

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA



FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS

Silaje de sorgo: influencia del procesamiento y el almacenaje en el tiempo, sobre la performance y digestión de bovinos en recría.



TESIS DOCTORAL – Méd. Vet., M.Sc., Leandro Omar Abdelhadi

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS

Trabajo de Tesis realizado como requisito para optar al título de

DOCTOR EN CIENCIAS VETERINARIAS

Silaje de sorgo: influencia del procesamiento y el almacenaje en el tiempo, sobre la performance y digestión de bovinos en recría

ABDELHADI, Leandro Omar

DIRECTOR: PhD, Nicolás DiLorenzo

CODIRECTOR: Dr. Mattioli Guillermo Alberto

LUGAR DE TRABAJO

- Est. El Encuentro, Research & Extension in Ruminant Nutrition - Cuartel VI (Gral. Paz, Bs.As.); con oficinas en Ferrari 683 (B1980ADM), Cnel. Brandsen, Bs.As., Argentina.
- Cátedra de Fisiología, Laboratorio de Nutrición Mineral, Fac. Cs. Veterinarias, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- Univ. Florida – NFREC - 3925 Hwy 71 - 32446 Marianna, Florida, USA.

MIEMBROS DEL JURADO

APELLIDO Y NOMBRES: ARIAS, Rubén

APELLIDO Y NOMBRES: BARGO, Fernando

APELLIDO Y NOMBRES: IPHARRAGUERRE, Ignacio

AÑO 2024

Agradecimientos.

A mi esposa Claudia y mis hijos Tomás y Mateo, por ser lo mejor que me dio la vida; por apoyarme y comprenderme en esta difícil tarea de ser esposo, padre y estudiante.

A mis viejos por enseñarme con su ejemplo que con esfuerzo y perseverancia todo llega en la vida.

A vos Juampa Russi que me metiste la ficha que me faltaba para embarcarme en este sueño.

A Nicolás DiLorenzo, mi director por su profesionalismo, predisposición y generosidad permanente.

A Guillermo (Coco) Mattioli, mi codirector por sus consejos, ayuda y comprensión constante.

Al gran equipo de Advanta Seeds: Tomy, Pedrito, Benja; por apoyar siempre mi pasión por el sorgo.

A todo el equipo de El Encuentro, por la buena predisposición y compromiso durante los trabajos experimentales.

A todo el equipo de la Universidad de Florida (los Fede's, Nacho, Ara, Juancito, Andrés, Wil, Tessa, Martincho), por ayudarme y hacerme sentir como en casa.

A Fred Owens por sus incansables aportes y tiempo invertido en discusiones fructíferas, por demostrarme que la humildad es el don de los más grandes.

A todos los que son parte de mi vida, y por qué no también a vos Uli que te me fuiste, compañero incansable al lado mío haciéndome el aguante; y ahora te tengo representado en Brunito siempre acá llenando el vacío que me dejaste.

Publicaciones parciales del presente trabajo de tesis.

Sorghum silage: effects of processing on performance of backgrounding beef cattle.

Abdelhadi LO^{*12}, Mattioli GA² and DiLorenzo N³

¹ Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional de La Plata; Bs. As., Argentina.

² Est. El Encuentro, Research & Extension in Ruminant Nutrition; Gral. Paz, Bs.As., Argentina.

³ University of Florida, North Florida Research & Education Center; Marianna, Florida.

Journal of Animal Science, Volume 100, Issue Supplement_3, October 2022, Pages 373–374, <https://doi.org/10.1093/jas/skac247.683>

Feeding sorghum silage: effects of processing on intake and apparent total tract digestibility of backgrounding beef heifers.

Abdelhadi LO^{*12}, Mattioli GA² and DiLorenzo N³

¹ Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional de La Plata; Bs. As., Argentina.

² Est. El Encuentro, Research & Extension in Ruminant Nutrition; Gral Paz, Bs.As., Argentina.

³ University of Florida, North Florida Research & Education Center; Marianna, Florida.

Journal of Animal Science, Volume 101, Issue Supplement_3, November 2023, Pages 645–646, <https://doi.org/10.1093/jas/skad281.750>

Feeding one-year storage sorghum silage base diets: effects of processing on performance of backgrounding beef cattle.

Abdelhadi LO^{*12}, Mattioli GA² and DiLorenzo N³

¹ Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional de La Plata; Bs. As., Argentina.

² Est. El Encuentro, Research & Extension in Ruminant Nutrition; Gral. Paz, Bs.As., Argentina.

³ University of Florida, North Florida Research & Education Center; Marianna, Florida.

Journal of Animal Science, Volume 101, Issue Supplement_3, November 2023, Pages 646–647, <https://doi.org/10.1093/jas/skad281.752>

Feeding one-year storage sorghum silage base diets: effects of processing on intake and apparent total tract digestibility of backgrounding beef heifers.

Abdelhadi LO^{*12}, Mattioli GA² and DiLorenzo N³

¹ Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional de La Plata; Bs. As., Argentina.

² Est. El Encuentro, Research & Extension in Ruminant Nutrition; Gral. Paz, Bs.As., Argentina.

³ University of Florida, North Florida Research & Education Center; Marianna, Florida.

Journal of Animal Science, Volume 101, Issue Supplement_3, November 2023, Page 646, <https://doi.org/10.1093/jas/skad281.751>

Ruminal *in situ* DM and starch degradability in grain sorghum silage, as affected by processing and storage time.

Leandro O. Abdelhadi¹²³, Araceli Maderal³, Ignacio Fernández-Marenchino³, Juan Vargas³, Andrés Fernandez-Lehman³, Federico Tarnosky³, Guillermo Mattioli¹ and Nicolás DiLorenzo^{*3}

¹Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.

²El Encuentro Experimental Farm, Buenos Aires, Argentina.

³North Florida Research and Education Center, University of Florida, Marianna, FL, 32446
Journal of Animal Science, Volume 102_2024 ASAS-CSAS-WSASAS Annual Meeting, Calgary-Canada; July 21-25.

Publicaciones adicionales.

Effects of sorghum silage kernel processing on intake and apparent total tract digestibility of beef heifers.

Federico Podversich^{*1}, Sergio Roskopf⁵, Leandro Abdelhadi², Gleise Medeiros da Silva¹, Federico Tarnonsky¹, Federico Fernandez³, Federico Sanchez⁴, Jose Carlos Batista Dubeux¹, Jr, Luiz Ferraretto¹, Nicolas DiLorenzo¹

¹North Florida Research and Education Center, University of Florida, Marianna, FL, 32446.

²FCV-UNLP & El Encuentro Experimental Farm, Buenos Aires, Argentina.

³Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.

⁴Claas Argentina.

⁵Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.

Journal of Animal Science, Volume 98, Issue Supplement_4, November 2020, Pages 153–154, <https://doi.org/10.1093/jas/skaa278.280>

Effects of sorghum silage kernel processing on growth performance and blood metabolites of beef heifers.

Federico Podversich¹, Leandro Abdelhadi², Federico Fernandez³, Federico Sanchez⁴, Emmanuel Angeli⁵, Hugo Ortega⁵, and Nicolas DiLorenzo^{*1}

¹North Florida Research and Education Center, University of Florida, Marianna, FL, 32446.

²FCV-UNLP & El Encuentro Experimental Farm, Buenos Aires, Argentina.

³Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.

⁴Claas Argentina.

⁵Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.

Journal of Animal Science, Volume 102_2024 ASAS-CSAS-WSASAS Annual Meeting, Calgary-Canada; July 21-25.

Evaluation of kernel processing and processor type in whole plant sorghum silage: Effects on nutrient digestibility and animal performance in backgrounding beef heifers. 2024. Podversich, F., L. O. Abdelhadi, S. Roskopf, G. M. Silva, E. Angeli, G. J. Hein, H. H. Ortega, M. Ruiz-Moreno, J. C. B. Dubeux Jr., and Nicolas DiLorenzo.
Journal of Animal Science, Manuscript ID: 2024-8890_Accepted November 24.

Índice de contenidos.

Capítulo 1 - Introducción.....	1
1.1 Rol del sorgo y los silajes en la ganadería mundial.....	1
1.2 Factores determinantes de la calidad del silaje de sorgo	1
1.3 Procesamiento del silaje y su impacto en producción de carne.....	2
1.4 Almacenaje en el tiempo de silajes y su impacto en digestión.....	3
1.5 Hipótesis.....	4
Capítulo 2 - Silaje de sorgo almacenado por menos de 150d: influencia del procesamiento sobre la performance animal y digestión aparente de nutrientes en bovinos en recría.....	4
2.1 Resumen.....	4
2.2 Abstract.....	5
2.3 Introducción.....	6
2.4 Materiales y métodos.....	6
2.4.1 Instalaciones.....	6
2.4.2 Tratamientos y animales.....	7
2.4.3 Performance animal.....	8
2.4.4 Digestión aparente de nutrientes.....	8
2.4.5 Mediciones y muestreos.....	8
2.4.6 Cálculos y análisis estadístico.....	9
2.5 Resultados.....	10
2.6 Discusión.....	11
Capítulo 3 - Silaje de sorgo almacenado por más de 365d: influencia del procesamiento sobre la performance animal y digestión aparente de nutrientes en bovinos en recría.....	12
3.1 Resumen.....	12
3.2 Abstract.....	13
3.3 Introducción.....	14
3.4 Materiales y métodos.....	15
3.4.1 Instalaciones.....	15
3.4.2 Tratamientos y animales.....	15
3.4.3 Performance animal.....	16
3.4.4 Digestión aparente de nutrientes.....	16
3.4.4 Mediciones y muestreos.....	16
3.4.4 Cálculos y análisis estadístico.....	17
3.5 Resultados.....	18
3.6 Discusión.....	18
Capítulo 4 - Silaje de sorgo: influencia del procesamiento y el almacenaje en el tiempo sobre la degradabilidad ruminal <i>in situ</i> de la materia seca y almidón.....	19
4.1 Resumen.....	19
4.2 Abstract.....	20
4.3 Introducción.....	21
4.4 Materiales y métodos.....	21
4.4.1 Instalaciones.....	21
4.4.2 Tratamientos, toma y evaluación de muestras.....	22

4.4.3 Degradabilidad ruminal <i>in situ</i> y mediciones.....	22
4.4.4 Análisis estadístico.....	23
4.4.4 Resultados.....	23
4.4.5 Discusión.....	24
Capítulo 5 - Conclusiones.....	25
Capítulo 6 - Bibliografía.....	26
Capítulo 7 - Tablas y figuras	29
7.1 Índice tablas.....	29
7.2 Índice figuras.....	29

Capítulo 1 – Introducción.

1.1 Rol del sorgo y los silajes en la ganadería mundial.

Los primeros registros sobre el cultivo de sorgo datan del año 700 AC, por escrituras encontradas en las ruinas Asirias. Si bien el origen del cultivo se asocia al noreste de África (Etiopía y Sudán), continente en dónde se distribuyó y adaptó a un sinnúmero de condiciones marginales; a partir de allí colonizó otras regiones del mundo, en especial Asia, Oceanía, ingresando a Europa en el año 60DC y al continente Americano en el siglo XVIII.

La agricultura en el mundo avanza sobre los mejores ambientes, concentrando y/o desplazando a la ganadería hacia la marginalidad. En esos ambientes en donde la producción de maíz es riesgosa, el sorgo aparece como una alternativa capaz de producir forraje, silaje y grano, necesarios para cubrir baches en la oferta anual de recursos forrajeros que estabilicen la producción de los sistemas ganaderos.

Si hablamos de estabilizar la oferta forrajera en sistemas ganaderos, sin dudas que los silajes en el mundo han crecido exponencialmente en cuanto a su utilización y la Argentina no escapa a ello; con un incremento del 2500% en 24 años (partimos de 100.000 has en 1998, según Bragachini y col., 2008; y pasamos a 2.6 millones has en 2022, según CACF, 2023).

Como reserva forrajera los silajes de planta entera presentan una serie de ventajas: alta producción de materia seca (MS) por ha, bajo costo por kg de alimento producido en comparación con el grano (ya que cosechamos la planta entera), posibilidad de ser un suplemento o la base de la dieta de bovinos, y capacidad de almacenarse en el tiempo para ser utilizado con posterioridad (sin riesgo de deterioro, siempre y cuando se almacene en ausencia de oxígeno).

Estas ventajas de los silajes y un escenario mundial ambientalmente complejo, con limitantes o excedentes hídricos, altas temperaturas, fertilidad limitada; reposicionan al cultivo de sorgo como una alternativa frente al maíz para seguir produciendo en ambientes marginales (Getachew *et al.*, 2016). A esto se suman, por un lado el avance biotecnológico en sorgo que simplifica la obtención de altos rendimientos en cultivos *iGrowth* al poder controlar malezas difíciles (Trucillo *et al.*, 2013); y por otro, la aparición de híbridos altamente productores de grano y forraje (doble propósito), con tolerancia a nuevas plagas como el pulgón de la caña de azúcar. Por último, la tecnología de maquinaria acompaña las necesidades del productor, mejorando los sistemas de procesamiento al momento del ensilado, con lo cual se optimiza el aprovechamiento de nutrientes por parte del animal (Abdelhadi and DiLorenzo, 2017, Podversich *et al.*, 2020).

1.2 Factores determinantes de la calidad del silaje de sorgo.

Los factores más importante que determinan la calidad de un silaje de sorgo son su contenido de grano (Young *et al.*, 1996) y el estado de madurez del mismo al momento del ensilado (Bolsen, 2004). El contenido de grano en sorgos graníferos puede rondar el 40 a 50% de la planta total, expresado sobre materia seca (base MS); siendo algo menor en materiales de mayor porte (sorgos tipo doble propósito), aunque pueden igualmente superar el 25 a 30% de grano (cantidad que usualmente encontramos en silajes de maíz en Argentina; Schroeder *et al.*,

2000). Por este motivo, lograr un alto aprovechamiento de la fracción grano pasa a ser clave en el resultado a esperar cuando se utiliza silaje de sorgo en alimentación bovina.

Las principales limitante para el aprovechamiento del grano en un silaje de sorgo, en comparación con el de maíz son: por un lado, el tamaño reducido del grano de sorgo que dificulta su digestión cuando no está procesado (Getachew *et al.*, 2016); y por otro lado, una compleja matriz proteica compuesta de *kafirinas* (principal proteína del grano de sorgo), con gran proporción de fracciones hidrofóbicas, enlaces disulfuro y uniones covalentes, que interactúan con el almidón de los endospermas, haciéndolo menos accesible y digestible en comparación con el almidón del maíz (Wong *et al.*, 2009).

Esta combinación de características físicas y químicas del grano de sorgo, hacen que frente a un grano intacto, la expectativa productiva con sorgo sea menor a la esperada con maíz, aunque sabemos que actuando en lo físico, a través del procesamiento, y en lo químico, mediante almacenaje, podríamos reducir esas diferencias.

1.3 Procesamiento del silaje y su impacto en producción de carne.

Cuando procesamos un silaje, estamos actuando sobre la planta entera cortapicada y que lógicamente incluye al grano, motivo por el cual el procesamiento se ve influenciado por el tipo de rodillos que tenga el procesador y el tamaño de picado establecido, también conocido como longitud teórica de corte.

Uno de los trabajos más concluyentes sobre la importancia del procesamiento del silaje de sorgo granífero en performance animal fue realizado por Smith (1986). El autor utilizó al silaje de sorgo como base de la dieta en la recría a corral, y lo evaluó procesando con rodillos de 23 x 46cm previo al suministro del silaje, comparándolo con un control sin procesar. En ese momento las picadoras autopropulsadas que incluyen crackers aún no habían sido desarrolladas por la industria. Producto del procesamiento, se reportaron mejoras en ganancia de peso y eficiencia de conversión, tanto en novillos como en vaquillonas, en relación al control sin procesar. En ambas categorías, el autor asocia las mejoras en performance obtenidas a una mayor digestión del almidón en el silaje de sorgo procesado, frente a similares consumos de MS.

Por otro lado, Havilah and Kaiser (1992) reportan similares niveles de digestión entre sorgo y maíz cuando el silaje es rolado; mientras que Abdelhadi y Santini (2006), encontraron performances comparables entre sorgo granífero y maíz cuando los silajes fueron procesados al momento del ensilado, almacenados por 90 días y utilizados como suplemento de novillos en pastoreo al 40% de la dieta (base MS).

Resumiendo, el procesamiento físico del sorgo al momento del ensilado ha mostrado ser una herramienta efectiva para mejorar la performance animal, permitiendo alcanzar niveles de producción de carne similares a los obtenidos con silaje de maíz.

1.4 Almacenaje en el tiempo de silajes y su impacto en digestión.

Siendo la matriz proteica que envuelve los gránulos de almidón la principal responsable de la baja digestibilidad del grano de sorgo (Gutiérrez *et al.*, 1982), todo lo que hagamos para alterarla, impactará en un mayor aprovechamiento del mismo. En este sentido, trabajos realizados con microsilos en maíz, tanto en silaje de planta entera (Der Bedrosian *et al.*, 2012; Ferrareto *et al.*, 2015) como de grano húmedo (Hoffman *et al.*, 2011), reportan incrementos en la digestibilidad del almidón asociados a un incremento en la proteína soluble durante el almacenaje, asociado a una proteólisis enzimática que actúa degradando las fracciones hidrofóbicas de la matriz y los cuerpos proteicos que rodean al almidón (α , β y γ zeínas). Incluso, se propone al almacenaje en el tiempo como una herramienta para contrarrestar el bajo aprovechamiento del grano en silajes de maíz confeccionados sin el uso de crackers (López Bueno *et al.*, 2020).

Por último, un meta-análisis publicado por Daniel *et al.* (2015), que involucra un total de 95 medias de tratamientos de 8 experimentos realizados con silaje de maíz, sugiere que 30 días debería ser el tiempo (t) mínimo de almacenaje para lograr el máximo beneficio de la proteólisis sobre la digestión del almidón (DA); mientras que luego de los 30 días el beneficio continuaría pero a una tasa menor ($t < 30d$, $DA = 62,7 + 0,28 \times t$; pero si $t \geq 30d$, $DA = 71,0 + 0,033 \times (t - 30)$; $P < 0,01$; RMSE = 2,73).

Si bien sabemos que la matriz proteica del grano de sorgo es más compleja que la del grano de maíz (Wong *et al.*, 2009), por el hecho de tratarse de proteínas con similares tipos de enlaces, uniones y configuraciones (α , β y γ Kafirinas), es de esperar un efecto del almacenaje en el tiempo similar al encontrado para maíz (en especial comparable con los hallazgos reportados para maíces con mayor proporción de endosperma vítreo, como son los cultivares Flint; López Bueno *et al.*, 2020).

La depredación con consumos de granos por parte de aves es un problema, y cultivar sorgos con alto contenido de taninos que los repela es una de las pocas opciones para llegar con granos a la cosecha. Al igual que la *Kafirinas* reducen la digestión de almidón del grano de sorgo, la presencia de taninos tiene un efecto negativo en la degradabilidad ruminal de MS, proteína bruta (PB) y almidón (Montiel y *col.*, 2011). Una buena noticia es que hoy sabemos que el proceso de ensilaje reduce la concentración del taninos, dadas las condiciones de bajo pH y anaerobiosis que acontecen durante el proceso de ensilaje (McSweeney *et al.*, 2001), degradándolos a polifenoles de menor peso molecular (Kondo *et al.*, 2004). De hecho, esto ha llevado a que el ensilado húmedo de grano de sorgo con alto contenido de taninos sea una opción viable para utilizar en dietas de monogástricos (cerdos), permitiendo obtener niveles de producción similares a las logradas con maíz o grano de sorgo sin taninos (Rocha de Castro López *et al.*, 2017).

No existe información precisa sobre el impacto del procesamiento del silaje de sorgo al momento del ensilado (utilizando procesadores propios de la máquina), ni evidencias experimentales que demuestren los efectos de un almacenaje

prolongado de dicho silaje, procesado o no, sobre la producción de carne y digestión de nutrientes.

1.5 Hipótesis.

En función de los antecedentes hasta aquí enunciados, el presente trabajo de tesis doctoral plantea las siguientes hipótesis:

- 1) El procesamiento del silaje de sorgo mejora la ganancia de peso de bovinos en recría gracias a una mejora en la digestión de nutrientes.
- 2) Un almacenaje prolongado en el tiempo (>365d) del silaje de sorgo sin procesar, permite obtener performances y niveles de digestión comparables a las obtenidas con silajes de sorgo procesados y sin largos almacenajes (<150d).
- 3) Incrementar el tiempo de almacenaje reduce las diferencias en degradabilidad ruminal de la materia seca y almidón del silaje de sorgo esperadas por el procesamiento al momento del ensilado.

Capítulo 2 - Silaje de sorgo almacenado por menos de 150d: influencia del procesamiento sobre la performance animal y digestión aparente de nutrientes en bovinos en recría.

2.1 Resumen.

El objetivo del experimento fue evaluar el efecto del procesamiento del silaje de sorgo al momento de la cosecha (PRO= procesado y NPR= no-procesado), sobre la ganancia de peso vivo (GPV), consumo de materia seca (CMS), eficiencia de conversión (EC) y digestión aparente de nutrientes en vaquillonas en recría. El experimento de performance (EP), utilizó 96 hembras Aberdeen Angus en un diseño completamente aleatorizado (DCA), con 6 corrales de 8 hembras cada uno, por tratamiento; mientras que para el experimento de digestión (ED), una ternera fue dejada aleatoriamente en cada corral, bajo el mismo diseño experimental. Los datos fueron analizados con el procedimiento Mixed de SAS y el modelo incluyó el efecto fijo del tratamiento (PRO o NPR), y el peso vivo inicial como covariable, siendo el corral la unidad experimental. Diferencias estadísticas fueron declaradas con un $P < 0,05$. Sorgo doble propósito (ADV2450IG, *Advanta Seeds*, Irving, Texas) fue cosechado (*Claas Jaguar 930*, Harsewinkel, Alemania) en el estadio 8: grano duro, sometido (PRO) o no (NPR) al procesamiento con un cracker específico para sorgo al momento del picado (rolos de 196mm con 125 dientes cada uno, 50% de velocidad de giro diferencial y una luz entre ellos de 1,1mm). Ambos tratamientos fueron cortapicados a 15mm de longitud teórica de corte, ensilados en bolsas de 60m de largo x 9 pies de diámetro, y almacenados por 47 días. Dos dietas de recría conteniendo (en base MS) 90,5% de silaje de sorgo PRO o NPR, 6,5% de expeler de soja y 3% de un suplemento vitamínico-mineral (ROC90, Provimi, Argentina); fueron ofrecidas en EP durante 17d de adaptación y 63d de período experimental, y en ED durante 3d de adaptación y 4d de período experimental. En EP el peso inicial, medio y final fue medido; mientras que el CMS fue determinado por diferencia entre ofrecido y rechazado, dentro de cada corral. En ED, terminada la adaptación, la dieta fue individualmente ofrecida una vez al día y los rechazos se colectaron al día siguiente; mientras que la materia fecal se colectó dos veces al

día. La digestión aparente en el tracto total fue determinada utilizando uFDN240h como marcador. En EP no hubo efectos del tratamiento sobre CMS en kg ($P=0,44$) o como % del peso vivo ($P=0,24$), mientras que el peso final y la GPV fueron mayor en el tratamiento PRO ($P<0,05$). La EC medida como kg de alimento consumido por kg de peso vivo ($P=0,04$) o como kg de peso vivo por kg de alimento consumido ($P<0,03$), mejoró significativamente por el procesamiento. En ED, el CMS y de materia orgánica (MO) tendió ($P>0,07$) a ser mayor, mientras el consumo de almidón fue mayor ($P<0,03$) en NPR; no habiendo diferencias en consumo de FDN, FDA y PB entre tratamientos. La digestión aparente de MS, MO, FDN, FDA y PB no fue afectada por los tratamientos, mientras que la digestión aparente de almidón fue mayor en PRO ($P<0,001$; 93,55% vs 86,46%, en PRO y NPR respectivamente). Como conclusión, el procesamiento del silo de sorgo al momento de la cosecha, permitió mejorar un 15% las GPV, 21% la eficiencia de conversión y 8% la digestión aparente de almidón, cuando el mismo fue utilizado dentro de los 150d de almacenado como base de la dieta de vaquillonas en recría.

Palabras clave: bovinos en recría, digestión aparente, procesamiento, silaje de sorgo.

2.2 Abstract.

The aim of the experiment was to evaluate the effect of processing sorghum silage at harvest, on ADG, DMI, FE and nutrient digestion of beef heifers. In the performance study (PE), we used 96 Angus heifers in a completely randomized design with 6 pens with 8 heifers per treatment, while one heifer by pen was randomly selected for the digestion study (DE). Mixed model of SAS was used, and the model included the fixed effect of treatment (sorghum silage processed, PRO; or not processed, NPR), with initial body weight used as covariate. Significance was declared at $P<0,05$. A dual-purpose sorghum (ADV2450IG, *Advanta seeds*, Irving, TX) was harvested (*Claas Jaguar 930*, Harsewinkel, Germany) at the late-dough stage of grain maturity and PRO or NPR were obtained with a specific sorghum silage cracker (196 mm rolls of 125 teeth each, 50% speed differential, 1,1 mm roll gap). Each treatment was chopped at 15 mm theoretical length of cut and ensiled in polyethylene ag-bags (60 m long and 2,74 m diameter), for 47 d until starting the first trial. Two backgrounding diets containing (DM basis) 90,5% sorghum silage PRO or NPR, 6,5% soybean meal (expeller) and 3% supplement (ROC90, Provimi, Argentina); were offered for a 17 d of adaptation and 63 d of experimental period in PE and for 3d of adaptation and 4d of experimental period in DE. In PE, initial, middle and final BW was measured, while DMI was calculated from differences between DM offered and refused, within each pen. In DE, feed was individually offered once daily, and orts were collected the following day; while fecal samples were collected twice daily and apparent total tract digestibility was determined using uNDF240h as internal marker. In PE, no effects on DMI either in kgDM ($P=0,44$) or as % of BW ($P=0,24$) were detected among treatments, while final BW and ADG was higher in PRO ($P<0,05$). Processing sorghum silage improved FE, either FTG ($P=0,04$) or GTF ($P=0,03$). In DE, DM and OM intake tended ($P>0,07$) to be greater, and starch intake was greater ($P<0,03$) for the NPR

treatment; while no differences were detected for NDF, ADF and CP intake among treatments. DM, OM, NDF, ADF and CP digestibility were similar among treatments, while starch digestibility was increased ($P<0,001$) by processing (93,55% vs. 86,48% for PRO and NPR, respectively). In conclusion, harvesting sorghum using a specific cracker led to a 15%, 21% and 8% increase in ADG, FE and starch digestion, respectively; when silage was stored up to 150d and fed as the base of the diet to backgrounding beef heifers.

Keywords: apparent digestibility, backgrounding cattle, processing, sorghum silage

2.3 Introducción.

El factor más importante al definir la calidad del silaje de sorgo es el contenido de grano al momento del ensilado. Sin embargo, el tamaño reducido de dicho grano y su compleja matriz proteica, hacen que aunque el grano esté presente no tengamos certeza de poder digerirlo. Resuelta entonces esencial el procesamiento del mismo, para lesionar físicamente el pericarpio y poder exponer su endosperma y facilitar la digestión del almidón, principal componente nutricional del grano. Cuando el silaje de sorgo se procesó previo al suministro, se logró mejorar la performance productiva de animales en confinamiento, comparado con aquellos animales que consumieron el mismo silaje sin procesar (Smith, 1986).

El avance tecnológico de las maquinarias, desde los 80' a la actualidad, nos permite contar actualmente con cosechadoras autopropulsadas que tienen la capacidad de procesar el material inmediatamente después del cortapicado, utilizando dispositivos específicos conocidos como *grain crackers*. De esta forma se obtiene un material listo para ser consumido, sin necesidad de procesamiento posteriores, algo impracticable con un silaje de planta entera a nivel productor.

El objetivo del presente experimento fue evaluar el efecto de suministrar dietas basadas en silaje de sorgo almacenado por menos de 150d, procesado o no procesado al momento del ensilado, sobre GDP, CMS, EC y digestión aparente de nutrientes en bovinos en recría.

2.4 Materiales y métodos.

2.4.1 Instalaciones.

El experimento se condujo en el campo experimental El Encuentro (35°23 S; 58°25 O) ubicado en el partido de General Paz, Buenos Aires, Argentina; durante el otoño e invierno de 2021. Se utilizaron 12 corrales con piso mejorado, 50% hormigón y 50% suelo cemento (8,3 m X 12 m = 99,6 m² cada uno) con bebederos compartidos entre 2 corrales. Cada corral alojó 8 animales (en el experimento de performance, dando esto una superficie de 12,5 m²/animal, considerada como adecuada para garantizar confort en suelos firmes), mientras que para el experimento de digestión se dejó un animal al azar por corral. Los procedimientos de manejo y bienestar animal que se usaron fueron los sugeridos por FASS (2010) y aprobados por el Comité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales del Laboratorio de la Secretaria de Ciencia y Técnica de la Facultad de Cs. Veterinarias de la Universidad Nacional de La Plata (FCV-UNLP) bajo el Nro. 127-2-22T.

2.4.2 Tratamientos y animales.

En noviembre de 2020, en el Est. El Encuentro se inició una labranza convencional para la siembra de sorgo en un lote de 11,2 has con un tipo de suelo 90% Argiudol típico y 10% Pretrocálcico-paleudol (pH=6,5; MO=2,8 %; NO₃-N=3,1 ppm y P=7,2 ppm). El lote venía de un raigrás en pastoreo, se dieron dos manos de disco/rastra/rolo, se dejó 25 días en barbecho, y el día previo a la siembra se terminó con la preparación. El 12 de diciembre de 2020 se sembró una variedad doble propósito (Híbrido ADV2450IG, *Advanta Seeds*), a una tasa de 200.000 semillas/ha e incorporando a la siembra 50kg/ha de fosfato diamónico. Posterior a la siembra y antes de la emergencia, se aplicó una combinación de herbicidas pre-emergentes (150cc/ha de *On-Duty* + 2 lts/ha de *Atrazina*), y cuando el sorgo tuvo 6 hojas, se procedió a la fertilización nitrogenada con 100 kg/ha de urea. Las precipitaciones totales recibidas desde el inicio de las labores sumaron 410mm, siendo la lluvia recibida desde siembra a cosecha de 380mm.

El día 17 de mayo de 2021, con el sorgo en el estadio 8 (grano duro), se dio inicio al ensilado, cortapicando con máquina *Claas Jaguar* 930 serie 494 (Harsewinkel, Germany), equipada con cabezal *Domai MPD-612*; cortando al ras del suelo. El cortapicado se reguló a una longitud teórica de corte de 15mm y el material se inoculó para asegurar una adecuada fermentación (*LACTOGerms* AA, Beneficial Germs), y se ensiló con embolsadora *Implecor* de 9 pies de diámetro; utilizando bolsas de polietileno de 220 micrones para almacenaje de forrajes (*Ipesa Silo*). Al momento del picado, se definieron los dos tratamientos que conformarían la base de la alimentación de los experimentos:

-Silo de sorgo no-procesado (**NPR**) = material cortapicado sin uso de cracker.

-Silo de sorgo procesado (**PRO**) = material cortapicado y sometido al uso de un cracker específico (196 mm de diámetro de rodillos, 125 dientes cada rodillo y una velocidad diferencial de giro del 50%; siendo el espacio entre rodillos de 1,1 mm). De los tratamientos ensilados, 50% del material se asignó a los experimentos de performance y digestión del año 1 (para lo cual se almacenó por 47d antes de comenzar con su utilización, que finalizó a los 134d), quedando el resto del material almacenado hasta el siguiente año.

Para el primer experimento de performance, 96 terneras Aberdeen Angus nacidas en el establecimiento, de peso promedio inicial $168,9 \pm 20,4$ kg fueron utilizadas durante 63 días de mediciones, con 17 días previos de adaptación a la dieta y manejo. Las terneras se ordenaron por peso y se asignaron aleatoriamente a cada uno de 2 tratamientos en 12 corrales con 8 animales cada uno, en un diseño completamente aleatorizado. La alimentación se realizó una vez al día, con una dieta compuesta por 90,5% de silaje de sorgo PRO o NPR, 6,5% de expeler de soja y 3% de un *premix* vitamínico-mineral con nitrógeno no proteico (NNP), cuya composición fue: 90% Proteína bruta, 15% Calcio, 2,4% Sodio, 4% Cloro, 1100ppm Manganeso, 1250ppm Zinc, 340ppm Cobre, 5ppm Selenio, 3,4ppm Cobalto, 19ppm Iodo, 1000ppm Monensina, 75000 UI/kg Vitamina A, 7500 UI/kg Vitamina D y 250 UI/kg Vitamina E (Tabla 1).

Finalizadas las mediciones de performance, se inició el experimento de digestión, para el cual una vaquillona ($13 \pm 1,5$ meses de edad y $251,4 \pm 36,3$ kg de peso vivo)

fue dejada aleatoriamente en cada corral (mismos 2 tratamientos, con 6 corrales de 1 animal cada uno). Durante los 3 días posteriores a la aleatorización, se realizó una adaptación al manejo y en especial a la permanencia en el corral; realizando las mediciones durante los 4 días siguientes, siempre manteniendo los mismos tratamientos (dieta basada en PRO y NPR) y bajo el mismo diseño experimental.

2.4.3 Performance animal.

Durante diecisiete días previos al inicio del experimento de performance, los animales se sometieron a un proceso de adaptación a la dieta y manejo. Finalizada la adaptación y aprovechando el encierre para la pesada inicial, se aplicó un tratamiento sanitario de rutina para animales en confinamiento, basado en una dosis de 1cm c/22,5kg de peso vivo de Levamisol (20g c/100ml) para control de parásitos internos, una dosis de 3 cm por animal de complejo micromineral (1,5g de Cobre, 5g de Zinc y 0,5g de selenio cada 100ml), y una dosis de 10 cm por animal de *pour-on* (5g Cipermetrina, 2g Carbaril y 7g Butóxido de piperonilo c/100ml) para control de parásitos externos.

Se asignaron 6 corrales por tratamiento, con 8 animales por corral. Durante el experimento los animales se pesaron los d 0, 30 y 63, siempre por la mañana y antes de la alimentación (d 0 corresponde al día del comienzo del experimento). El consumo de materia seca se determinó a partir del d 0, una vez terminada la etapa de adaptación de 17 d, coincidiendo con cada pesada y colectando el remanente acumulado. Se registró a diario la lectura de comederos, y a partir de allí la entrega de alimento se ajustó a un *score* de 0,5 utilizando el sistema de lectura de comederos de 4 puntos, propuesto por la Universidad de South Dakota. Esta propone un *score* donde 0 = Nada de alimento remanente en comedero; 0,5= Alimento disperso, la mayor parte del fondo del comedero se ve a simple vista y no hay lamido del animal; 1= Fina capa uniforme de alimento en el fondo del comedero y de muy poco espesor; 2 = 25 a 50% del alimento ofrecido previamente está presente; 3= >50% del alimento ofrecido previamente está en el comedero y la superficie esta disturbada y 4= El alimento no fue tocado y la superficie se encuentra de la misma forma.

2.4.4 Digestión aparente de nutrientes.

Una vez terminada la adaptación de 3 días, comenzó el período de evaluación para lo cual la dieta se suministró individualmente, el rechazo se midió al día siguiente y la materia fecal fue recolectada por la mañana y por la tarde en cada corral; todo esto durante 4 días consecutivos de evaluación. Las muestras de alimentos y de materia fecal conformaron una muestra compuesta por día y corral, que posteriormente fue utilizada para estimar consumo de nutrientes y marcador indigestible (uNDF240h), que fue empleado para los cálculos de digestibilidad aparente.

2.4.5 Mediciones y muestreos.

Para el pesaje, los animales se trasladaron desde cada corral de manera independiente al sector de balanza. La estructura experimental cuenta con un

brete Ecomaestro marca *Farmquip*, montado sobre báscula electrónica de alta precisión marca *Hook* (modelo ST-457). El orden de pesaje por corrales se mantuvo de inicio a fin del experimento; siendo el número 1 el primero y el número 12 el último en pesarse en cada momento.

Para las mediciones de consumo de materia seca, se registraron a diario los kg de comida entregados por corral con mixer marca *Senor* modelo 228-10 trailer, equipado con balanza *Vesta* modelo 3530; con ± 5 kg de precisión. Además, se tomaron muestras semanales de la dieta para análisis de calidad. Al momento de la medición de consumo se procedió al barrido de comederos en cada corral, pesaje con báscula manual y toma de muestras del remanente acumulado para los cálculos de consumo y análisis de calidad.

El muestreo de dieta, rechazo y materia fecal del experimento de digestión se realizó respetando el siguiente protocolo durante 4 días consecutivos:

Día	- Entrega dieta	- Muestra dieta	- Muestra rechazo	- M. Fecal am	- M. Fecal pm
0	0	0	-	-	-
1	1	1	0	0	0
2	2	2	1	1	1
3	3	3	2	2	2
4	4	4	3	3	3
5	5	-	4	4	4

Todas las muestras para análisis de calidad durante el ensayo de performance (sean de dieta o rechazos) fueron congeladas de inmediato y mantenidas a -18°C hasta su procesamiento. Al momento de su análisis fueron secadas en estufa con circulación de aire forzado a 55°C por 48hs en la Cátedra de Forrajes y Praticultura de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP (BsAs, Argentina), y posteriormente acondicionadas y remitidas para su análisis al laboratorio *Rock River* (Watertown-WI, USA) para determinar MO, PB, aFDN, FDA, Almidón, Lignina, EE, Cenizas, Ca, P y TND.

Las muestras de dieta, rechazo y materia fecal del ensayo de digestión, una vez secas en estufa con circulación de aire forzado a 55°C por 72hs en la cátedra de forrajes y praticultura de la Facultad de ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP (BsAs, Argentina), fueron molidas para formar la muestra compuesta por día y corral, rotuladas y enviadas al Rock River (Watertown-WI, USA) para determinar MO, PB, aFDN, FDA, almidón, lignina, EE, cenizas, Ca, P, TND y uNDF2404 (FDN indigestible a 240h que utilizamos como marcador indigestible).

2.4.6 Cálculos y análisis estadístico.

Para el cálculo de ganancia de peso vivo (GPV) se aplicó la siguiente ecuación: $\text{GPV (kg/animal/d)} = [(\text{peso vivo final} - \text{peso vivo inicial}) / \text{tiempo transcurrido entre pesadas en días}]$, mientras que el consumo de materia seca (CMS) se calculó de la siguiente forma: $\text{CMS (kgMS/cab/d)} = [(\text{kgMS diarios ofrecidos por corral} - \text{kgMS diarios rechazados por corral}) / \text{cantidad de animales por corral}]$. Luego dividiendo

el CMS medio por el peso medio de los animales en cada corral, se obtuvo el CMS expresado como % del peso vivo.

La eficiencia de conversión (EC), se presenta de 2 formas: 1) como alimento consumido por kg de peso ganado (CMS/GPV), en donde CMS está expresado en kgMS/animal/d y GPV en kg/animal/d; y 2) como kg de peso ganado por animal y por día dividido por el consumo diario de MS (GPV/CMS).

La determinación del consumo de cada nutriente en el ensayo de digestión, se realizó individualmente por animal aplicando la siguiente ecuación: Consumo de MS, MO, FDN, FDA, PB y almidón (kg/animal/d) = [(kgMS diarios ofrecidos x % del nutriente) – (kgMS diarios rechazados x % del nutriente)]. Para el cálculo de digestibilidad aparente de cada nutriente (MS, MO, FDN, FDA, PB y almidón), aplicamos la siguiente ecuación: $100 - \{100 \times [(\% \text{uNDF}_{240\text{h}} \text{ en dieta}) / (\% \text{uNDF}_{240\text{h}} \text{ en heces})] \times [(\% \text{del nutriente en heces}) / (\% \text{del nutriente en dieta})]\}$.

La diferencia porcentual de FDN entre dieta y rechazo (Cambio en FDN), se calculó con la siguiente ecuación: $[(\% \text{FDN en rechazo} - \% \text{de FDN en dieta}) / \% \text{de FDN en dieta}] \times 100$.

Los datos se analizaron usando Proc. MIXED de SAS, versión 9.1 (SAS Institute, Inc., Cary, NC; 2005), y el modelo incluyó el efecto fijo del tratamiento (silaje de sorgo procesado-**PRO** o sin procesar-**NPR** al momento del ensilado), y consideramos el peso inicial como covariable. Se consideran diferencias significativas cuando $P < 0,05$.

2.5 Resultados.

El rendimiento medio que arrojó el sorgo ensilado en las 11,2has, promedió 37,25 toneladas de materia verde/ha, y la compactación media lograda en los silobolsa fue de 3500 kg/m lineal de bolsa en el tratamiento NPR y 3700 kg/m lineal de bolsa en el tratamiento PRO.

La composición de las dietas totalmente mezcladas (TMR) finalmente entregadas, que arrojó el análisis de laboratorio, tanto de los experimentos de performance como de digestión, se presentan en la Tabla 2. Vemos que los nutrientes clave mantuvieron una variación muy similar entre tratamientos, cuando comparamos los datos de ambos experimentos (performance y digestión); y los resultados acusan las típicas variaciones que uno puede encontrar en un silo almacenado (en este caso entre 47 y 134 días). Las diferencias porcentuales en nutrientes claves como MS (siempre algo más en PRO), almidón y TND (siempre algo más en NPR) se mantuvieron similares entre experimentos, si bien como se observa en la Tabla 2, los valores absolutos difieren parcialmente. Algo interesante a resaltar es que la digestibilidad de almidón fue mayor en 30 puntos a la h0 y en 9 puntos a la h7, por efecto del procesamiento; marcando un efecto positivo del tratamiento en hacer más disponible a este nutriente clave en el silaje de sorgo.

Los resultados del experimento de performance se presentan en la Tabla 3. No hubo efectos del tratamiento sobre CMS, sea expresado en kgMS/animal/d, o expresado como % del peso vivo. Por su parte el peso vivo inicial no fue diferente entre tratamientos, mientras que el peso final y las GPV fueron mayores en el tratamiento PRO ($P < 0,05$). Finalmente, la EC medida como kg de MS de alimento

consumido por kg de GPV ($P=0,04$) o como kg de GPV por kg de MS de alimento consumido ($P<0,03$), mejoró significativamente en las vaquillonas que consumieron dietas basadas en silaje de sorgo procesado.

Los resultados del experimento de digestión aparente de nutrientes, se presentan en la Tabla 4. El consumo de MS y MO tendió ($P>0,07$) a ser mayor, mientras el consumo de almidón fue mayor ($P<0,03$) en NPR; no habiendo diferencias en consumo de FDN, FDA y PB entre tratamientos. Si bien el consumo de FDN no fue diferente, a juzgar por la proporción de FDN en el remanente de comedero ("Cambio en FDN", Tabla 4), las vaquillonas de PRO tendieron ($P<0,09$) a seleccionar menos en comedero; y además excretaron significativamente menos almidón por materia fecal ($P<0,01$). La digestión aparente de MS, MO, FDN, FDA y PB no fue afectada por los tratamientos, mientras que la digestión aparente de almidón fue mayor en PRO ($P<0,001$).

2.6 Discusión.

El rendimiento medio alcanzado con sorgo está muy acorde a la realidad zonal y lo importante a destacar tiene que ver con la homogeneidad del cultivo ensilado. En años con pluviometría limitada como la reportada, que condicionarían el rendimiento en maíces; el sorgo mostró ser una buena opción para obtener productividad en ambientes marginales (como lo fue el lote utilizado en El Encuentro). Como podemos observar en la Tabla 1, la aplicación del tratamiento (procesado o no), tuvo efecto en aumentar la proporción de partículas finas en el ensilado con un 46,1% con un tamaño $\leq 1.18\text{mm}$ en PRO, contra el 38,8% de particular finas registrado en NPR. Esta diferencia en tamaño de partículas explica las diferencias en compactación que se registraron en el silobolsa, que fueron en torno a 6% superiores cuando el silaje de sorgo fue procesado (3700 vs 3500 kgMV/m lineal de bolsa, en PRO y NPR respectivamente). El mismo impacto del procesamiento en reducir el tamaño de partícula y aumentar la compactación del silo, fue reportado por Johnson *et al.* (2002), trabajando con silaje de maíz.

A partir de los resultados de performance presentados en la Tabla 3, vemos que el procesamiento del silo de sorgo al momento del picado fue realmente efectivo e impactó en performance. Las GPV se incrementaron un 15% por consumir dietas basadas en silaje de sorgo procesado, y si bien no hubo diferencias estadísticas en CMS; el 0,25% del peso vivo adicionalmente consumido en el tratamiento NPR junto a la menor GPV registrada en dicho tratamiento, hizo que las vaquillonas con dietas basadas en silo de sorgo sin procesar sean 21% menos eficientes en su conversión alimenticia. Es importante resaltar que estos resultados fueron alcanzados con un silaje que fue utilizado con menos de 150 d de almacenaje (47 a 134d), que sería cuando un productor normalmente haría uso de este tipo de reserva forrajera.

A partir de los datos de TND y de la energía neta para mantenimiento y ganancia de peso presentados en Tabla 2, y considerando los datos reales de consumo, peso inicial y final presentados en la Tabla 3, se realizó un cálculo de las ganancias de peso vivo estimadas aplicando ecuaciones de NRC 1996 (ajustadas por Galyean *et al.*, 2016). El resultado de dichas estimaciones arroja una GPV esperable de

0,96kg/d para NPR y 0,99kg/d para PRO; contra los valores de 0,89 y 1,03 kg/d, registrados en NPR y PRO respectivamente (Tabla 3). La diferencia entre estimado y observado podemos explicarlo por el impacto del procesamiento, ya que para las estimaciones se utilizan datos de laboratorio que se obtienen a partir de muestras molidas y en donde la pérdida de granos enteros por materia fecal no sucede. Haber obtenido una ganancia de peso menor a la estimada en NPR y mayor a la estimada en PRO, es justamente lo que uno esperaría por efecto del procesamiento de granos y una digestión diferencial del almidón. Prueba contundente que explica este comportamiento se muestra en la Tabla 4, en donde el almidón que se perdió por materia fecal en NPR fue el doble, que el excretado cuando el silo de sorgo fue procesado.

Estos hallazgos se terminan de explicar con los resultados del estudio de digestión aparente de nutrientes presentados en la Tabla 4; en donde vemos que a pesar de haber detectado un consumo de almidón superior en NPR (producto del mayor porcentaje de almidón en el silo, sumado a una tendencia a mayor consumo de MS), eso no permitió incrementar su performance dado que como se explicó anteriormente dicho almidón, si bien fue consumido, no estuvo realmente disponible para ser digerido. En cambio, el procesamiento tuvo un impacto positivo sobre la digestión aparente de almidón en PRO, incrementándola un 8%, lo cual significó un aporte diferencial de nutrientes que ayuda a explicar la mayor GPV lograda en este tratamiento. Es muy interesante ver como las estimaciones realizadas a partir de los resultados de laboratorio arrojan un diferencial de 30 g/d a favor de PRO, mientras que lo obtenido realmente fueron 136 g/d; por ende hay 106 gramos adicionales producto del procesamiento, que utilizando resultados de laboratorio (Tablas 1 y 2) y las ecuaciones de NRC 1996 (corregidas por Galyean *et al.* 2016), no pudimos estimar.

Finalmente, podemos concluir que utilizar silaje de sorgo doble propósito procesado al momento del ensilado y dentro de los 150d de almacenado, mejora el aprovechamiento del almidón del grano reduciendo excreciones por materia fecal, lo cual termina mejorando GPV y EC en vaquillonas en crecimiento cuando el mismo constituye la base de la alimentación; comparado con el mismo silaje sin procesar.

Capítulo 3 - Silaje de sorgo almacenado por más de 365d: influencia del procesamiento sobre la performance animal y la digestión aparente de nutrientes en bovinos en recría.

3.1 Resumen.

El objetivo del experimento fue evaluar el efecto de alimentar bovinos en recría con silaje de sorgo, procesado o no al momento del ensilado y almacenado por un período mayor a un año, sobre performance y digestión. Un total de 96 hembras Aberdeen Angus fueron utilizadas en un experimento de performance (EP) bajo un diseño completamente aleatorizado con 6 corrales por tratamiento y 8 terneras por corral; mientras que para el experimento de digestión (ED), una ternera fue dejada al azar en cada corral, bajo el mismo diseño experimental. El procedimiento Mixed de SAS fue utilizado y el modelo incluyó el efecto fijo del tratamiento (silaje

de sorgo procesado, PRO; o no procesado, NPR) y el peso vivo inicial como covariable. Se consideraron diferencias significativas con $P < 0,05$. Sorgo doble propósito (ADV2450IG, *Advanta Seeds*, Irving, Texas) fue cosechado (*Claas Jaguar 930*, Harsewinkel, Alemania) en el estadio 8: grano duro, y sometido o no al procesamiento con un cracker específico para sorgo (rolos de 196mm con 125 dientes cada uno, 50% de velocidad de giro diferencial y una luz entre ellos de 1,1mm). Ambos tratamientos fueron cortapicados a 15mm de longitud teórica de corte, ensilados en bolsas de 60m de largo x 9 pies de diámetro, y almacenados por 376 días hasta el inicio de los experimentos. Dos dietas de recría conteniendo (en base MS) 90,5% de silaje de sorgo PRO o NPR, 6,5% de expeler de soja y 3% de un suplemento vitamínico-mineral (*ROC90*, *Provimi*, Argentina); fueron ofrecidas en EP durante 12d de adaptación y 60d de período experimental, y en ED durante 3d de adaptación y 4d de período experimental. En EP fue medido el peso inicial, medio y final, mientras que el CMS fue determinado por diferencia entre ofrecido y rechazado, dentro de cada corral. En ED, terminada la adaptación, la dieta fue individualmente ofrecida una vez al día y los rechazos se colectaron al día siguiente; mientras que la materia fecal se colectó dos veces al día. La digestión aparente en el tracto total fue determinada utilizando FDN indigestible a 240h como marcador. En el EP el CMS medido en kg o como % del peso vivo, fue mayor en el tratamiento PRO. Aunque no hubo diferencias en GPV entre tratamientos, las diferencias numéricas encontradas a favor del tratamiento PRO, hicieron que la EC resulte similar entre tratamientos. En el ED, no encontramos diferencias entre tratamientos para consumo de MS, MO, FDN, FDA, PB y almidón, o para digestibilidad aparente en el tracto total de MS, MO, FDN, FDA, PB y almidón. Como conclusión, el uso de silaje de sorgo almacenado por más de un año, sea procesado o no, permitió obtener similares GPV, EC y digestión de nutrientes cuando constituyó la base de la dieta bovinos en recría.

Palabras clave: almacenaje en el tiempo, bovinos en recría, digestibilidad aparente, procesamiento, silaje de sorgo.

3.2 Abstract.

The aim of the experiment was to evaluate the effect of feeding a one-year stored sorghum silage, processed or not at harvest, on ADG, DMI, FE and apparent total nutrient digestion of beef heifers. In a performance study (PS) 96 Angus heifers were used in a completely randomized design with 6 pens/treatment and of 8 heifers per pen; while for the digestion study (DS) one heifer by pen was randomly selected (keeping the same experimental design). Mixed model of SAS was used, and the model included the fixed effect of treatment: sorghum silage processed (PRO) or not (NPR), with initial body weight used as covariate. Significance was declared at $P < 0,05$. A dual-purpose sorghum (ADV2450IG, *Advanta seeds*, Irving, TX) was harvested (*Claas Jaguar 930*, Harsewinkel, Germany) at the late-dough stage of grain maturity and PRO or NPR were obtained with a specific sorghum cracker (196 mm rolls of 125 teeth each, 50% speed differential, 1,1 mm roll gap). Each treatment was chopped at 15 mm theoretical length of cut and ensiled in polyethylene ag-bags (60 m long and 2,74 m diameter), for 374d until starting the

feeding trial. Two backgrounding diets containing (DM basis) 90,5% sorghum silage either PRO or NPR, 6,5% soybean meal (expeller) and 3% supplement (ROC90, *Provimi*, Argentina) were offered in both studies, starting with 12d of adaptation and 60d of experimental period for the PS, and 3d of adaptation and 4d of experimental period for the DS. At the PS, diets were adjusted daily to a score of 0,5, using the SDSU 4-point bunk scoring system and samples were taken for analyses; initial, middle and final BW was measured, while DMI was calculated from differences between DM offered and refused within each pen. In DS, feed was ad-libitum and individually offered once daily, and orts were collected the following day. Fecal samples were collected twice daily and apparent total tract digestibility was determined using uNDF240h as internal marker. As the result in the PS, DMI either as kg or %BW was around 8% higher PRO treatment. Although ADG was similar among treatments, numerical differences found (0,902 and 0,83 kg/d for PRO and NPR, respectively), determined no differences in FE among treatments. No differences among treatments were detected either for DM, OM, NDF, ADF, CP and starch intake; or for DM, OM, NDF, ADF, CP and starch total tract digestion. In conclusion, feeding sorghum silage stored from 376 to 455 d; either processed or not, resulted in similar ADG, FE and nutrient digestion, when used as the base of the diet of backgrounding beef heifers.

Keywords: apparent digestibility, backgrounding cattle, processing, sorghum silage, storage time.

3.3 Introducción.

A pesar de los esfuerzos en procesamiento del silaje de sorgo, es una realidad más común de lo deseado encontrarse con granos enteros en el material ensilado. Los motivos van desde un reducido tamaño del grano que no permite un buen trabajo de procesadores, la baja disponibilidad de maquinaria de precisión (con los crackers adecuados), la falta de conocimiento para un adecuado procesamiento del material (interacción entre tamaño de picado, volumen de material y funcionamiento del cracker); y podríamos decir que en la mayoría de las situaciones no hay una cuantificación de lo que representa perder dicho grano, aun sabiendo que es en el grano donde radica la calidad de un silo de sorgo (Young, 1996). Con lo que hoy sabemos acerca de los efectos positivos que el almacenaje en el tiempo tiene sobre la digestión de almidón (Daniel *et al.*, 2015; López Bueno *et al.*, 2020), se podría esperar que dicha mejora en digestión tenga un impacto en el aporte de energía, permitiendo una mayor expectativa productiva con aquellos silajes o granos húmedos de sorgo que no hayan sido adecuadamente procesados. Dado que estos efectos de almacenajes prolongados han sido evaluados sobre silajes sólo con técnicas *in vitro* o *in situ*, y no habiendo antecedentes en performance bovina, es objetivo del presente experimento fue evaluar el efecto de suministrar dietas basadas en silaje de sorgo procesado (PRO) o no procesado (NPR), sometido a más de un año de almacenaje, sobre la performance productiva y digestión de bovinos en recría.

3.4 Materiales y métodos.

3.4.1 Instalaciones.

El experimento se condujo en el mismo campo experimental que el año anterior (El Encuentro: 35°23 S; 58°25 O), ahora durante otoño e invierno de 2022. Se utilizó la misma estructura de corrales (12 corrales de 8,3m X 12m = 99,6m² cada uno) con bebederos compartidos cada 2 corrales. Mantuvimos el mismo número de animales que en el experimento de performance del 2021, dando esto una superficie de 12,5m²/animal, para garantizar confort en suelos firmes; y del mismo modo utilizamos un animal/corral en el experimento de digestión. Los procedimientos de manejo y bienestar animal que se usaron fueron los sugeridos por FASS (2010) y aprobados por Comité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales del Laboratorio de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la FCV, de la UNLP bajo el Nro.127-2-22T.

3.4.2 Tratamientos y animales.

Del mismo cultivo de 11,2 has de sorgo ensilado el día 17 de mayo de 2021 en el Est. El Encuentro (Híbrido *ADV2450IG*), como se explicó en detalle en el punto 2.4.2 (del capítulo 2), el 50% del material de cada tratamiento se dejó almacenado por más de un año hasta el inicio de los experimentos. Mantuvimos los mismos 2 tratamientos (**NPR**= silaje de sorgo no-procesado y **PRO**= silaje de sorgo procesado con cracker específico; al momento del ensilado), con la diferencia que el silaje se almacenó por más de un año antes de comenzar los experimentos. Concretamente el silaje de sorgo se almacenó por 376d antes de comenzar con su utilización que finalizó a los 455d.

Para el experimento de performance del año 2, 96 terneras Aberdeen Angus nacidas en el establecimiento, de peso promedio inicial 193,0 ± 24,3 kg fueron utilizadas durante 60 días de mediciones, a lo cual se sumaron 12 días de adaptación previa a la dieta y manejo. Las terneras se ordenaron por peso y asignaron aleatoriamente a cada uno de 2 tratamientos, en 6 corrales con 8 animales cada uno, en un diseño completamente aleatorizado. La alimentación se realizó una vez al día, con una dieta compuesta por 90,5% de silaje de sorgo PRO o NPR (con un almacenaje ≥376d), 6,5% de expeler de soja y 3% de un *premix* vitamínico-mineral con NNP, cuya composición fue: 90% Proteína bruta, 15% Calcio, 2,4% Sodio, 4% Cloro, 1100ppm Manganeso, 1250ppm Zinc, 340ppm Cobre, 5ppm Selenio, 3,4ppm Cobalto, 19ppm Iodo, 1000ppm Monensina, 75000 UI/kg Vitamina A, 7500 UI/kg Vitamina D y 250 UI/kg Vitamina E (Tabla 5).

Finalizadas las mediciones de performance, iniciamos el experimento de digestión, para el cual una vaquillona (12,5 ± 1,3 meses de edad y 259,4 ± 38,0 kg de peso vivo) fue dejada aleatoriamente en cada corral (mismos 2 tratamientos, con 6 corrales de 1 animal cada uno). Durante los 3 días posteriores a la aleatorización, realizamos una adaptación al manejo y en especial a la permanencia solas en el corral, para luego realizar las mediciones durante los 4 días siguientes; manteniendo los mismos tratamientos (dietas) y diseño experimental que en el año anterior.

3.4.3 Performance animal.

Finalizados los 12 días de adaptación a la dieta y el manejo, se aplicó un tratamiento sanitario de rutina para animales a confinamiento, basado en una dosis de 1cm c/22,5kg de peso vivo de Levamisol (20g c/100ml) para control de parásitos internos, una dosis de 3 cm por animal de complejo micromineral (1,5g de Cobre, 5g de Zinc y 0,5g de selenio cada 100ml), y una dosis de 10 cm por animal de *pour-on* (5g Cipermetrina, 2g Carbaril y 7g Butóxido de piperonilo c/100ml) para control de parásitos externos.

Se asignaron 6 corrales por tratamiento con 8 animales por corral y durante el experimento los animales se pesaron los d 0, 33 y 60, siempre por la mañana y antes de alimentación (d0 corresponde al día del comienzo del experimento terminada la adaptación). El consumo de materia seca se determinó a partir del d0, coincidiendo con cada pesada y colectando el remanente acumulado. A diario registró la lectura de comederos, y a partir de allí la entrega de alimento se ajustó a un *score* de 0,5 utilizando el sistema de lectura de comederos de 4 puntos, propuesto por la Universidad de South Dakota, como se explicó en el capítulo 2, sección 2.4.3.

3.4.4. Digestión aparente de nutrientes.

Finalizado el experimento de performance, y terminados los 3d de adaptación, comenzó el período de evaluación para lo cual la dieta se suministró individualmente, el rechazo se midió al día siguiente, siendo la materia fecal colectada por la mañana y por la tarde en cada corral; todo esto durante 4 días consecutivos de evaluación. Las muestras de alimentos y de materia fecal conformaron una muestra compuesta por día y corral, que posteriormente fue utilizada para estimar consumo de nutrientes y marcador indigestible (uNDF240h), lo cual fue empleado para los cálculos de digestibilidad aparente de nutrientes.

3.4.5 Mediciones y muestreos.

Para el pesaje de los animales, desde cada corral se trasladó en forma independiente al sector de balanza (por pasillos laterales), en donde la estructura experimental cuenta con un brete Ecomaestro marca *Farmquip*, montado sobre báscula electrónica de alta precisión marca *Hook* (modelo ST-457). El orden de pesaje por corrales se mantuvo de inicio a fin del experimento; siendo el número 1 el primero y el número 12 el último en pesarse, manteniendo exactamente el protocolo del experimento de performance de 2021.

Para las mediciones de consumo de materia seca, se registraron a diario los kg de comida entregados por corral con mixer *Senor* modelo 228-10 *trailer*, equipado con balanza *Vesta* modelo 3530; con ± 5 kg de precisión. Además, se tomaron muestras semanales de la dieta para análisis de calidad. Al momento de la medición de consumo se procedió al barrido de comederos en cada corral, pesaje del remanente con báscula manual y toma de muestras del acumulado para los cálculos de consumo y análisis de calidad.

El muestreo de dieta, rechazo y materia fecal del experimento de digestión se realizó siguiendo el siguiente el mismo protocolo que para el experimento de digestión de 2021, durante 4 días consecutivos.

Todas las muestras para análisis de calidad (sean de dieta o rechazos) fueron congeladas de inmediato a -18°C hasta su análisis. En ese momento fueron secadas en estufa con circulación de aire forzado a 55°C por 48hs en la Cátedra de Forrajes y Forrajicultura de la Facultad de ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP (BsAs, Argentina), y posteriormente acondicionadas y remitidas para su análisis al laboratorio *Rock River* (Watertown-WI, USA) para determinar MO, PB, aFDN, FDA, almidón, lignina, EE, cenizas, Ca, P y TND.

Las muestras de dieta, rechazo y materia fecal del ensayo de digestión, una vez secas en estufa con circulación de aire forzado a 55°C por 72hs en la Cátedra de Forrajes y Forrajicultura de la Facultad de ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP (BsAs, Argentina), fueron molidas para formar la muestra compuesta por día y corral, rotuladas y enviadas al *Rock River* (Watertown-WI, USA) para determinar MO, PB, aFDN, FDA, almidón, Lignina, EE, cenizas, Ca, P, TND y uNDF2404 (FDN indigestible a 240h que utilizamos como marcador indigestible).

3.4.6 Cálculos y análisis estadístico.

Para el cálculo de ganancia de peso vivo (GPV) se aplicó la siguiente ecuación: $\text{GPV (kg/animal/d)} = [(\text{peso vivo final} - \text{peso vivo inicial})/\text{tiempo transcurrido entre pesadas en días}]$, mientras que el consumo de materia seca (CMS) se calculó de la siguiente forma: $\text{CMS (kgMS/animal/d)} = [(\text{kgMS diarios ofrecidos por corral} - \text{kgMS diarios rechazados por corral})/\text{cantidad de animales por corral}]$.

La eficiencia de conversión (EC), se presenta de 2 formas: 1) como alimento consumido por kg de peso ganado (CMS/GPV), en donde CMS está expresado en kgMS/animal/d y GPV en kg/animal/d; y 2) como kg de peso ganado por animal y por día, dividido por el consumo diario de MS (GPV/CMS).

La determinación del consumo de cada nutriente en el ensayo de digestión, se realizó individualmente por animal aplicando la siguiente ecuación: $\text{Consumo de MS, MO, FDN, FDA, PB y Almidón (kg/animal/d)} = [(\text{kgMS diarios ofrecidos} \times \% \text{ del nutriente}) - (\text{kgMS diarios rechazados} \times \% \text{ del nutriente})]$. Para el cálculo de digestibilidad aparente de cada nutriente (MS, MO, FDN, FDA, PB y almidón), aplicamos la siguiente ecuación: $100 - \{100 \times [(\% \text{uNDF240h en dieta})/(\% \text{uNDF240h en heces})] \times [(\% \text{ del nutriente en heces})/(\% \text{ del nutriente en dieta})]\}$.

La diferencia porcentual de FDN entre dieta y rechazo (cambio en FDN), se calculó con la siguiente ecuación: $[(\% \text{ FDN en rechazo} - \% \text{ de FDN en dieta})/\% \text{ de FDN en dieta}] \times 100$.

Los datos se analizaron usando procedimiento MIXED de SAS, versión 9.1 (SAS Institute, Inc., Cary, NC; 2005), y el modelo incluyó el efecto fijo del tratamiento (silaje de sorgo procesado-**PRO** o sin procesar-**NPR** al momento del ensilado), y consideramos el peso inicial como covariable. Se consideran diferencias significativas con $P < 0,05$.

3.5 Resultados.

En la Tabla 6 se presenta la composición de las dietas totalmente mezcladas (TMR) finalmente entregadas. Nuevamente vemos, al igual que en el primer año (Tabla 2), que la composición de las TMR entre experimentos se mantuvo muy similar en aquellas variables claves como MS, almidón y TND. Dado que ambos años el experimento de digestión fue inmediatamente posterior al de performance, en general las dietas muestran algo menos de nutrientes solubles y más cenizas, lo cual está marcado por variaciones que experimentan los silajes durante el almacenaje, ya que si bien en la Tabla 5 se puede ver la composición media de ingredientes utilizados en los experimentos del segundo año, el silaje utilizado en el experimento de digestión estuvo almacenado por 60d más de tiempo (que es lo que duró el experimento de performance).

Los resultados del experimento de performance se presentan en la Tabla 7. El procesamiento del silo de sorgo incrementó el CMS, tanto en kg ($P=0,01$) como en % del peso vivo ($P=0,03$). Aunque no hubo diferencias en GPV entre tratamientos, las diferencias numéricas encontradas a favor del tratamiento PRO, hicieron que a pesar del mayor consumo registrado no hubiera diferencias en EC entre tratamientos.

Los resultados del experimento de digestión aparente de nutrientes se presentan en la Tabla 8. No hubo efecto del tratamiento sobre el consumo de MS, MO, FDN, FDA, PB y almidón. Por último, la digestión aparente de MS, MO, FDN, FDA, PB y almidón no fue afectada por los tratamientos, en dietas en donde el silaje de sorgo tuvo un almacenaje en el tiempo $> 365d$.

3.6 Discusión.

El almacenaje prolongado ($>365d$) de los silos de sorgo, hizo que las diferencias en la performance detectadas el primer año dejen de existir, a juzgar por las ganancias de peso y las eficiencias de conversión registradas que fueron idénticas entre tratamientos.

Un mayor consumo registrado en PRO no alcanzó para impactar significativamente en las GPV, si bien las mismas estuvieron 72g/animal/d por encima del tratamiento NPR, lo cual terminó nivelando los resultados de eficiencia de conversión entre tratamientos. Cuando utilizamos las ecuaciones de NRC 1996, corregidas por Galyean *et al.* (2016), a partir de los datos de calidad de dietas e ingredientes reportados en Tablas 5 y 6, y considerando la categoría animal, peso y datos de consumo registrados, las ganancias de peso estimadas estuvieron un poco por encima (0,94 y 0,99 kg/animal/d para NPR y PRO, respectivamente) de lo realmente alcanzado y reportado en la Tabla 7, manteniéndose una diferencia a favor del tratamiento PRO (+50g/animal/d, contra los 72g reportados).

Cuando vemos los resultados del experimento de digestibilidad aparente realizado a continuación del performance (Tabla 8), surge claramente que la ausencia de diferencias en consumo y digestión de nutrientes es lo que explica la similar performance encontrada entre tratamientos, cuando la dieta base incluyó silaje de sorgo almacenado por más de un año.

Si bien el mayor consumo reportado en el experimento de performance (Tabla 7), no se mantuvo en el experimento de digestibilidad (Tabla 8), en kg consumidos igualmente el tratamiento PRO siguió consumiendo un 4,2% más. Por otro lado lo registrado en relación al cambio en FDN, nos dice que con silo procesado las vaquillonas tendieron a dejar más fibra en comedero, y esto puede haber generado un menor llenado y por ende un mayor pasaje; ayudando a entender los mayores consumos registrados en PRO durante el experimento de performance. La mayoría de los antecedentes sobre las mejoras en digestión de almidón por el almacenaje de los silos, fueron reportados cuando el grano fue procesado en forma previa al ensilado; en dónde los mayores beneficios se dan en los primeros 30d de almacenaje, manteniéndose en el tiempo (como lo muestra para maíz el meta-análisis publicado por Daniel *et al.* 2015). Incluso un trabajo bastante reciente (Saylor *et al.* 2021) reporta que no hubo mejoras en digestión de almidón cuando los granos quedaron intactos, siempre en almacenajes cortos. A partir de nuestros resultados parecería que con almacenajes lo suficientemente largos (>365d), el nivel de aprovechamiento de nutrientes en silajes de sorgo no procesados y procesados se iguala, lo cual termina equiparando las respuestas en performance que se pueden esperar al utilizarlo como base de la dieta de bovinos en recría.

Capítulo 4 - Silaje de sorgo: influencia del procesamiento y el almacenaje en el tiempo sobre la degradabilidad ruminal *in situ* de la materia seca y almidón.

4.1 Resumen.

Nuestros estudios muestran que, cuando el silaje fue utilizado como base de la dieta de vaquillonas Angus en crecimiento, procesar el silaje de sorgo al momento de ensilado y almacenarlo hasta 150 días, mejora la ganancia de peso vivo, la eficiencia de conversión y la digestibilidad aparente del almidón. Sin embargo, dichas diferencias en performance animal y digestión de nutrientes desaparecieron cuando el mismo silaje fue utilizado con más de un año de almacenaje. Un nuevo experimento fue realizado en paralelo a los hasta aquí reportados, con el objetivo de evaluar los efectos del procesamiento y el tiempo de almacenaje sobre la degradabilidad ruminal *in situ* del silaje de sorgo. El híbrido doble propósito (ADV2450IG, *Advanta Seeds*, Irving, TX), cosechado (*Claas Jaguar* 930, Harsewinkel, Germany) en el estado de grano pastoso-duro, procesado (PRO) o no procesado (NPR) al momento de la cosecha con un cracker específico (Rodillos de 196 mm y 125 dientes cada uno, con una velocidad diferencial de giro de 50% y una separación entre ellos de 1,1 mm), cortapicado a 15mm de longitud teórica de corte y ensilado en bolsas (60m de largo x 9 pies de diámetro); que utilizamos en los experimentos anteriores, fue muestreado a lo largo del almacenaje. Desde el día 0, fueron tomadas y freezadas muestras compuestas cada 46 ± 9 d, hasta el día 455. Dichas muestras fueron secadas pero no molidas, a fin de no afectar los tratamientos. La degradabilidad ruminal de la materia seca (MS) y del almidón fueron determinadas incubando bolsas de dacrón por duplicado, durante 24h, en cuatro novillos fistulados consumiendo una dieta basada en silaje de maíz. Los datos fueron analizados como un diseño en bloques

con medidas repetidas. El efecto fijo de tratamiento, día y su interacción fueron incluidos en el modelo, y la repetición fue el animal dentro del tratamiento. Una interacción día x tratamiento fue detectada para degradabilidad *in situ* de la MS ($P<0,001$). El tratamiento PRO incrementó ($P<0,05$) la degradabilidad *in situ* de la MS al día 66 y 202 de almacenaje y tendió a incrementarlo al día 157 y 291 ($P>0,07$). Un efecto del tiempo de almacenaje ($P<0,05$) fue detectado para la degradabilidad del almidón, pero dado que no hubo interacción con tratamiento, las medias generales de los tratamientos fueron comparadas a través de los días de almacenaje. El tiempo de almacenaje no generó diferencias hasta el día 202, cuando se compararon con el día 0, mientras que la degradabilidad de almidón se incrementó del día 202 hasta el día 291 ($P<0,03$), no habiendo diferencias a partir del día 381 en adelante, siempre comparando con el día 0. Como conclusión, el procesamiento del silaje de sorgo al momento de la cosecha, incrementa la degradabilidad ruminal de la MS y del almidón durante el primer año de almacenaje, sin embargo esas diferencias desaparecen cuando el almacenaje supera los 300d, lo cual concuerda con los hallazgos reportados en performance y digestibilidad al utilizar silaje de sorgo con más de un año de almacenaje.

Palabras clave: degradabilidad ruminal *in situ*, procesamiento, silaje de sorgo, tiempo de almacenaje

4.2 Abstract.

Our previous studies showed that processing sorghum silage at harvest and storing for approximately 150 d, improved ADG, FE and apparent total tract digestibility of starch when included as the basal ingredient in diets fed to growing Angus heifers. However, differences in animal performance and nutrient digestibility disappeared when the same sorghum silage was fed again after one year of storage. An experiment was performed to evaluate the effects of processing and storage time on ruminal *in situ* degradability of sorghum silage. A dual-purpose sorghum (ADV2450IG, *Advanta seeds*, Irving, TX) was harvested (*Claas Jaguar 930*, Harsewinkel, Germany) at the late-dough stage of grain maturity. Treatments were applied at harvest and consisted of sorghum processing (PRO) with a specific sorghum silage cracker (196 mm rolls of 125 teeth each, 50% speed differential, 1,1 mm roll gap), or not processed at all (NPR). Each treatment was chopped at 15 mm theoretical length of cut and ensiled in polyethylene ag bags (60 m long and 2,74 m diameter), for 455 d. From d 0 to 455, composite samples were taken from each treatment across the storage time and frozen until analyzed. Samples were dried but not ground, to avoid affecting treatments. Ruminal *in situ* degradability of DM and starch was determined by incubating nylon bags for 24 h in duplicate, in the rumen of four ruminally cannulated steers consuming a corn silage-based diet. Data were analyzed as a randomized block design with repeated measures. The fixed effect of treatment, day and their interaction were included in the model and the repeated subject was considered the animal within treatment. A storage day × treatment interaction was detected for *in situ* DM degradability ($P<0.001$). The PRO treatment increased ($P<0.05$) *in situ* DM degradability at 66 and 202 d of storage, and tended to increase it ($P>0.07$) at 157 and 291 d of storage. An effect

of storage day ($P < 0.05$) was observed for *in situ* starch degradability and because there was no-interaction with treatment, treatments means were compared across storage days. No differences on starch degradability were detected when storage silage until day 202, when compared with day 0; while increased when silage was stored for 202 and 291 d ($P < 0.03$). At 381 d of storage, no differences were detected for starch degradability when compared with d 0. In conclusion, processing sorghum silage at harvest, increased ruminal *in situ* DM degradability and apparent total tract starch digestibility when fed during the first year of storage. However, those differences disappear after more than 300d of storage, in agreement with animal performance and digestibility data previously reported in our work.

Keywords: *in situ* ruminal degradability, processing, sorghum silage, storage time

4.3 Introducción.

Los resultados publicados por Daniel *et al.* (2015) sugieren que el almacenaje en el tiempo de un silaje de planta entera o grano húmedo de maíz, genera una mejora en la digestibilidad de almidón de 0,28% por día hasta el día 30 de almacenaje, y de 0,033%/día de allí en adelante; siempre comparando con la digestibilidad al día 0 de ensilado. Considerando la similitud entre maíz y sorgo en cuanto al tipo de proteínas, tipos de enlaces, uniones y configuraciones entre zeínas de maíz y kafirinas de sorgo, surge el interés de evaluar cuál es el tiempo en el cual el beneficio del almacenaje es realmente detectable en silajes de sorgo. Fernandes *et al.* (2020), trabajando con mini-silos, reportan mejoras en la degradabilidad *in situ* del almidón en silajes de sorgo almacenados por 90 días, en comparación con 15 días de almacenamiento. Por su parte, Santos *et al.* (2019) también encuentran un efecto positivo de almacenajes cortos sobre la digestibilidad de almidón y de proteína en grano de sorgo reconstituido a 35% de humedad y ensilado; lo cual impactó en una mayor producción de leche y mejor eficiencia de conversión cuando vacas lecheras fueron alimentadas con 16,3% de grano en la dieta (base MS), almacenado 90d *versus* 30d. Finalmente, Saylor *et al.* (2021) reportan que en almacenajes cortos en silos de maíz, la digestibilidad del almidón aumento sólo cuando los granos fueron procesados al momento del ensilado, pero que no hubo mejoras cuando los granos quedaron intactos.

Todas las mejoras generadas por el almacenaje fueron reportadas con granos procesados antes del ensilado y con cortos tiempos de almacenado, no habiendo antecedentes que muestren si dichas mejoras se sostienen cuando ensilamos granos enteros por tiempos prolongados. El objetivo del presente trabajo fue evaluar si un almacenaje prolongado en el tiempo del silaje de sorgo mejora la degradabilidad *in situ* de la materia seca y del almidón, independientemente del procesamiento del grano.

4.4 Materiales y Métodos.

4.4.1 Instalaciones.

El trabajo experimental se inició en el establecimiento El Encuentro (35°23 S; 58°25 O) ubicado en el partido de General Paz, Buenos Aires, Argentina; en el

otoño e invierno de los años 2021 y 2022 con la toma de muestras, las cuales se almacenaron freezadas hasta finalizado el muestreo. Posteriormente, dichas muestras fueron remitidas a la estación experimental NFREC de la Universidad de Florida, ubicada en Marianna, Florida, USA, en donde se finalizó el trabajo en el año 2023 con un experimento de degradabilidad ruminal *in situ*.

4.4.2 Tratamientos, toma y evaluación de muestras.

Al momento del corta-picado (17/05/2021_día 0), como ya fue explicado en los capítulos 2 y 3, los tratamientos PRO y NPR fueron aplicados sobre el cultivo de sorgo. El material fue ensilado en bolsas de 60m de largo x 9 pies de diámetro, y almacenado hasta el día 455. A lo largo el tiempo de almacenaje se fueron tomando muestras de cada tratamiento, utilizando un calador de 0,43 cm² de sección, obteniendo 0,05m³ de material (aproximadamente 20kg), abarcando el contenido de la bolsa de lado a lado. Dicho silaje fue homogeneizado sobre un lienzo grande, y de allí luego se tomaron 4 muestras compuestas de 1 kg cada una, de las cuales 2 fueron freezadas y las otra 2 fueron utilizadas para una evaluación física del silaje utilizando el separador de partículas de la universidad de Pensilvania (Kononoff *et al.*, 2003). Incluido el día 0 al momento del picado, se totalizaron 11 tiempos de muestreo (días 0, 66, 112, 157, 202, 246, 291, 336, 381, 426 y 455). Terminado el período de evaluación, las muestras freezadas por tratamiento y día de muestreo, fueron secadas en estufa con circulación de aire forzado a 55°C por 48hs en la Cátedra de Forrajes y Forrajicultura de la Facultad de ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP (BsAs, Argentina), y posteriormente fueron acondicionadas y remitidas a la estación experimental NFREC de la Universidad de Florida, ubicada en Marianna, Florida, USA.

4.4.3 Degradabilidad ruminal *in situ* y mediciones.

La degradabilidad ruminal de los tratamientos en función del tiempo de almacenaje fue determinada por duplicado en 4 novillos con fistula ruminal (420 ± 38 kg de peso vivo), que se encontraban consumiendo una dieta basada en silaje de maíz (por un tiempo ≥ 15 días). Muestra seca sin moler fue incluida en bolsas Ankom de 10 x 20cm (R1020, *Ankom Technology Corp.*, Macedon, NY). El tamaño de poro fue de 50 µm y la relación tamaño de muestra por área de bolsa que se mantuvo fue de 12.5 mg/cm². Las bolsas termo-selladas y rotuladas con marcador indeleble fueron colocadas en una bolsa de lavandería, sumergidas en agua tibia (39°C) por 15 minutos e incubadas en el saco ventral del rumen de los novillos por 24h. Todas las bolsas fueron puestas al mismo tiempo y removidas en el momento establecido para el experimento. Una vez removidas las bolsas fueron colocadas en conservadora con hielo para interrumpir la fermentación, luego lavadas bajo chorro de agua fría hasta eliminar todas las partículas. El mismo procedimiento fue realizado con las muestras no incubadas (hora 0). Las bolsas lavadas individualmente (hasta obtener agua clara), fueron secadas por 48h a 55°C y pesadas. Luego el residuo de la incubación ruminal (2 bolsas x tiempo de almacenaje x novillo x tratamiento) fue mezclado para conformar una muestra

compuesta que se envió a laboratorio para determinación de almidón (Rock River, Watertown-WI, USA).

El uso de los novillos fistulados fue aprobado por el Comité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales (IACUC en su siglas en inglés), bajo protocolo #202200000442.

4.4.4 Análisis estadístico.

El porcentaje de silo retenido en cada bandeja del separador de partículas de la Universidad de Pensilvania (variable categórica), fue analizado como una distribución binomial utilizando procedimiento GLIMMIX de SAS, usando la opción ILINK para calcular media de tratamiento y error estándar de la media.

Para el estudio *in situ*, se utilizó un diseño completamente aleatorizado, en el cual cuatro novillos fistulados de rumen fueron utilizados. La cinética de digestión de la MS y del almidón se evaluó ajustando los residuos remanentes a cada tiempo de incubación según el modelo de Ørskov y McDonald (1979). Los datos fueron analizados como un diseño en bloques con medidas repetidas. El efecto fijo de tratamiento, día de almacenaje y su interacción fueron incluidos en el modelo; y la repetición fue el animal dentro del tratamiento.

El procedimiento Mixed de SAS fue utilizado para el análisis estadístico de los parámetros de degradación *in situ* y las diferencias fueron declaradas significativas con un valor de $P \leq 0,05$.

4.4.5 Resultados.

En la Figura 1, se presenta el efecto del tratamiento (procesado o no) y tiempo de almacenaje, sobre la degradabilidad ruminal *in situ* de la materia seca del silaje de sorgo en 24h de incubación. Una interacción día x tratamiento fue detectada para degradabilidad *in situ* de la MS ($P < 0,001$). El tratamiento PRO incrementó ($P < 0,05$) la degradabilidad *in situ* de la MS al día 66 y 202 de almacenaje y la tendió ($P > 0,07$) a incrementar al día 157 y 291; marcando un efecto positivo del procesamiento durante un almacenaje corto (hasta un tiempo ≤ 300 días). El efecto tiempo de almacenaje indica que con 157d en PRO hay un impacto positivo sobre degradabilidad *in situ* de la MS ($P < 0,03$); mientras que en NPR el impacto positivo recién se ve a los 246d ($P < 0,02$).

Por otro lado, y sólo a los fines ilustrativos, se presenta en la Figura 2 la degradabilidad ruminal *in situ* del almidón. Dada la gran variabilidad encontrada en los niveles residuales de almidón registrados, si bien las curvas elaboradas con datos promedio siguen una tendencia similar a la que muestra la degradabilidad de la MS, observada en la Figura 1, no encontramos un efecto del procesamiento en mejorar la degradabilidad de almidón.

Si bien no hubo efecto tratamiento, sí encontramos un efecto del tiempo de almacenaje sobre la degradabilidad *in situ* del almidón ($P < 0,05$). Al no haber interacción significativa tratamiento x tiempo de almacenaje, en la Figura 3 se presentan las medias de tratamiento a través de los días de almacenaje. No se detectaron diferencias del tiempo de almacenaje sobre la degradabilidad *in situ* del almidón hasta el día 202, cuando se compararon con el día 0, mientras que

entre el día 202 y 291 la degradabilidad del almidón se incrementó ($P < 0,03$), no habiendo diferencias a partir del día 381 en adelante; siempre comparando con el día 0.

En relación a la evaluación física del silaje, realizada con el separador de partículas de Penn State, en cada momento de muestreo hay un efecto del tiempo del almacenaje ($P < 0,01$) en reducir las partículas gruesas ($\geq 8\text{mm}$) e incrementar las partículas finas ($\leq 1,18\text{mm}$), como se puede observar en la Figura 4-abcd; pero además encontramos un efecto del PRO en incrementar las partículas $\leq 1,18\text{mm}$ en relación a NPR (Figura 4-cd).

4.4.6 **Discusión.**

El objetivo de este experimento, que se inicia con un muestreo realizado en paralelo a los experimentos de performance y digestión realizados a lo largo de los 2 años, fue generar herramientas adicionales que nos permitan interpretar e integrar los resultados del presente trabajo de tesis. En las discusiones particulares dejamos claro que el procesamiento tuvo un impacto en mejorar la performance y la digestión aparente de almidón, cuando silaje de sorgo almacenado por corto tiempo ($< 150\text{d}$) fue la base de la dieta en bovinos en recría (Capítulo 2_ Experimentos año 1); mientras que cuando el silaje de sorgo superó el año almacenado, las diferencias debidas al procesamiento, ya sea en performance o en digestión, dejaron de existir (Capítulo 3_ Experimentos año 2). Ahora bien, dado que fueron 2 experimentos separados y hubo que analizarlos como tal, sin poder testear la interacción tratamiento x tiempo de almacenaje (porque si no hubiésemos incurrido en el error de atribuir al tiempo de almacenaje efectos de años climáticamente diferentes, animales diferentes, manejos diferentes, etc), pensamos que con un muestreo de los silajes a lo largo del tiempo y una posterior evaluación de los mismos, podríamos de alguna manera explorar un poco dicha interacción; ya no en performance pero al menos si en digestión que fue lo que en gran medida explicó las diferencias entre tratamientos.

Por ello las muestras tomadas fueron utilizadas para realizar un experimento de degradabilidad ruminal *in situ*. Claramente, frente a un almacenaje corto ($\leq 202\text{d}$) las diferencias entre PRO y NPR se mantienen en cuanto a degradabilidad de MS, y dada la variabilidad encontrada para almidón producto del muestreo, no pudimos detectar un efecto del tratamiento para degradabilidad de almidón.

Algo interesante encontrado, fue que la degradabilidad *in situ* de la MS se incrementó antes cuando el silaje de sorgo fue procesado (157d) en comparación con los 246d que necesitó en el tratamiento NPR. Esto está en línea con trabajos que muestran que en silo de sorgo y de maíz, los efectos positivos del almacenaje en tiempos cortos sólo se dan con granos procesados (Fernandes *et al.* 2020; Saylor *et al.*, 2021). Los hallazgos de este experimento también están alineados con lo reportado en los experimentos del año 1, en donde el procesamiento mejoró performance y digestión cuando utilizamos el silaje de sorgo con un almacenaje de hasta 157 días.

Llama la atención que el efecto positivo del tiempo de almacenaje sobre la degradabilidad *in situ* de MS y del almidón, siempre comparado con el día 0, se

perdió por encima de los 300d en el caso del silaje de sorgo (independientemente del procesamiento), volviendo en almacenajes superiores al año a degradabilidades *in situ* similares a las iniciales.

Realmente cuesta explicar estos hallazgos, ya que la mayoría de los trabajos *in vitro* muestran que las mejoras continúan pero a una tasa menor (como lo presentan Daniel *et al.*, 2005; en su meta-análisis). Lo único que se podría especular es que algo vinculado al tipo de conservación, como la permeabilidad del silobolsa, pueda haber afectado al material. En este sentido el micronaje de la bolsa utilizada fue el menor (220 μm) en comparación con espesores de hasta 350 micrones disponibles y que pueden mejorar la impermeabilidad al oxígeno; si bien sabemos que la impermeabilidad depende más de la composición que del grosor del plástico. La realidad es que a juzgar por la aceptación por parte de los animales y los consumos del segundo año, no pudimos evidenciar que el silaje de sorgo haya tenido alguna afectación en su calidad y/o palatabilidad (producto de algún tipo de deterioro aeróbico). Si bien fueron experimentos diferentes, con animales diferentes y en años diferentes como se explicó, se observó que las GPV medias obtenidas el segundo año fueron 10% inferiores a las obtenidas el primer año (866 vs 960 g/d para los años 2 y 1, respectivamente). Esto puede tener que ver con esa menor degradabilidad *in situ* de MS y almidón encontrada luego de los 300d de almacenaje en este experimento (Figuras 1 y 3). Esto también guarda relación con los menores valores medios de digestibilidad aparente encontrados en el experimento del segundo año (valores medios a partir de tabla 8: MS 49,4% y Almidón 84,7%, respectivamente), en comparación con lo encontrado el primer año (valores medios a partir de tabla 4: MS 57,6% y Almidón 90%, respectivamente).

Por último, los resultados de la evaluación física de los silos pueden ayudarnos a explicar las diferencias en consumos detectadas el segundo año, en donde PRO tuvo un mayor CMS a pesar que ello no afectó significativamente la performance animal. Una reducción en el tamaño de partículas del silo con el tiempo de almacenaje, generó una mayor proporción de partículas finas en PRO en relación a NPR. Esta mayor proporción de partículas finas sumado a vaquillonas que tendieron a seleccionar más en PRO (como se reportó en Tabla 8), puede ayudarnos a entender el mayor consumo registrado en el tratamiento procesado durante el segundo año.

Capítulo 5 – Conclusiones.

Como conclusiones particulares de cada experimento podemos decir que:

- 1) La cosecha y el procesamiento del silo de sorgo, usando un cracker específico, permitió mejorar un 15% las GPV, 21% la eficiencia de conversión y 8% la digestión aparente del almidón, cuando el silaje de sorgo fue utilizado como base de la dieta en vaquillonas de recría durante menos de 150d de almacenaje.
- 2) El uso de silaje de sorgo almacenado por más de un año (376 a 455d), sea procesado o no, permitió obtener similares GPV, EC y digestión de nutrientes cuando constituyó la base de la dieta de vaquillonas en recría.

3) El procesamiento del silaje de sorgo al momento de la cosecha incrementa la degradabilidad ruminal *in situ* de la MS y del almidón durante el primer año de almacenaje, sin embargo esas diferencias desaparecen cuando el almacenaje supera los 300d; lo cual concuerda con los hallazgos reportados en performance y digestibilidad aparente al utilizar silaje de sorgo con más de un año de almacenaje. Como conclusión general, integrando la información generada a lo largo del presente trabajo de tesis, podemos decir que cuando el silaje de sorgo será utilizado como base de la dieta dentro de los primeros 9 meses de confeccionado, el procesamiento es una herramienta clave en mejorar performance y digestión de nutrientes de bovinos en recría. Ahora bien, cuando el silaje será utilizado a partir de los 300d, según las evaluaciones de degradabilidad ruminal realizadas, podemos suponer que dichas mejoras debidas al procesamiento dejarán de existir; como lo corroboran los resultados en performance y digestión obtenidos al utilizar silaje de sorgo procesado o no, entre los 376 y 455d de almacenamiento.

Capítulo 6 – Bibliografía.

- Abdelhadi, L. O. and N. DiLorenzo. 2017. Shredlage technology: a key to expanding grain sorghum silage. In: Proceedings of the V International Symposium on Forage Quality and Conservation. The Beira Río Hotel-Piracicaba, Sao Paulo. Brazil. p.107-119.
- Abdelhadi, L. O. and F. J. Santini. 2006. Corn silage versus grain sorghum silage as a supplement to growing steers grazing high quality pastures: Effects on performance and ruminal fermentation. *Animal Feed Science and Technology* (127): 33-43.
- Bolsen, K. K. 2004. Sorghum silage: a summary of 25 years of research at Kansas State University. In: Proceeding of The Southeast Dairy Herd Management Conference. Macon, Georgia, pp. 16–17.
- Bragachini, M., P. Cattani, M. Gallardo y J. Peiretti. 2008. Forrajes conservados de alta calidad y aspectos relacionados al manejo nutricional. Eds INTA Manfredi, I.S.S.N. 1667-9199. 365pp.
- CACF. 2019. XVII Reunión Plenaria: Cámara Argentinade Contratistas Forrajeros Estadísticas. Hotel Intercontinental, Mendoza. Agosto de 2019.
- Daniel, J. L. P., D. Junges and L. G. Nussio. 2015. A meta-analysis of the effects of length of storage on starch digestibility and aerobic stability of corn silages. In: Proceedings of the XVII International Silage Conference and IV International Symposium of forage quality and conservation. Piracicaba-SP, Brazil. p 306-307.
- Der Bedrosian, M. C. , K. E. Nestor Jr. and L. Kung Jr. 2012. The effects of hybrid, maturity, and length of storage on the composition and nutritive value of corn silage. *J. Dairy Sci.* 95: 5115–5126.
- Fernandes, T., E. M. Paula, H. Sultana and L. F. Ferraretto. 2020. Short communication: Influence of sorghum cultivar, ensiling storage length, and microbial inoculation on fermentation profile, N fractions, ruminal *in situ* starch disappearance and aerobic stability of whole-plant sorghum silage. *Animal Feed Science and Technology*, Volume 266, 114535.
- Ferraretto, L. F., R. D. Shaver, S. Massie, R. Singo, D. M. Taysom and J. P. Brouillette. 2015. Effect of ensiling time and hybrid type on fermentation profile, nitrogen fractions, and ruminal *in vitro* starch and neutral detergent fiber digestibility in whole-plant corn silage. *The Professional Animal Scientist* (31): 146–152.
- French, D. 1973. Chemical and physical properties of starch. *J. Anim. Sci.* 37: 1049-1061.

- Getachew, G., D. H. Putnam, C. M. De Ben and E. J. De Peters. 2016. Potential of Sorghum as an Alternative to Corn Forage. *American Journal of Plant Sciences* (7): 1106-1121.
- Gutierrez, G. G., L. M. Schake and F. M. Byres. 1982. Whole-plant grain sorghum silage processing and lasalocid effects on stocker calf performance and rumen fermentation. *J. Anim. Sci.* 54, 863–868.
- Havilah, E. J. and A. G. Kaiser. 1992. Sorghums for silage: a review. AIAS-Occasional publication. *In: Proceeding of the 2nd Australian sorghum conference*, vol. 68, Gatton, Queensland, Australia, pp. 338–354.
- Hoffman, P. C., N. M. Esser, R. D. Shaver, W. K. Coblenz, M. P. Scott, A. L. Bodnar, R. J. Schmidt and R. C. Charley. 2011. Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-protein matrix in high-moisture corn. *J. Dairy Sci.* 94: 2465–2474.
- Johnson, L. M., J. H. Harrison, D. Davidson, J. L. Robutti, M. Swift, W. C. Mahanna and K. Shinnars. 2002. Corn Silage Management I: Effects of Hybrid, Maturity, and Mechanical Processing on Chemical and Physical Characteristics. *J. Dairy Sci.* 85:833–853.
- Johnson, J. R, J. P. Goeser and M. Brouk. 2016. Development of a Berry Processing Score for Sorghum Silage. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports: Vol. 2: Iss. 9.* <http://dx.doi.org/10.4148/2378-5977.1328>
- Kondo, M., K. Kita and H. Yokota. 2004. Feeding value to goats of whole-crop oat ensiled whit green tea waste. *Anim. Feed Sci. Technol.* 113. pp. 71-81
- Kononoff, P. J., A. J. Heinrichs and D. R. Buckmaster. 2003. Modification of the Penn State Forage and Total Mixed Ration Particle Separator and the Effects of Moisture Content on its Measurements. *J. Dairy Sci.* 86:1858–1863.
- Lichtenwalner, R. C., E. B. Ellis and L. W. Rooney. 1978. Effect of incremental dosages of the waxy gene of sorghum on digestibility. *J. Anim. Sci.* 46: 1113-1119.
- Lopes Bueno, J., D. C. Bolson, F. A. Jacovaci, A. L. Mendonça Gomes, M. Gonçalves Ribeiro, A. V. Iank Bueno, C. Cabreira Jobim and J. L. P. Daniel. 2020. Storage length interacts with maturity to affect nutrient availability in unprocessed flint corn silage. *R. Bras. Zootec.*, e20190247 (49): 1-14.
- McDonald, P., A. R. Henderson and S. J. E. Heron. 1991. *The Biochemistry of Silage.* Chapter 2: Crops for Silage. Chalcome publications, Great Britain 19-80 pp.
- McGinnis, M. J. and J. E. Painter. 2020. Sorghum: History, Use and Health Benefits. *Nutr Today.* 55 (1): 38–44.
- McSweeney, C. S., B. Palmer, D. M. McNeill and D. O. Krause. 2001. Microbial interanctions with tannins: nutritional consequences for ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 91: 83-93.
- Montiel, M. D, J. C. Elizalde, F. J. Santini y L. Giorda. 2011. Características físicas y químicas del grano de sorgo. Relación con la degradación ruminal en bovinos. *Arch. Zootec.* 60 (231): 533-541.
- NRC. 2000. National Research Council. Nutrient requirements of Beef Cattle. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Ørskov, E. R. and I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci.* 92:499–503. doi:10.1017/S0021859600063048.
- Podversich, F., S. Roskopf, L. O. Abdelhadi, G. Medeiros da Silva, F. Tarnonsky, F. Fernandez, F. Sanchez, J. C. B. Dubeux Jr, L. Ferraretto and N. DiLorenzo. Effects of sorghum silage kernel processing on intake and apparent total tract digestibility of beef heifers. *Journal of Animal Science*, Vol., Suppl_4, Pages 153–154.
- Rocha de Castro Lopes, A. B., M. Lívio Panhoza, A. M. Ribeiro da Silva, M. Alves da Trindade Neto, C. Silva Pereira, M. Anton Dib Saleh and D. A. Bert. 2017. High-moisture

- sorghum grain silage with low- and high-tannin contents for weanling piglets. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.47: 04, e20151255.
- Santos, W. P., G. G. S. Salvati, J. M. Silveira, P. A. R. Salvo, B. A. V. Arthur, V. C. Gritti, K. S. Oliveira, M. V. Ferraz, J. L. P. Daniel and L. G. Nussio. 2019. The effect of length of storage and sodium benzoate on the nutritive value of reconstituted sorghum grain silages for dairy cows. *Journal of Dairy Science*, Volume 102, Issue 10: 9028-9038.
- Saylor, B. A., E. C. Diepersloot, C. Heinzen Jr., C. L. McCary and L. F. Ferraretto. 2021. Effect of kernel breakage on the fermentation profile, nitrogen fractions, and in vitro starch digestibility of whole-plant corn silage and ensiled corn grain. *JDS Communications*, 2:191–195.
- Schroeder, G. F., J. C. Elizalde and J. P. Fay. 2000. Characterization of nutritive value of corn silage produced in Buenos Aires province (Communication). *Rev. Arg. Prod. Anim.* 20, 161–177.
- Smith, R. L. 1986. Yield, composition and nutritive value of grain sorghum harvested as silage: stage of maturity and processing effects. M.Sc. Thesis, department of Animal Sciences. Kansas State University, Manhattan KS. 107pp.
- Trucillo-Uriarte, V., D. Zambelli, M. Kaspar and A. P. Pardo. 2013. Sorghum plants having a mutant polynucleotide encoding the large subunit of mutated acetohydroxyacid synthase protein and increase resistance to herbicides. WIPO-International Publication Number: WO2013/1 49674 A1. 76pp.
- Wong, J. H., T. Lau, N. Cai, J. Singh, J. F. Pedersen, W. H. Vensel, W. J. Hurkman, J. D. Wilson, P. G. Lemaux and B. B. Buchanan. 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
- Young, M. A., B. S. Dalke, R. N. Sonon Jr., D. L. Holthaus and K. K. Bolsen. 1996. Effect of grain content on nutritive value of whole-plant grain sorghum silage. In: *Proc. of the XIth International Silage Conference*, University of Wales, Aberystwyth, UK, p. 58.

Capítulo 7 – Tablas y Figuras.

7.1. Índice tablas.

Tabla 1. Composición química de los ingredientes utilizados en dietas suministradas en los experimentos de performance y de digestión de vaquillonas en recría, durante el primer año.

Tabla 2. Composición química de las dietas suministradas durante los experimentos de performance y de digestión a vaquillonas en recría, durante el primer año.

Tabla 3. Efecto del procesamiento del silaje de sorgo sobre la performance productiva de vaquillonas en recría, durante el primer año.

Tabla 4. Efecto del procesamiento del silaje de sorgo sobre consumo y digestión aparente de nutrientes en vaquillonas en recría, durante el primer año.

Tabla 5. Composición química de los ingredientes utilizados en dietas suministradas en los experimentos de performance y de digestión de vaquillonas en recría, durante el segundo año.

Tabla 6. Composición química de las dietas suministradas durante los experimentos de performance y de digestión a vaquillonas en recría, durante el segundo año.

Tabla 7. Efecto del procesamiento del silaje de sorgo sobre la performance productiva de vaquillonas en recría, durante el segundo año.

Tabla 8. Efecto del procesamiento del silaje de sorgo sobre consumo y digestión aparente de nutrientes en vaquillonas en recría, durante el segundo año.

7.2. Índice figuras.

Figura 1. Efecto del procesamiento y tiempo de almacenaje sobre la degradabilidad ruminal *in situ* de la materia seca del silaje de sorgo.

Figura 2. Efecto del procesamiento y tiempo de almacenaje sobre la degradabilidad ruminal *in situ* del almidón del silaje de sorgo.

Figura 3. Efecto del tiempo de almacenaje sobre la degradabilidad ruminal *in situ* del almidón del silaje de sorgo, procesado o no procesado al momento del ensilado.

Figura 4. Efecto de los días de ensilado y el tratamiento sobre la proporción de partículas de silaje de sorgo retenidas en las zarandas de 19mm (a), 8mm (b), 1.18mm (c), y base (d), del separador de Penn State.

Tabla 1. Composición química de los ingredientes utilizados en dietas suministradas en los experimentos de performance y de digestión de vaquillonas en recría, durante el primer año.

<i>Item</i> ²	<i>Ingredientes</i> ¹			
	NPR	PRO	Expeler soja	Premix
MS , %	32,5	33,7	96,0	95,3
MO , % de MS	92,7	92,5	93,9	52,1
PB , % de MS	8,6	8,6	44,1	93,9
aFDN , % de MS	37,2	39,1	10,0	9,2
FDA , % de MS	25,8	28,6	7,4	2,7
Almidón , % de MS	28,9	27,0	0,9	3,3
Lignina , % de MS	5,8	6,8	0,4	1,2
EE , % de MS	2,3	2,3	7,7	2,8
Cenizas , % de MS	7,3	7,5	6,1	47,9
Ca , % de MS	0,2	0,2	0,3	14,6
P , % de MS	0,2	0,2	0,6	0,2
TND , % de MS	65,5	63,5	88,1	74,4
Tamaño de partícula, % retenido ³				
19.0 mm	2,3	2,0	-	-
8.0 mm	59,0	51,9	-	-
1.18 mm	36,9	43,2	-	-
Base	1,9	2,9	-	-

¹ Ingredientes: silaje de sorgo con 47 a 134d de almacenaje, no-procesado (NPR) o procesado (PRO) al momento del picado; *Premix*, premezcla vitamínico-mineral (ROC90, *Provimi*-Argentina).

² Analizado en Laboratorio *RockRiver* (Watertown-WI): MS, materia seca; MO, materia orgánica; PB, proteína bruta; EE, extracto etéreo; aFDN, fibra detergente neutro usando α -amilasa; FDA, fibra detergente ácido; Ca, calcio; P, fósforo; TND, total de nutrientes digestibles.

³ El tamaño de partículas fue medido utilizando el Separador de partículas de la Universidad de Pensilvania (Nasco, Fort Atkinson, WI) según fue descrito por Kononoff *et al.* (2003a).

Tabla 2. Composición química de las dietas suministradas durante los experimentos de performance y de digestión a vaquillonas en recría, durante el primer año.

<i>Item</i> ³	<i>TMR</i> ¹ <i>Performance</i>		<i>TMR Digestión</i>	
	<i>NPR</i> ²	<i>PRO</i>	<i>NPR</i>	<i>PRO</i>
MS , %	35,9	37,8	37,4	37,9
MO , % de MS	90,8	91,5	89,9	91,6
PB , % de MS	14,3	12,3	14,0	14,1
aFDN , % de MS	37,6	40,7	40,3	39,2
FDA , % de MS	25,7	26,9	28,7	27,3
Almidón , % de MS	26,0	26,3	28,2	26,5
Dig. Almidón h0 , % almidón	4,0	34,1	-	-
Dig. Almidón h7 , % almidón	35,6	44,7	-	-
Lignina , % de MS	3,0	3,9	5,9	5,8
EE , % de MS	2,9	2,7	2,4	2,5
Cenizas , % de MS	9,2	8,5	10,1	8,4
Ca , % de MS	0,7	0,5	0,5	0,5
P , % de MS	0,2	0,2	0,2	0,2
TND , % de MS	60,5	63,7	65,4	63,9
ENm , Mcal/kg ⁴	1,23	1,35	1,40	1,36
ENG , Mcal/kg	0,54	0,59	0,62	0,59

¹ TMR, dietas totalmente mezcladas ofrecidas en ambos experimentos (Performance y Digestión); conteniendo en base MS: silaje de sorgo al 90,5%, Expeler de soja al 6.5% y Premezcla vitamínico-mineral al 3% (90%PB, 15% Ca, 2,4% Na, 4% Cl, 1100ppm Mn, 1250ppm Zn, 340ppm Cu, 5ppm Se, 3,4ppm Co, 19ppm I, 1000ppm Monensina, 75000 UI/kg Vit.A, 7500 UI/kg Vit.D y 250 UI/kg Vit.E).

² Tratamientos: silaje de sorgo con 47 a 134d de almacenaje, no-procesado (NPR) o procesado (PRO) al momento del picado con cracker específico para sorgo.

³ Analizado en Laboratorio *RockRiver* (Watertown-WI): MS, materia seca; MO, materia orgánica; PB, proteína bruta; EE, extracto etéreo; aFDN, fibra detergente neutro usando α -amilasa; FDA, fibra detergente ácido; Ca, calcio; P, fósforo; TND, total de nutrientes digestibles.

⁴ ENm, energía neta de mantenimiento; ENG, energía neta de ganancia; estimadas a partir de Galyean *et al.* (2016).

Tabla 3. Efecto del procesamiento del silaje de sorgo sobre la performance productiva de vaquillonas en recría, durante el primer año.

<i>Item</i>	<i>Tratamientos</i> ¹		<i>EEM</i>	<i>Valor-P</i>
	<i>NPR</i>	<i>PRO</i>		
CMS , kg	8,42	8,09	0,284	0,44
CMS , %PV	3,75	3,50	0,142	0,24
PINI , kg	182,7	182,5	9,511	0,99
PFIN , kg	239,4	246,8	1,822	0,02
GPV , kg/d	0,892	1,028	0,025	<0,01
EC , CMS:GPV	9,53	7,88	0,497	0,04
EC , GPV:CMS	0,107	0,128	0,006	0,03

¹Tratamientos: 90,5% de la dieta base silaje de sorgo con 47 a 134d de almacenaje, no-procesado (NPR) o procesado (PRO) al momento del picado con cracker específico para sorgo; 6,5% expeler soja y 3% Premezcla vitamínico-mineral (ROC90, *Provimi*-Argentina).

Abreviaturas: EEM: error estándar de la media; CMS: consumo de materia seca; PINI: peso vivo inicial; PFIN: peso vivo final; GPV: ganancia de peso vivo; EC: eficiencia de conversión.

Table 4. Efecto del procesamiento del silaje de sorgo sobre consumo y digestión aparente de nutrientes en vaquillonas en recría, durante el primer año.

	Tratamientos ¹		EEM	Valor-P
Item	NPR	PRO		
Consumo, kg/cab/d				
MS	8,97	7,55	0,544	0,10
MO	8,22	6,79	0,490	0,07
FDN	3,51	3,05	0,222	0,17
FDA	2,45	2,16	0,141	0,17
PB	1,27	1,06	0,092	0,15
Almidón	2,53	1,99	0,151	0,03
Cambio en FDN, % ²	5,99	0,97	1,944	0,10
Almidón en MF, %	8,69	4,46	0,675	<0,01
Digestibilidad, %				
MS	54,74	60,45	5,163	0,45
MO	58,23	64,50	4,686	0,37
FDN	37,70	44,06	7,855	0,58
FDA	20,39	29,90	7,576	0,40
PB	50,43	59,02	4,656	0,22
Almidón	86,48	93,55	1,103	<0,01

¹Tratamientos: 90,5% de la dieta base silaje de sorgo con 47 a 134d de almacenaje, no-procesado (NPR) o procesado (PRO) al momento del picado con cracker específico para sorgo; 6,5% expeler soja y 3% Premezcla vitamínico-mineral (ROC90, Provimi-Argentina).

²Cambio en FDN (%) = (Concentración FDN rechazo/Concentración FDN dieta) / Concentración FDN dieta × 100.

Abreviaturas: EEM: error estándar de la media; MS: materia seca; MO: materia orgánica; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; PB: proteína bruta; MF: materia fecal.

Tabla 5. Composición química de los ingredientes utilizados en dietas suministradas en los experimentos de performance y de digestión de vaquillonas en recría, durante el segundo año.

<i>Item</i> ²	<i>Ingredientes</i> ¹			
	NPR	PRO	Expeler soja	Premix
MS, %	31,3	32,5	90,8	97,7
MO, % de MS	91,3	91,4	93,8	51,9
PB, % de MS	8,4	8,5	44,8	94,2
aFDN, % de MS	39,8	39,6	9,7	9,0
FDA, % de MS	27,9	28,3	6,9	2,5
Almidón, % de MS	27,1	27,9	1,1	3,1
Lignina, % de MS	6,2	6,9	0,3	1,1
EE, % de MS	2,1	2,0	6,9	2,6
Cenizas, % de MS	7,8	8,0	6,0	48,3
Ca, % de MS	0,2	0,2	0,3	14,4
P, % de MS	0,2	0,2	0,5	0,2
TND, % de MS	63,9	62,8	86,8	73,9
Tamaño de partícula, % retenido ³				
19.0 mm	1,1	1,1	-	-
8.0 mm	53,4	48,2	-	-
1.18 mm	42,6	46,9	-	-
Base	2,9	3,7	-	-

¹ Ingredientes: silaje de sorgo con 376 a 455d de almacenaje, no-procesado (NPR) o procesado (PRO) al momento del picado; *Premix*, premezcla vitamínico-mineral (ROC90, *Provimi*-Argentina).

² Analizado en Laboratorio RockRiver (Watertown-W). MS: materia seca; MO: materia orgánica; PB: proteína bruta; EE: extracto etéreo; aFDN; fibra detergente neutro usando α -amilasa; FDA: fibra detergente ácido; Ca: calcio; P: fósforo; TND: total de nutrientes digestibles.

³ El tamaño de partículas fue medido utilizando el Separador de partículas de la Universidad de Pensilvania (Nasco, Fort Atkinson, WI) según fue descripto por Kononoff *et al.* (2003a).

Tabla 6. Composición química de las dietas suministradas durante los experimentos de performance y de digestión a vaquillonas en recría, durante el segundo año.

<i>Item</i> ³	<i>TMR¹ Performance</i>		<i>TMR Digestión</i>	
	<i>NPR²</i>	<i>PRO</i>	<i>NPR</i>	<i>PRO</i>
MS , %	35,7	36,9	35,6	35,7
MO , % de MS	91,5	91,6	90,2	90,3
PB , % de MS	11,8	11,8	12,7	13,4
aFDN , % de MS	41,5	41,2	45,4	42,6
FDA , % de MS	30,0	29,7	30,8	29,4
Almidón , % de MS	26,7	27,3	25,9	24,4
Dig. Almidón h0 , % almidón	13,3	30,4	-	-
Dig. Almidón h7 , % almidón	35,7	42,2	-	-
Lignina , % de MS	5,7	6,7	5,7	5,5
EE , % de MS	3,8	4,1	2,4	2,7
Cenizas , % de MS	8,5	8,4	9,8	9,7
Ca , % de MS	0,45	0,49	0,59	0,53
P , % de MS	0,19	0,19	0,20	0,22
TND , % de MS	62,8	61,7	61,9	63,3
ENm , Mcal/kg ⁴	1,33	1,30	1,30	1,34
ENG , Mcal/kg	0,58	0,56	0,56	0,58

¹ TMR, dietas totalmente mezcladas ofrecidas en ambos experimentos (Performance y Digestión); conteniendo en base MS: silaje de sorgo al 90,5%, Expeler de soja al 6,5% y Premezcla vitamínico-mineral al 3% (90%PB, 15% Ca, 2,4% Na, 4% Cl, 1100ppm Mn, 1250ppm Zn, 340ppm Cu, 5ppm Se, 3,4ppm Co, 19ppm I, 1000ppm Monensina, 75000 UI/kg Vit.A, 7500 UI/kg Vit.D y 250 UI/kg Vit.E).

² Tratamientos: silaje de sorgo con 376 a 455d de almacenaje, no-procesado (NPR) o procesado (PRO) al momento del picado con cracker específico para sorgo.

³ Analizado en Laboratorio RockRiver (Watertown-W). MS: materia seca; MO: materia orgánica; PB: proteína bruta; EE: extracto etéreo; aFDN; fibra detergente neutro usando α -amilasa; FDA: fibra detergente ácido; Ca: calcio; P: fósforo; TND: total de nutrientes digestibles.

⁴ ENm: energía neta de mantenimiento; ENG: energía neta de ganancia, estimadas a partir de Galyean *et al.* (2016).

Tabla 7. Efecto del procesamiento del silaje de sorgo sobre la performance productiva de vaquillonas en recría, durante el segundo año.

<i>Item</i>	<i>Tratamientos¹</i>		<i>EEM</i>	<i>Valor-P</i>
	<i>NPR</i>	<i>PRO</i>		
CMS , kg	8,08	8,81	0,168	0,01
CMS , %PV	3,42	3,69	0,080	0,03
PINI , kg	198,7	197,4	10,01	0,93
PFIN , kg	248,6	250,6	1,800	0,46
GPV , kg/d	0,830	0,902	0,040	0,22
EC , CMS:GPV	9,86	9,82	0,357	0,97
EC , GPV:CMS	0,103	0,103	0,004	0,96

¹Tratamientos: 90,5% de la dieta base silaje de sorgo con 376 a 455d de almacenaje, no-procesado (NPR) o procesado (PRO) al momento del picado con cracker específico para sorgo; 6,5% expeler soja y 3% Premezcla vitamínico-mineral (ROC90, Provimi-Argentina).

Abreviaturas: EEM: error estándar de la media; CMS: consumo de materia seca; PINI: peso vivo inicial; PFIN: peso vivo final; GPV: ganancia de peso vivo; EC: eficiencia de conversión.

Tabla 8. Efecto del procesamiento del silaje de sorgo sobre consumo y digestión aparente de nutrientes en vaquillonas en recría, durante el segundo año.

	Tratamientos ¹		EEM	Valor-P
Item	NPR	PRO		
Consumo, kg/cab/d				
MS	7,78	8,11	0,491	0,65
MO	7,03	7,32	0,446	0,65
FDN	3,54	3,44	0,216	0,76
FDA	2,39	2,38	0,165	0,94
PB	0,99	1,08	0,068	0,37
Almidón	2,01	1,99	0,160	0,94
Cambio en FDN, % ²	6,04	12,37	2,240	0,07
Almidón en MF, %	7,28	7,55	0,688	0,79
Digestibilidad, %				
MS	48,72	49,50	4,119	0,90
MO	51,64	52,86	3,900	0,83
FDN	32,76	35,69	3,066	0,54
FDA	16,75	21,63	4,551	0,49
PB	43,30	48,81	4,521	0,41
Almidón	85,49	83,91	2,368	0,65

¹Tratamientos: 90,5% de la dieta base silaje de sorgo con 376 a 455d de almacenaje, no-procesado (NPR) o procesado (PRO) al momento del picado con cracker específico para sorgo; 6,5% expeler soja y 3% Premezcla vitamínico-mineral (ROC90, *Provimi*-Argentina).

²Cambio en FDN (%) = (Concentración FDN rechazo/Concentración FDN dieta) / Concentración FDN dieta × 100.

Abreviaturas: EEM: error estándar de la media; MS: materia seca; MO: materia orgánica; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; PB: proteína bruta; MF: materia fecal.

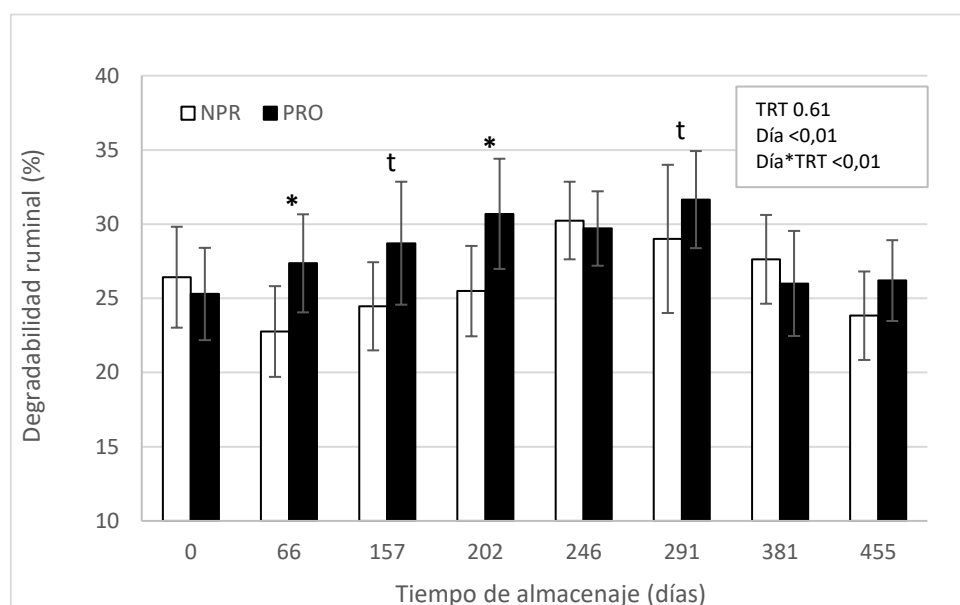


Figura 1. Efecto del procesamiento y tiempo de almacenaje, sobre la degradabilidad ruminal *in situ* de la materia seca del silaje de sorgo.

Abreviaturas: TRT: tratamiento; NPR: no procesado al momento del ensilado; PRO: procesado al momento del ensilado. Diferencias significativas = *P<0,05, tendencia = P≥0,07≤0,11

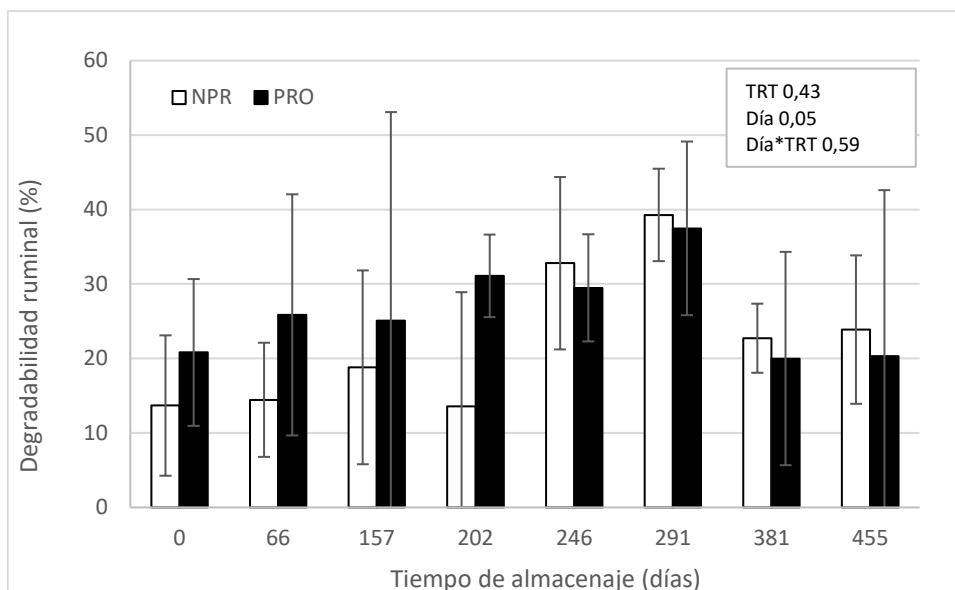


Figura 2. Efecto del procesamiento y tiempo de almacenaje, sobre la degradabilidad ruminal *in situ* del almidón del silaje de sorgo.

Abreviaturas: TRT: tratamiento; NPR: no procesado al momento del ensilado; PRO: procesado al momento del ensilado.

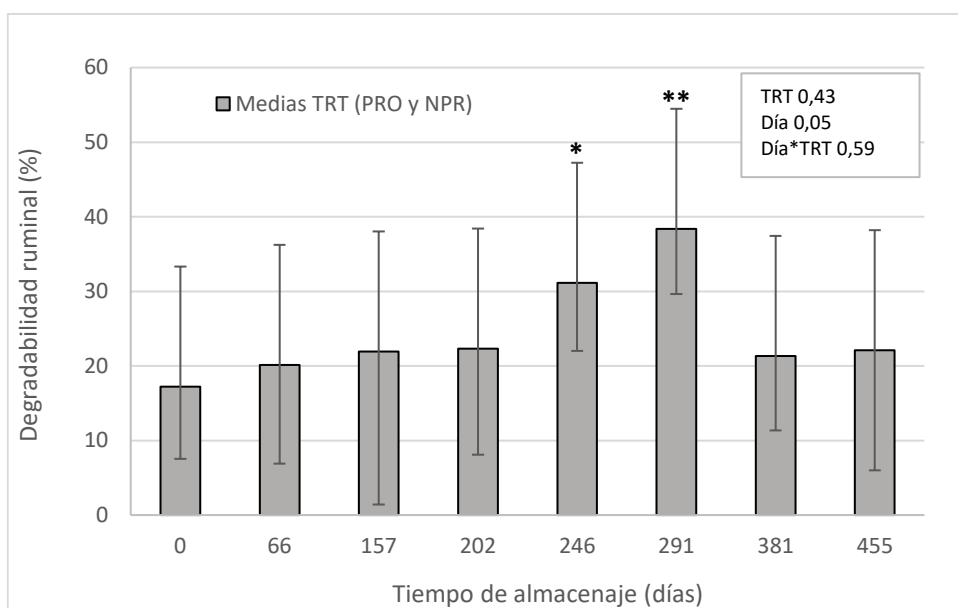


Figura 3. Efecto del tiempo de almacenaje, sobre la degradabilidad ruminal *in situ* del almidón del silaje de sorgo, procesado o no al momento del ensilado.

Abreviaturas: TRT: tratamiento; NPR: no procesado al momento del ensilado; PRO: procesado al momento del ensilado. Diferencias significativas = * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$

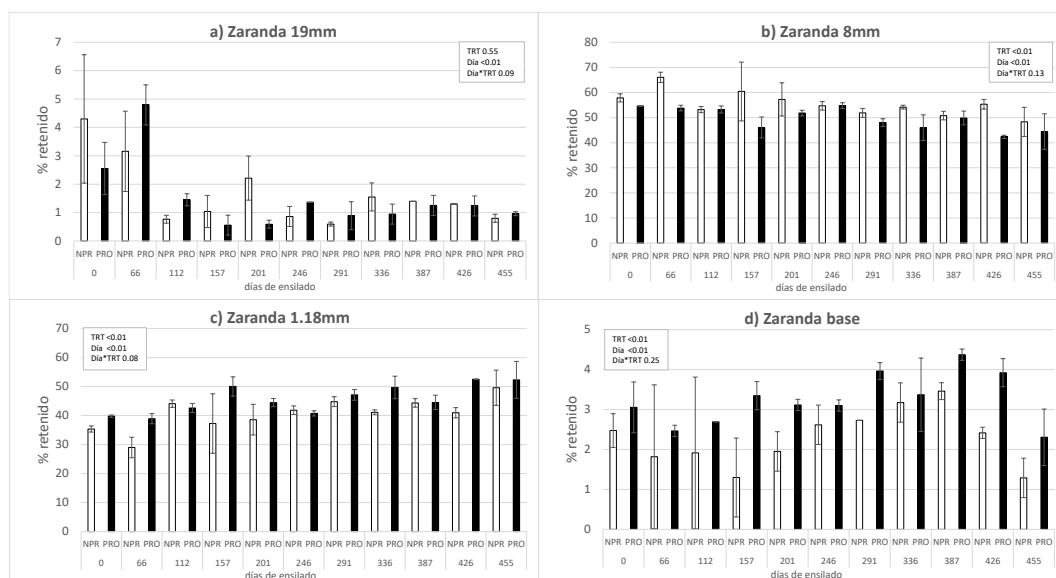


Figura 4. Efecto de los días de ensilado y el tratamiento, sobre la proporción de partículas de silaje de sorgo retenidas en las zarandas de 19mm (a), 8mm (b), 1.18mm (c), y base (d), del separador de Penn State.

Abreviaturas: TRT: tratamiento; NPR: no procesado al momento del ensilado; PRO: procesado al momento del ensilado.