentación con granos cosechados temprano y ensilados con granos reconstituidos contra granos secos encontrando una mejora de 7 a 15% en la eficiencia de conversión del grano húmedo respecto al seco.

Varios son los trabajos realizados a nivel nacional que reportan un aumento importante en la degradabilidad ruminal y en el aprovechamiento digestivo del grano de sorgo cuando se los cosecha en un estado de maduración temprana y se los ensila húmedos respecto a los mismos cuando son utilizados en un estado de maduración tardía como grano seco (Curbelo y col., 2007; Repetto y col., 2005; Caorsi y Olivera, 2005; Bianco y col., 2000). Curbelo (2010) evaluando el efecto de la cosecha temprana y el ensilaje como grano húmedo de variedades de sorgo con diferente nivel de taninos reportaron un incremento del 45% en la degradabilidad ruminal y del 14% en la digestibilidad total del ensilaje respecto a los granos cosechados secos. En el mismo sentido Caorsi y Olivera (2005) reportaron aumentos significativos en la degradabilidad ruminal por el ensilaje de granos húmedos de sorgo. Así mismo, el estado de madurez también influye sobre la degradabilidad ruminal de los cereales. Akbar y col (2002) estudiando 6 variedades de grano de maíz encontraron que la degradabilidad ruminal de la materia seca del grano disminuía a medida que aumentaba el grado de madurez al momento de la cosecha. En el mismo sentido, 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%, resultados que coinciden con los reportados por Philippeau y Michalet-Doreau (1997) en grano de maíz.

Si bien el ensilaje de grano húmedo mejora el aprovechamiento digestivo del grano (Stock y Mader, 1987). Este tratamiento implica una cosecha anticipada del grano para luego conservarlo bajo condiciones de anaerobiosis (Chalkling Brasesco, 1997). En esta técnica se suman los efectos de una etapa de maduración temprana

a los del ensilaje del grano, aspecto que beneficiaría el aprovechamiento digestivo de algunos cereales (Philippeau y Michalet-Doreau, 1997; Akbar y col., 2002). Sin embargo no queda claro cuánto del incremento en el valor nutritivo de los granos ensilados se debe al proceso de ensilaje en sí, y cuánto a la cosecha anticipada. El presente trabajo pretende evaluar el efecto que tiene el proceso de ensilaje en el sitio de digestión de granos de sorgo cosechados en una etapa de maduración temprana.

HIPÓTESIS: El proceso de ensilaje incrementa el aprovechamiento digestivo de los granos de sorgos cosechados húmedos a través de una mayor degradabilidad ruminal y una mayor digestibilidad total.

OBJETIVOS:

Objetivo general

Evaluar el efecto del proceso de ensilaje en granos de sorgo cosechados húmedos sobre el sitio de digestión en bovinos.

Objetivos particulares

1- Evaluar el efecto del proceso de ensilaje en granos de sorgo cosechados húmedo sobre la degradabilidad ruminal, la digestibilidad intestinal y digestibilidad total en bovinos.

2- Buscar correlaciones entre los parámetros de sitio de digestión y la composición química, digestibilidad *in vitro* y parámetros de producción de gas *in vitro* de granos de sorgo cosechados húmedos.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en la Unidad de Digestión y Metabolismo Ruminal de los departamentos de Nutrición y Bovinos de la Facultad de Veterinaria (UdelaR) situada en el Campo Experimental N° 2 de Libertad (San José, Uruguay). Para la realización de la tesis se utilizaron muestras de grano húmedo de sorgo obtenidas por la DMTV, MSc, Ana Curbelo en su trabajo de tesis de maestría (Curbelo, 2010), la composición química de los granos se presenta en la tabla 1. Éstas se tomaron en el momento de la cosecha para ensilaje de grano húmedo de 25 chacras comerciales de diferentes genotipos de sorgo. Una submuestra de cada chacra fue congelada inmediatamente luego de ser tomada y otra fue ensilada (como grano entero) en recipientes de plástico de 1 kg de capacidad. Para la confección de los silos el material dentro del recipiente fue comprimido en forma manual, y luego cerrado con

tapa hermética manteniéndose en esa condición durante 60 días. Transcurrido este tiempo los silos fueron abiertos y el material congelado para su posterior procesamiento. De esta manera se compararon **2 tratamientos**:

- granos de sorgo cosechados en una etapa temprana de maduración **sin ensilar**

- granos de sorgo cosechados en una etapa temprana de maduración **ensilados**

Sobre las muestras así obtenidas se evaluó el sitio de digestión en bovinos y se buscaron correlaciones con la composición química, digestibilidad *in vitro* y parámetros de producción de gas *in vitro* ya reportados (Curbelo, 2010). La composición química de los granos de sorgo ensilados y sin ensilar se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Composición química de los granos de sorgo ensilados y sin ensilar utilizados en el experimento (Curbelo, 2010).

	Sin ensilar	**Ensilados**	**P**
Humedad (%)	26.28 ± 9.54	26.53 ± 9.62	ns
PB (%)	7.87 ± 1.21	7.56 ± 0.97	0.03
Cenizas (%)	1.02 ± 0.24	1.03 ± 0.41	ns
MO (%)	98.98 ± 0.24	98.97± 0.41	ns
FND (%)	9.76 ± 1.63	9.53 ± 1.69	ns
TC (%)	0.66 ± 0.43	0.43 ± 0.38	0.002
DIVMS (%)	93.72 ± 3.12	94,16 ± 0.21	0.007

Medias ± desvío estándar; PB: Proteína Bruta; MO: Materia Orgánica; FND: Fibra Neutro Detergente; porcentajes en base seca; TC: taninos condensados expresados como g equivalentes a cloruro de cianidina/100 g de MS; DIVMS: Digestibilidad in vitro de MS; P: probabilidad; ns: no significativo (P>0.05).

Determinación del sitio de digestión:

El sitio de digestión de la materia seca (MS) se determinó sobre 3 novillos Holando (405 ± 10 kg de peso vivo) preparados quirúrgicamente con cánulas ruminales y duodenales, según la técnica de las "bolsas móviles" descrita por Hvelplund (1985).

Los animales fueron alojados en jaulas metabólicas y alimentados a un nivel de 70 g MS/ kg $PV^{0.75}$ con una dieta compuesta por 2/3 de forraje y 1/3 de grano de sorgo molido. La dieta contenía (base seca) 138 g/kg PB, 415 g/kg NDF and 251 g/kg ADF. Luego de 15 días de adaptación de los animales a la dieta las muestras de sorgo (2 gramos de MS) se incubaron por duplicado en el rumen durante 16 horas en bolsas de nylon (10.5 × 21 cm; 52 µm tamaño de poro, ANKOM Technology Corp., Fairport, NY, USA). Luego las bolsas fueron retiradas del rumen y lavadas de forma manual por 5 minutos en agua corriente y congeladas. Una vez descongeladas, las bolsas fueron nuevamente lavadas en agua corriente hasta que el agua quedara totalmente limpia. Luego de lavadas las bolsas fueron secadas en horno de aire forzado (60°C por 48 horas). Para determinar la digestibilidad intestinal (DI) se utilizaron los residuos de las bolsas ruminales. Se tomaron muestras de 0,2 g del residuo y se colocaron en bolsas del mismo material que las ruminales, especialmente diseñadas para intestino con un tamaño de 3 x 2cm. Previo a la colocación de las bolsas en intestino, éstas fueron incubadas en una solución de pepsina (3 g/L; Sigma P7125; Sigma, St. Louis, MO, USA) y HCl (0,1 N) a 39°C durante dos horas y media con el fin de simular la digestión abomasal. Luego de este proceso las bolsas intestinales se colocaron a través de la cánula duodenal (para cada animal se colocaron 32 bolsas por día a intervalos de 15 minutos) y se recolectaron en heces. Por último las bolsas fueron lavadas y secadas de la misma forma descrita para las bolsas ruminales, determinando el contenido en MS. La degradabilidad ruminal y la digestibilidad intestinal se calculó como el porcentaje del material desaparecido luego de la incubación. La digestibilidad total se calculó como la suma de la degradabilidad ruminal y la digestibilidad intestinal.

Análisis estadístico:

Los resultados de degradación ruminal, digestibilidad intestinal y digestibilidad total fueron comparados entre tratamientos por análisis de varianza, utilizando el procedimiento Mixto de SAS (SAS versión 9.0, SAS Institute, Cary, NC, USA), de acuerdo al siguiente modelo: $y_{ij} = \mu + T_i + A_j + e_{ij}$, donde y_{ij} es el parámetro analizado, μ es la media poblacional, T_i es el efecto fijo del tratamiento, A_j es el efecto aleatorio del animal y e_{ij} el error residual. A su vez se buscaron correlaciones para describir relaciones entre las variables de sitio de digestión y la composición química, digestibilidad *in vitro* y parámetros de producción de gas *in vitro* obtenidas de las mismas muestras por Curbelo (2010) mediante el procedimiento Corr de SAS (SAS versión 9.0, SAS Institute, Cary, NC, USA). Se consideraron diferencias significativas cuando $p \leq 0,05$ y tendencias cuando $0.05 < p \leq 0.10$. Los resultados se presentan como las medias ± error estándar de la media.

RESULTADOS:

En la Figura 1 se muestra el efecto del ensilado sobre el sitio de digestión y la digestibilidad total de granos de sorgo cosechados húmedos. No se observaron diferencias en la digestibilidad total de los sorgos ensilados y sin ensilar (83,8 *vs* 83,5 ± 1,22 p= 0,76). Sin embargo, el proceso de ensilaje determinó cambios en el sitio de digestión. La degradabilidad ruminal de los sorgos ensilados tuvo un incremento del 7 puntos porcentuales respecto a los no ensilado (58,5 *vs* 51,4 ± 2,38; p< 0,01), mientras que el proceso de ensilaje determinó una disminución en la digestibilidad intestinal de los granos ensilados respecto a los no ensilados (25,3 *vs* 32,0 ± 2,47; p< 0,01).

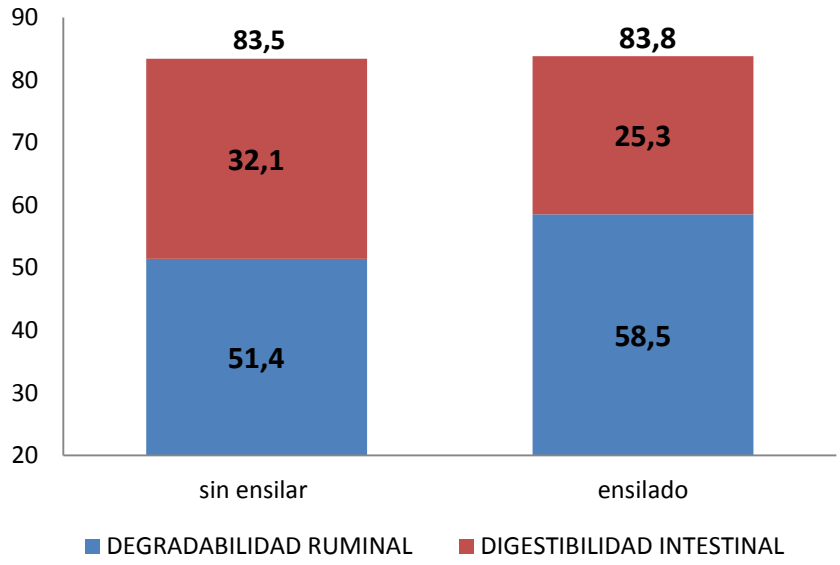

Figura 1. Efecto del ensilado sobre el sitio de digestión y la digestibilidad total del grano de sorgo cosechado húmedo (n=25 por tratamiento).

La digestibilidad total se correlacionó positivamente con la degradabilidad ruminal (r = 0,79; p < 0,01) y negativamente con la digestibilidad intestinal (r = -0,43; p < 0,01) (Figura 2 A y B). En el mismo sentido, la degradabilidad ruminal se correlacionó negativamente con la digestibilidad intestinal (r = -0,90; p < 0,01) (Figura 3). De los parámetros de composición química sólo la humedad y el nivel de proteína se correlacionaron con los parámetros de sitio de digestión. El nivel de humedad del grano se correlacionó con la digestibilidad total (r = 0,42; p < 0,01), la degradación ruminal (r = 0,65; p < 0,01) y la digestibilidad intestinal (r = -0,66, p < 0,01). Mientras que el nivel de proteína del grano se correlacionó con la digestibilidad total (r = 0,37; p < 0,01), la degradación ruminal (r =-0,57; p < 0,01) y la digestibilidad intestinal (r = 0,57; p < 0,01). Tanto el volumen de gas de rápida producción (Vfr) como la tasa de

degradación de la fracción rápidamente fermentescible (Kdr) se correlacionaron con la degradabilidad ruminal (r = 0,46 y 0,45; p < 0,01, respectivamente).

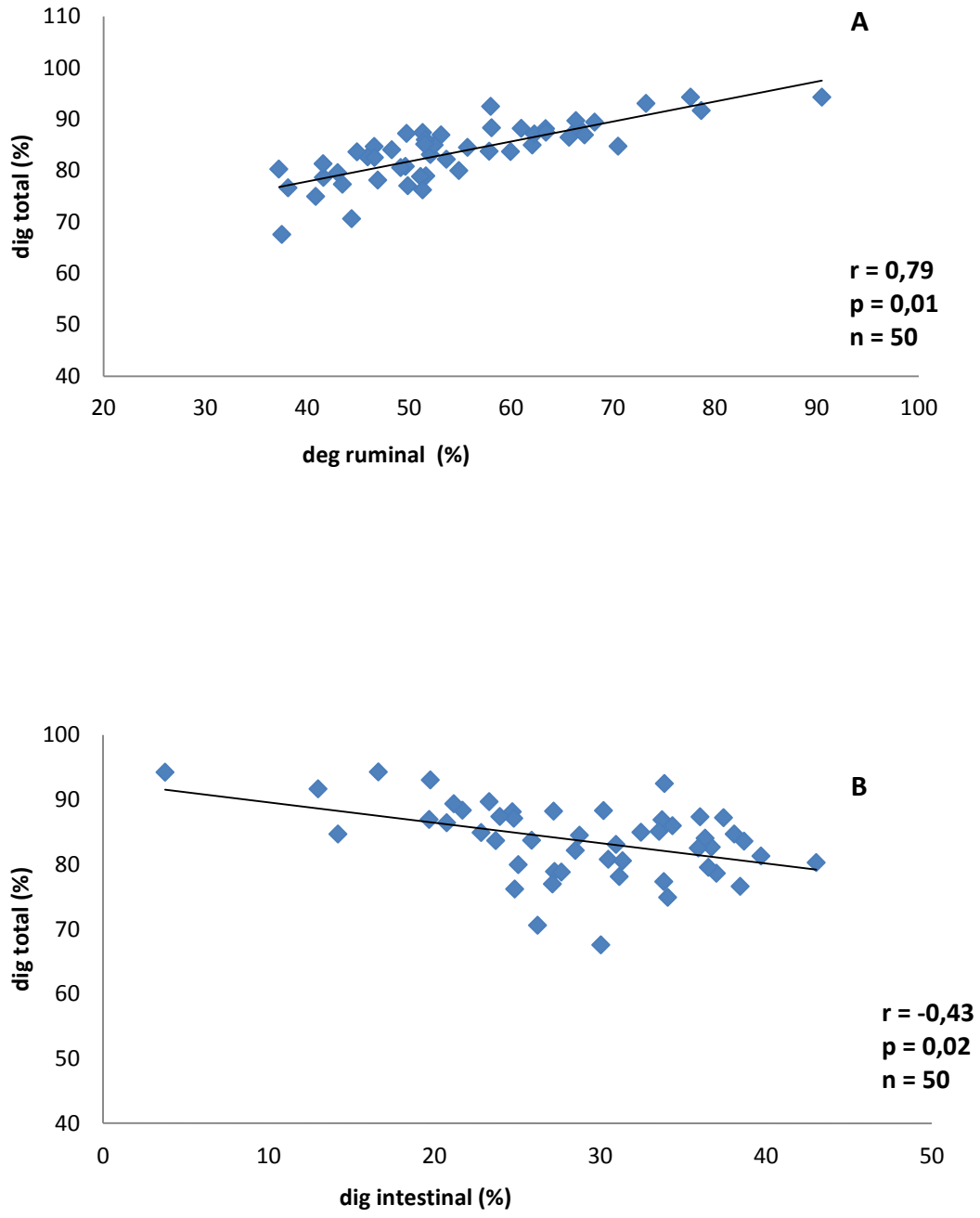

Figura 2. Correlaciones entre la digestibilidad total con la degradabilidad ruminal (A) y la digestibilidad intestinal (B).

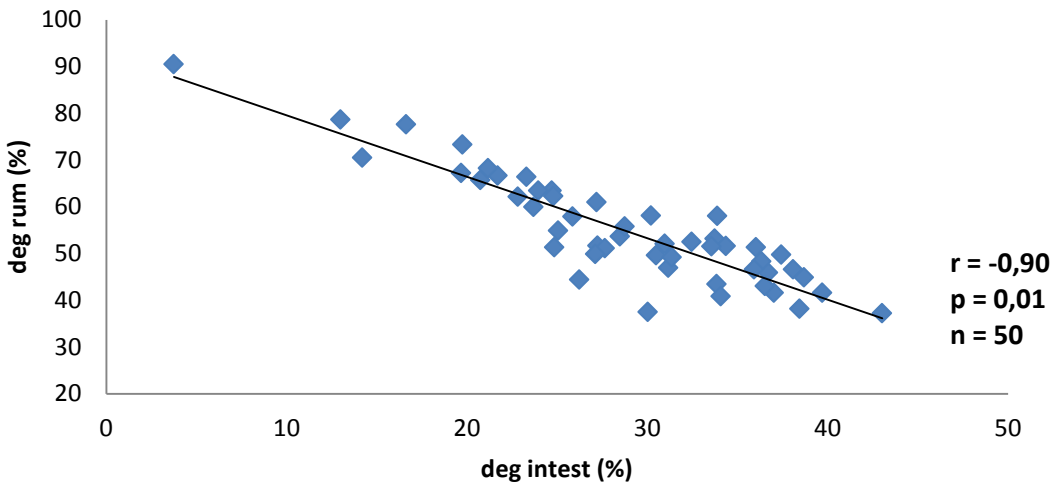

Figura 3. Correlaciones entre degradabilidad ruminal e intestinal de granos de sorgo cosechados húmedos.

DISCUSIÓN:

El presente trabajo demuestra cambios en el sitio de digestión de granos de sorgo cosechados húmedos por efecto del ensilaje. Si bien era esperable un aumento de la digestibilidad total de los granos ensilados con respecto a los no ensilados, esto no sucedió. La mayor degradación ruminal de los sorgos ensilados fue compensada por una mayor digestibilidad intestinal de los sorgos sin ensilar. En este sentido Spicer y col (1986) manifestaron que la eficacia de los tratamientos aplicados sobre los granos varía en función del procesamiento existiendo diferencias en la degradación ruminal entre los distintos cereales, diferencias que muchas veces no se perciben en la digestibilidad total en el tracto digestivo producto del efecto compensatorio que ejerce la digestión post ruminal. Por su parte Huntington (1997) comparando los efectos del sorgo rolado en seco, con los asociados a la alta humedad, encontró que el ensilado tuvo un efecto positivo sobre la degradabilidad ruminal, pero un efecto negativo sobre la digestibilidad del almidón post ruminal. En el mismo sentido Knowlton y col (1998) vieron que la digestión del almidón en el rumen fue mayor para el maíz de alta humedad, pero la desaparición de almidón en el intestino fue mayor para el maíz seco.

Según Rowe y col. (1999) para el caso del ensilaje de grano húmedo el aumento de la digestibilidad puede estar influido por otros factores producto del propio ensilaje. Durante el almacenamiento el grano es sometido a condiciones de anaerobiosis, donde la fermentación determina la formación de ácido láctico, ayudando a la preservación del grano. Rowe y col. (1999) manifestaron que luego del proceso de ensilaje, los gránulos de almidón quedan más susceptibles al ataque de las enzimas microbianas. Por otra parte el almacenamiento bajo condiciones de anaerobiosis

puede reducir el contenido de taninos de los granos (Reichert y col., 1980). El aumento de la degradabilidad ruminal por el proceso de ensilaje podría ser beneficioso ya que aumentar la materia orgánica fermentada en rumen favorece el desarrollo de la flora microbiana, aumentando así el aporte de la proteína microbiana al animal. Según Poore y col (1993) los tratamientos que aumentan la degradación ruminal, inciden en forma directa sobre la disponibilidad de energía para el animal, al tiempo que favorecen el crecimiento de la población microbiana en el rumen. La disminución de la digestibilidad intestinal junto con el aumento de la degradabilidad ruminal en el tratamiento ensilado, podría ser explicada ya que la fracción de sorgo que escapa al rumen es de menor proporción y probablemente más resistente a la digestión.

La correlación entre la digestibilidad total y la degradabilidad ruminal con el nivel de humedad del grano podría ser asociada a 2 factores, el estado de madurez del grano al momento de la cosecha o al efecto propio del agua en la muestra. La humedad por si misma ha mostrado tener un efecto positivo en el aprovechamiento del grano. En este sentido, Stock y Mader (1987) reportaron que a medida que aumenta el contenido de humedad en la reconstitución del grano se produce un mayor aumento en la tasa de digestión del almidón. Además la humedad pude tener efectos positivos al reducir parte del impacto negativo de los taninos. Mitaru y col (1984) demostraron que mediante la reconstitución se logra disminuir la concentración de taninos del grano de sorgo, disminuyendo así la formación de complejos proteína-tanino que dificultan la disponibilidad de almidón. (Van Barneveld, 1999). A su vez, para el caso de granos cosechados húmedos el menor estado de maduración del grano es otro factor que puede influir positivamente en el aumento de la digestibilidad. En este sentido Akbar y col (2002) encontraron que a medida que aumentaba el grado de madurez al momento de la cosecha la degradabilidad ruminal de la materia seca del grano disminuía. En el mismo sentido, 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%, resultados que coinciden con los reportados por Philippeau y Michalet-Doreau (1997) en grano de maíz.

La correlación negativa entre la digestibilidad total y la degradabilidad ruminal con el nivel de proteína del grano de sorgo pueden deberse, como en el caso de la humedad, a 2 factores la mala calidad de las proteínas del grano de sorgo un mayor grado de madurez del grano. Cuando el grano madura no solo aumenta el nivel de proteínas sino que las estructuras proteicas que rodean a los gránulos de almidón se hacen más firmes y determinan una disminución en la digestión del almidón del grano. La escasa solubilidad de las proteínas del sorgo podría estar involucrada en la menor digestibilidad cuando aumenta su concentración en el grano. Taylor y col (1984) plantearon que a medida que el nivel de proteínas aumenta, la calidad nutricional del grano disminuye. En el mismo sentido Sullins y col (1971) encontraron que la escasa solubilidad y fermentación de las kafirinas del sorgo inciden

negativamente en la disponibilidad ruminal del almidón, concepto que coincide con Duodu y col. (2003). El proceso de ensilaje determinó una disminución en el contenido de proteína de las muestras utilizadas en el presente ensayo (7,87 ± 1,21 *vs.* 7,56±0,97, P= 0,03 muestras sin ensilar y ensiladas respectivamente; Curbelo, 2010) es así que el menor nivel de proteína en las muestras ensiladas también podrían ser asociadas a la mayor degradación ruminal de estas muestras.

Si bien los taninos en este trabajo no mostraron correlaciones significativas con la digestibilidad o sitio de digestión, el proceso de ensilaje determinó una disminución en el contenido de taninos de las muestras utilizadas en el presente ensayo (0,66 ± 0,43 *vs.* 0,43±0,38, P< 0,01 muestras sin ensilar y ensiladas respectivamente; Curbelo, 2010) es así que el menor nivel de taninos en las muestras ensiladas podría tener influencia en la mayor degradación ruminal de estas muestras. Es bien conocida su asociación con las proteínas, formando los complejos proteína-tanino y su efecto negativo sobre la digestión. Para Van Barneveld (1999) la formación de los complejos proteína-tanino disminuye la disponibilidad de almidón afectando la digestibilidad del grano y su calidad nutricional. Rooney y Pfulgfelder (1986) manifestaron que la presencia de taninos condensados afecta negativamente el valor nutricional del grano, ya que se fijan a las proteínas dificultando la solubilidad del almidón.

Por último la correlación entre degradabilidad ruminal con el volumen de gas de rápida producción (Vfr) y la tasa de degradación de la fracción rápidamente fermentescible (Kdr) *in vitro* podría ser asociado a una mayor fracción del grano accesible para una rápida fermentación a nivel ruminal lo que podría explicar una mayor degradabilidad de los granos ensilados. En este sentido Curbelo (2010) reporta un incremento en estas fracciones (Vfr y Kdr) debido al proceso de ensilaje.

CONCLUSIÓN: Si bien el proceso de ensilaje no incrementó el aprovechamiento digestivo de los granos de sorgo cosechados húmedos, este proceso determinó cambios en el sitio de digestión a través de un incremento en la degradabilidad ruminal y una disminución en la digestibilidad intestinal.

Desde un punto de vista práctico creemos que el ensilaje presenta beneficios nutricionales ya que incrementa la degradabilidad ruminal además de ser un procesamiento de fácil aplicación en nuestro medio.

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) Anguita M., Gasa J., Martín-Orúe SM., Pérez JF (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.

3) Balogun RO., Rowe JB., Bird SH (2005). Fermentability and degradability of sorghum grain following soaking, aerobic or anaerobic treatment. Anim. Feed Sci. Technol. 120: 141-150.

4) Balogun RO., Bird SH., Rowe JB (2006). Germination temperature and time affect *in vitro* fermentability of sorghum grain. Anim. Feed Sci. Technol. 127: 125-132.

5) 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: 7/11/2013.

6) Calderón (2010). Parámetros de calidad del grano de sorgo para la elaboración de alimentos y harinas. Disponible en: http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1036&context=intsormilpubs. Fecha de consulta: 8/7/2014.

7) Caorsi M A., 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, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. 68p.

8) Chalkling D., Brasesco R (1997). Ensilaje de grano húmedo: una alternativa promisoria. Ed. Plan Agropecuario-INIA. Uruguay. Disponible en: http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/15630051107124828.pdf. Fecha de consulta: 2/03/2014.

9) Chessa Fuente A, (2007).La calidad del sorgo como alimento animal. Marca Liq. Agrop 17. (169):65-68.

10) Curbelo A., Cajarville C., Melognio E., Ortiz R., Repetto, JL (2007). Cinética de degradación ruminal de granos de sorgo: efecto del genotipo y del ensilado. Arch Latinoamer Prod Anim. 151:1-4.

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. MSc Tesis. Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. 101p.

12) 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. 17(supl 1):1-9.

13) DePeters EJ., Getachew G., Fadel JG, Corona L., Zinn RA (2007). Influence of corn hybrid, protease and methods of processing on *in vitro* gas production Anim. Feed Sci. Technol. 135: 157-175.

14) Doherty CA., Waniska RD., Rooney LW., Earp CF., Poe JH. (1987). Free phenolics compounds in sorghum caryopsis and glumes during development. Cereal Chem. 64(1):42-46.

15) Duodu KG., Taylor JRN., Belton PS., Hamaker BR (2003). Factors affecting sorghum protein digestibility. J. Cereal Sci. 38: 117-131.

16) Evers AD., Blakeney AB., Brien LO (1999). Cereal structure composition. Aust. J. Agric. Res. 50: 629-650.

17) Fellner V., Phillip LE., Sebastian S, Idzcak ES (2001). Effect of a bacterial inoculant and propionic acid on preservation of high-moisture ear-corn, and on rumen fermentation, digestion and growth performance of beef cattle. Can. J. Anim. Sci. 81: 273-280.

18) Galyan ML., Wagner DG., Owens FN (1981). Dry Matter and starch disappearance of corn and sorghum as influenced by particle size and processing. J. Dairy Sci. 64: 1804-1812.

19) Hagerman, AE Y Butler LG (1981). The specify of proanthocyanidin-protein interactions, J. Biol. Chem. 256: 4494-4497.

20) 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.

21) Hill TM., Schmidt 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.

22) Huck GL., Kreikemeier KK., Bolsen KK (1999). Effect of reconstituting field-dried and early-harvested sorghum grain on the ensiling characteristics of the grain and on growth performance and carcass merit of feedlot heifers. J. Anim. Sci. 77: 1074-1081.

23) Huntington GB (1997). Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. J. Anim. Sci. 75:852-867.

24) 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: 132-144.

25) Ilundain, M., Lema, JI., Peyrou, JI(2002). Carne vacuna: situación actual y perspectivas. Anuario OPYPA 2002. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, Uruguay. Disponible en: http://www.mgap.gub.uy/opypa/PUBLICACIONES/Publicaciones.htm. Fecha de consulta 10/10/2013.

26) INAC (2012). Informe estadístico año agrícola julio 2011 – junio 2012. Dirección de Información y Análisis Económico, Instituto Nacional de Carne, Uruguay. Disponible en: http://www.inac.gub.uy/innovaportal/file/7713/1/agricola_con_tapa_frente_y_dorso.pdf. Fecha de consulta: 15/12/1013.

27) Knowlton KF., Glenn BP., Erdman RA (1998). Performance, Ruminal Fermentation, and Site of Starch Digestion in Early Lactation Cows Fed Corn Grain. Harvested and Processed Differently. J. Dairy Sci; 81: 1972-1984.

28) Kotarsky SF., Waniska RD., Thurn KK (1992). Starch hydrolysis by the ruminal microflora. J. Nutrition. 122: 178-190.

29) Lichtenwalner RC., Ellis EB., Rooney LW (1978). Effect of incremental dosages of the waxy gene of sorghum on digestibility. J. Anim. Sci. 46:1113-1119.

30) Martin C., Philippeau C., Michalet-Doreau B (1999). Effect of wheat and corn variety on fiber digestion in beef steers fed high grain diets. J. Anim. Sci. 77: 2269-2278.

31) 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.

32) McAllister TA., Rode LM., Major DJ., Cheng KJ y Buchanan-Smith JG (1990).Effect of ruminal microbial colonization on cereal grain digestion .Can .J. Anim. Sci. 70:571-579.

33) McAllister TA., Phillippe RC., Rode LM., Cheng KJ. (1993). Effect of the Protein Matrix on the Digestion of Cereal Grain by Ruminal Microoganisms. J. Anim. Sci; 71: 205-212.

34) Mc Donald P., Edwars RA., Greenhalgh JFD., Morgan CA (2002). Granos de cereales y sus subproductos. En: Mc Donald P., Edwars RA., Greenhalgh JFD. Nutrición Animal. Zaragoza. Acribia, p. 475-494.

35) McNeill JW., Potter GD., Riggs JK., Rooney LW (1975). Chemical and physical properties of processed sorghum grain carbohydrates. J. Anim. Sci. 40:335-341.

36) Mgap DIEA (2003): Granos forrajeros: situación actual y perspectivas. Disponible en: http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,7,206,O,S,0,MNU;E;2;17;63;1; MNU. Fecha de consulta: 21/10/2013.

37) Mgap DIEA (2012). 2: Producción Animal; Lechería comercial. Disponible en: http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,659,O,S,0,MNU;E;27;8;MNU; Fecha de consulta: 21/10/2013.

38) Mgap DIEA (2012). 2: Producción vegetal; Cultivos cerealeros y de verano. Disponible en: http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,659,O,S,0,MNU;E;27;8;MNU. Fecha de consulta: 21/10/2013.

39) Mila, F., Tambler, A (2012). Comportamiento del sector carne vacuna en 2012 y perspectivas para 2013. Anuario OPYPA 2012. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, Uruguay. Disponible en: http://www.mgap.gub.uy/gxpfiles/mgap/content/audio/source000000008 3/AUD0000070000001843.pdf. Fecha de consulta: 9/11/2013.

40) Miller FR., Lowrey RS., Monson WG., Burton GW., Cruzado HJ (1972). Estimates of dry matter digestibility differences in grain of some *Sorghum bicolor* (L.) Moench varieties. Crop Sci. 12:563-566.

41) Mitaru BN., Reichert RD., Blair R (1984) Kinetics of tannin deactivation during anaerobic storage and boiling treatment of high tannin sorghum. J. Food Sci. 49: 1566-1568.

42) Mitzner KC., Owen FG., Grant RJ (1994). Comparison of sorghum and corn grains in early and midlactation diets for dairy cows. J. Anim. Sci. 77: 1044-1051.

43) Montiel MD., Elizalde JC (2004). Degradabilidad ruminal de silajes de grano húmedo de maíz y de sorgo con diferentes contenidos de taninos. Congreso Argentino de Producción Animal XXVI. Tandil, Argentina. V. 24, p. 1-20.

44) Montiel MD., Depetris GJ., Santini FJ., Chicatún A., VIllarreal EL (2006). Performance of feedlot heifers fed with high-tannin high moisture sorghum treated with urea compared with high moisture corn. J. Anim. Sci 84, Suppl. 1/ J. Dairy Sci 89 (1) : 219.

45) Montiel MD., Elizalde JC., 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.

46) Offner A., Bach A., Sauvant D (2003). Quantitative review of in situ starch degradation in the rumen. Anim. Feed Sci. Technol. 106: 81-93.

47) Owens FN., Zinn RA., Kim YK (1986). Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. J. Anim. Sci. 63: 1634-1648.

48) Owens FN., Secrist DS., Hill WJ., Gill DR (1997). The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: a review. J. Anim. Sci. 75: 868-879.

49) Owens FN., Zinn RA (2005). Corn Grain for Cattle: Influence of Processing on Site and Extent of Digestion. Proc. Southwest Nutr. Conf.: 86-112.

50) 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.

51) Philippeau C., Martin C., Michalet-Doreau B (1999). Influence of grain source on ruminal characteristics and rate, site and extent of digestions in beef steers. J. Anim. Sci. 77: 1587-1596.

52) Poore MH., Moore JA., Eck TP., Swingle RS., Theurer CB (1993). Effect of fiber source and ruminal starch degradability on site and extent of digestion in dairy cows. J. Dairy Sci. 76: 2244-2253.

53) Reed JD (1995). Nutritional Toxicology of Tannins and Related Polyphenols in Forage Legumes. J. Anim. Sci. 73: 1516-1528.

54) Reichert RD., Fleming SE., Schwab DJ (1980). Tannin desactivation and nutritional improvement of sorghum by anaerobic storage of h2o-hcl or NaOH-treated grain. J. Agric. Food Chem. 28:824.

55) Repetto JL., Cajarville C., D' Alessandro J., Curbelo A., Soto C., Garin D (2005a). Effect of wilting and ensiling on ruminal degradability of temperate grass and legume mixtures. Anim. Res. 54:73-78.

56) Riggs JK., Mcginty DD (1970). Early harvested and reconstituted sorghum grain for cattle. J. Anim. Sci. 31: 991-995.

57) Rooney LW., Pflugfelder RL. (1986). Factors affecting starch digestibility whith especial emphasis on sorghum and corn. J. Anim. Sci. 63: 1607-1623.

58) Rowe JB., Choct M., Pethick DW (1999). Processing cereal grains for animal feeding. Aust. J. Agric. Res. 50:721-736.

59) Russell RW. Lolley JR (1989). Deactivation of tannin in high tannin milo by treatment with urea. J. Dairy Sci. 72: 2427-2430.

60) Seckinger HL., Wolf MJ (1973). Sorghum protein ultrastructure as it relates to composition. Cereal Chem. 50:455-465.

61) 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.

62) Spicer LA., Theurer CB., Sowe J., Noon TH (1986). Ruminal and posruminal utilization of nitrogen and starch from sorghum grain, corn and barley –based diets by beef steers. J. Anim. Sci.62:521.

63) Stock RA., Mader T (1987). Grain processing for beef cattle. Disponible en: <http://www.ianr.unl.edu/pubs/beef/g136.htm>. Fecha de Consulta: 15/12 2013.

64) 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.

65) Sullins RD., Rooney LW., Riggs JK (1971). Physical changes in the kernel during reconstitution of sorghum grain. Cereal Chem. 48: 567-575.

66) Sullins RD, Rooney LW (1975). Ligth and scanning electron microscopic studies of waxy and nonwaxy endosperm sorghum varieties. Cereal Chem. 52:361-366.

67) Swingle RS., Eck TP., Theurer CB., De la Llata M., Poore MH., Moore JA (1999). Flake density of steam-processed sorghum grain alters performance and sites of digestibility by growing-finishing steers. J. Anim. Sci. 77: 1055-1065.

68) Taylor JRN., Schussler L., Van de Walt H (1984). Fractionation of proteins from low tannin sorghum grain. J Agric. Food Chem. 32:149-154.

69) Theurer CB (1986). Grain processing effects on starch utilization by ruminants. J. Anim. Sci; 63: 1649-1662.

70) Theurer CB., Huber JT., Delgado-Elorduy A., Wanderley R (1999). Invited review: Summary of steam-flecking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 82: 1950-1959.

71) Van Barneveld SL (1999).Chemical and physical characteristics of grains related to variability in energy and amino acid availability in ruminants: a review. Aust J Agric Res; 50:651-666.

72) Vidal ME., Ilundain M (2002). Producción lechera: situación actual y perspectivas. Anuario OPYPA 2002. Disponible en: http://www.mgap.gub.uy/opypa/PUBLICACIONES/Publicaciones.htm. Fecha de consulta: 11/11/2013.

73) Vidal, ME (2012). Producción lechera: situación y perspectivas. Anuario OPYPA 2012. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, Uruguay Disponible en: http://www.mgap.gub.uy/opypa/PUBLICACIONES/Publicaciones.htm. Fecha de consulta: 9/10/2013.

74) Waniska RD (2000). Structure, phenolic compounds, and antifungal proteins of sorghum caryopses. Technical and Institutional Options for Sorghum Grain Mold Management. Proceeding of an International Consultation, 18-19 May 2000, ICRISAT, Patancheru, India. p. 72-106.