



INSTITUTO  
NACIONAL DE  
INVESTIGACIÓN  
AGROPECUARIA

URUGUAY



**ESTUDIO DE ALIMENTOS  
ALTERNATIVOS AL MAÍZ Y  
LA HARINA DE SOJA EN  
DIETAS PARA CERDOS  
EN ENGORDE**

JUNIO 2018

SERIE  
FPTA-INIA

**64**

# **ESTUDIO DE ALIMENTOS ALTERNATIVOS AL MAIZ Y LA HARINA DE SOJA EN DIETAS PARA CERDOS EN ENGORDE**

**FPTA - 326**

***Aporte nutritivo para cerdos de: sorgo bajo  
tanino, sorgo extrusado, sorgo ensilado como  
grano húmedo, expeller de canola y arveja***

## **Equipo técnico responsable:**

Roberto Bauza <sup>1</sup>  
Sebastián Brambillasca <sup>2</sup>  
Marina Fernández-García <sup>3</sup>  
Roberto Barreto <sup>3</sup>  
Dalel Silva <sup>3</sup>  
Cecilia Bratschi <sup>3</sup>  
Cecilia Cajarville <sup>2</sup>  
José Luis Repetto <sup>2</sup>  
Bruno Tejero <sup>1</sup>  
Ivanna Bollazzi <sup>4</sup>  
Ana Cardozo <sup>4</sup>  
Federico Rosas <sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía - Universidad de la República. Montevideo, Uruguay

<sup>2</sup> Facultad de Veterinaria - Universidad de la República. Montevideo, Uruguay

<sup>3</sup> Técnico Contratado

<sup>4</sup> Comisión Nacional de Fomento Rural

**Título:** Estudio de alimentos alternativos al maíz y la harina de soja en dietas para cerdos en engorde

**Equipo técnico responsable:**

Roberto Bauza (Facultad de Agronomía)  
Sebastián Brambillasca (Facultad de Veterinaria)  
Marina Fernández-García (Técnica contratada)  
Roberto Barreto (Técnico contratado)  
Dalel Silva (Técnica contratada)  
Cecilia Bratschi (Técnica contratada)  
Cecilia Cajarville (Facultad de Veterinaria)  
José Luis Repetto (Facultad de Veterinaria)  
Bruno Tejero (Facultad de Agronomía)  
Ivanna Bollazzi (Comisión Nacional de Fomento Rural)  
Ana Cardozo (Comisión Nacional de Fomento Rural)  
Federico Rosas (Comisión Nacional de Fomento Rural)

**Serie:** FPTA N° 64

ISBN: 978-9974-38-398-2

© 2018, INIA

Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología de INIA  
Andes 1365, Piso 12. Montevideo, Uruguay  
<http://www.inia.uy>

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Este libro no se podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

# Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

## **Integración de la Junta Directiva**

**D.M.T.V., Ph.D. José Luis Repetto** - Presidente

**Ing. Agr., M.Sc., Ph.D. Álvaro Roel** - Vicepresidente



**Ing. Agr., M.Sc. Diego Payssé Salgado**

**Ing. Agr. Jorge Peñaricano**



**Ing. Agr. Pablo Gorriti**

**Ing. Agr. Alberto Bozzo**







## **FONDO DE PROMOCIÓN DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA**

El Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria (FPTA) fue instituido por el artículo 18° de la ley 16.065 (ley de creación del INIA), con el destino de financiar proyectos especiales de investigación tecnológica relativos al sector agropecuario del Uruguay, no previstos en los planes del Instituto.

El FPTA se integra con la afectación preceptiva del 10% de los recursos del INIA provenientes del financiamiento básico (adicional del 4o/oo del Impuesto a la Enajenación de Bienes Agropecuarios y contrapartida del Estado), con aportes voluntarios que efectúen los productores u otras instituciones, y con los fondos provenientes de financiamiento externo con tal fin.

EL FPTA es un instrumento para financiar la ejecución de proyectos de investigación en forma conjunta entre INIA y otras organizaciones nacionales o internacionales, y una herramienta para coordinar las políticas tecnológicas nacionales para el agro.

Los proyectos a ser financiados por el FPTA pueden surgir de propuestas presentadas por:

- a) los productores agropecuarios, beneficiarios finales de la investigación, o por sus instituciones.
- b) por instituciones nacionales o internacionales ejecutoras de la investigación, de acuerdo a temas definidos por sí o en acuerdo con INIA.
- c) por consultoras privadas, organizaciones no gubernamentales o cualquier otro organismo con capacidad para ejecutar la investigación propuesta.

En todos los casos, la Junta Directiva del INIA decide la aplicación de recursos del FPTA para financiar proyectos, de acuerdo a su potencial contribución al desarrollo del sector agropecuario nacional y del acervo científico y tecnológico relativo a la investigación agropecuaria.

El INIA a través de su Junta Directiva y de sus técnicos especializados en las diferentes áreas de investigación, asesora y facilita la presentación de proyectos a los potenciales interesados. Las políticas y procedimientos para la presentación de proyectos son fijados periódicamente y hechos públicos a través de una amplia gama de medios de comunicación.

El FPTA es un instrumento para profundizar las vinculaciones tecnológicas con instituciones públicas y privadas, a los efectos de llevar a cabo proyectos conjuntos.

De esta manera, se busca potenciar el uso de capacidades técnicas y de infraestructura instalada, lo que resulta en un mejor aprovechamiento de los recursos nacionales para resolver problemas tecnológicos del sector agropecuario.

El Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria contribuye de esta manera a la consolidación de un sistema integrado de investigación agropecuaria para el Uruguay.

A través del Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria (FPTA), INIA ha financiado numerosos proyectos de investigación agropecuaria a distintas instituciones nacionales e internacionales. Muchos de estos proyectos han producido resultados que se integran a las recomendaciones tecnológicas que realiza la institución por sus medios habituales.

En esta serie de publicaciones, se han seleccionado los proyectos cuyos resultados se considera contribuyen al desarrollo del sector agropecuario nacional. Su relevancia, el potencial impacto de sus conclusiones y recomendaciones, y su aporte al conocimiento científico y tecnológico nacional e internacional, hacen necesaria la amplia difusión de estos resultados, objetivo al cual se pretende contribuir con esta publicación.



## Índice general

<b>Estudio de alimentos alternativos al maíz y la harina de soja en dietas para cerdos en engorde</b> .....	9
<b>Justificación y objetivos</b> .....	9
<b>I.- ANTECEDENTES: ALIMENTOS ALTERNATIVOS AL MAIZ Y LA HARINA DE SOJA</b> .....	11
I.1.- GRANO DE SORGO .....	11
I.2.- SORGO DE BAJO TANINO .....	16
I.3.- EXTRUSADO DEL SORGO ALTO TANINO .....	17
I.4.- ENSILADO DE GRANO HUMEDO .....	17
I.5.- ENSILADO DE GRANO RECONSTITUIDO .....	19
I.6.- EXPELLER DE CANOLA .....	20
I.7.-ARVEJA FORRAJERA .....	24
<b>II.- ESTUDIO DE CINETICA DE DEGRADACION DEL ALMIDON Y DIGESTIBILIDAD IN VITRO DE GRANO DE SORGO</b> .....	27
INTRODUCCIÓN .....	27
MATERIALES Y MÉTODOS .....	29
RESULTADOS .....	32
DISCUSIÓN .....	34
CONCLUSIONES .....	38
<b>III.- DIGESTIBILIDAD Y METABOLISMO IN VIVO DE DIETAS PARA CERDOS EN ENGORDE UTILIZANDO ALIMENTOS ALTERNATIVOS AL MAIZ Y LA SOJA</b> .....	39
<b>III.1.- DIGESTIBILIDAD FECAL APARENTE PARA CERDOS DE PARTIDAS DE SORGO CON DIFERENTES CONTENIDOS DE TANINOS, SOMETIDOS A DISTINTAS TECNOLOGÍAS DE PROCESAMIENTO</b> .....	39
MATERIALES Y MÉTODOS .....	39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41
CONCLUSIONES DEL ENSAYO .....	45
<b>III.2.- EFECTO DE INCLUIR SORGO BT, ARVEJA FORRAJERA Y EXPELLER DE CANOLA SOBRE EL APORTE NUTRITIVO DE DIETAS PARA CERDOS</b> .....	45
MATERIALES Y MÉTODOS .....	45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	48
CONCLUSIONES DEL ENSAYO .....	51
<b>IV.- RESPUESTA PRODUCTIVA DE CERDOS EN ENGORDE A DIETAS CON ALIMENTOS ALTERNATIVOS AL MAIZ Y LA SOJA</b> .....	52
<b>IV.1.- RESPUESTA PRODUCTIVA DE CERDOS EN ENGORDE A LA SUSTITUCIÓN DE MAÍZ POR SORGO EN LA DIETA</b> .....	52
MATERIALES Y MÉTODOS .....	52
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	55
CONCLUSIONES DEL ENSAYO .....	57

<b>IV.2.- RESPUESTA DE CERDOS EN ENGORDE A DIETAS CON SORGO BT Y EXPELLER DE CANOLA+ARVEJA SUSTITUYENDO EL MAÍZ Y LA SOJA .....</b>	<b>58</b>
MATERIALES Y METODOS .....	58
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	60
CONCLUSIONES DEL ENSAYO .....	63
<b>V.- CALIDAD DE CARCASA Y GRASA DE CERDOS RECIBIENDO DIETAS CON SORGO BT/ EXPELLER DE CANOLA SUSTITUYENDO AL MAÍZ/HARINA DE SOJA .....</b>	<b>64</b>
MATERIALES Y METODOS .....	64
RESULTADOS Y DISCUSION .....	67
CONCLUSIONES DEL ENSAYO .....	70
<b>VI.- EVALUACION DE DIETAS CON ALIMENTOS ALTERNATIVOS AL MAIZ Y LA HARINA DE SOJA EN PREDIOS DE PRODUCTORES .....</b>	<b>71</b>
MATERIALES Y METODOS .....	71
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	74
CONCLUSIONES DEL TRABAJO .....	75
<b>VII.- CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES DEL PROYECTO .....</b>	<b>76</b>
<b>VIII.- BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>77</b>
<b>IX. - AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>89</b>

**Equipo técnico responsable:**

Roberto Bauza <sup>1</sup>; Sebastián Brambillasca <sup>2</sup>;  
Marina Fernández-García <sup>3</sup>; Roberto Barreto<sup>3</sup>;  
Dalel Silva <sup>3</sup>; Cecilia Bratschi <sup>3</sup>; Cecilia  
Cajarville <sup>2</sup>; José Luis Repetto <sup>2</sup>; Bruno  
Tejero <sup>1</sup>; Ivanna Bollazzi <sup>4</sup>;  
Ana Cardozo <sup>4</sup>; Federico Rosas <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía

<sup>2</sup> Facultad de Veterinaria

<sup>3</sup> Técnico Contratado

<sup>4</sup> Comisión Nacional de Fomento Rural

# Estudio de alimentos alternativos al maíz y la harina de soja en dietas para cerdos en engorde

FPTA 326

Período de ejecución:

Junio 2014 – Agosto 2017

## JUSTIFICACION Y OBJETIVOS

Tradicionalmente y a nivel universal la principal fuente energética utilizada en la alimentación de los cerdos ha sido el grano de maíz. Este grano es el cereal de mayor valor energético (3390 kcal de EM/kg) debido a su alto contenido de almidón y lípidos, caracterizándose por su alta digestibilidad asociado a su bajo contenido de FDN que a su vez es muy poco lignificada (FEDNA 2010a). Sin embargo, a partir de la utilización del maíz como sustrato para la elaboración de bioalcohol, su precio ha aumentado notablemente a nivel internacional (Methol, 2013). Estas variaciones en el precio del maíz generan fluctuaciones en la rentabilidad de la porcicultura (Errea et al, 2013), por lo que a nivel de la producción nacional surge como un objetivo prioritario detectar y evaluar otros alimentos energéticos existentes en el país y potenciales sustitutos del maíz.

Por su parte, la fuente proteica utilizada a nivel universal en la producción de aves y cerdos realizada a nivel comercial intensivo es la harina de soja, que se destaca por su alta digestibilidad y valor proteico. La composición de la proteína de la soja, con alto aporte en lisina la hace un buen complemento para la proteína del maíz, al punto que es posible la formulación de raciones utilizando solamente estos alimentos principales, complementados por un núcleo vitamínico-mineral (FEDNA 2010).

La alta cotización del maíz y de la soja, a partir de su utilización como materia prima para elaborar biocombustibles ha generado una fuerte preocupación a nivel de los productores de aves y cerdos, que han visto fuertemente incrementados sus costos de alimentación. La preocupación por encontrar alimentos alternativos al maíz y a la harina de soja ha sido una constante en los últimos tiempos. Sin embargo, no es sencillo encontrar remplazantes a estos alimentos que permitan obtener mejores resultados bioeconómicos: el menor costo por unidad de la ración que se obtenga no siempre es acompañado por la misma respuesta biológica y muchas veces el resultado final es peor que con los alimentos que se busca remplazar. La evolución del mejoramiento genético vegetal, así como la incorporación de nuevas tecnologías de procesamiento han volcado al mercado nuevos productos, que ameritan ser caracterizados tanto desde el punto de vista químico, como en la respuesta animal obtenida al incluirlos en las dietas. Por otra parte, estos sistemas de alimentación pueden generar cambios en la calidad del producto final que también deber ser tenidas en cuenta, especialmente la composición lipídica y aptitud tecnológica de las grasas. De este modo, la falta de información disponible respecto al contenido de nutrientes y formas de procesamiento, y sus efectos sobre respuestas digestivas y metabólicas en cerdos, genera la necesidad de obtener información original sobre algunos alimentos potencialmente viables para ser utilizados como alternativas al maíz y la harina de soja.

Algunos de estos alimentos alternativos son cereales (granos de sorgo altos y bajos en taninos, ensilados como grano húmedo o extrusados) o granos de proteaginosas (arveja forrajera). Estos alimentos están disponibles en el país, pero la información sobre su utilización nutricional y los efectos de distintos tipos de procesamiento en la alimentación de cerdos son escasos o no concluyentes. Por otra parte, en Uruguay se ha producido un importante aumento del área cultivada con Canola, debido a su utilización para la obtención de aceite destinado a la elaboración de biodiesel (Souto y Rava, 2017). Como subproducto de la extracción del aceite se obtiene el expeller de canola, con alto contenido en proteína cruda, cuyo valor nutritivo para los cerdos no está definido en forma concluyente y menos aún, difundido en Uruguay.

El objetivo general de este trabajo consiste en el estudio de los principales alimentos disponibles en Uruguay potencialmente utilizables en la alimentación de cerdos como sustitutos del maíz y la harina de soja.

El desarrollo del mismo comprende los siguientes objetivos específicos:

- Actualización de información a nivel nacional e internacional sobre los alimentos potencialmente sustitutos del grano de maíz y la harina de soja en la alimentación de cerdos.

- Evaluación del aporte en nutrientes digestibles para cerdos en engorde de dos tipos de sorgo sometidos a distintas formas de procesamiento.
- Estudio del proceso de fermentación durante el ensilado de grano húmedo de sorgo reconstituido y dinámica de degradación *in vitro* de la glucosa.
- Evaluación del aporte en nutrientes digestibles para cerdos en engorde de raciones conteniendo distintos niveles de expeller de canola y arveja forrajera en sustitución de la harina de soja.
- Estudio de la respuesta productiva en estación de cerdos en engorde recibiendo dietas en base a maíz o sorgo, suplementados con harina de soja o una mezcla de expeller de canola y arveja.
- Evaluación de las características de carcasa, calidad de carne y grasa de cerdos recibiendo dietas en base a maíz o sorgo suplementadas con harina de soja o una mezcla de expeller de canola y arveja.
- Estudio de los resultados productivos y económicos en predios de productores, de cerdos recibiendo una alimentación con raciones en base a maíz o sorgo suplementados con harina de soja o mezcla de expeller de canola y arveja. contenido de humedad de referencia del 12%.

## I.- ANTECEDENTES: ALIMENTOS ALTERNATIVOS AL MAÍZ Y LA HARINA DE SOJA

### I.1.- GRANO DE SORGO

El sorgo, (*Sorghum bicolor*) es un cereal nativo de África traído a América en el siglo XVIII. Es el quinto cereal más importante del mundo, luego del trigo, arroz, maíz y cebada. Se caracteriza por ser un cultivo tolerante a condiciones ambientales desfavorables, como sequía y salinidad en los suelos, siendo capaz de crecer en condiciones más secas que el maíz y en suelos arenosos (Liu *et al.* 2013; Moreira *et al.* 2013). En regiones tropicales o semiáridas se considera un cultivo primario debido a su capacidad de crecer y producir con poca humedad de suelo (Etuk *et al.* 2012). En condiciones de secano logra promedios de producción del orden de la mitad de su producción potencial.

En Uruguay, el cultivo de sorgo es relativamente nuevo como cultivo granífero, presentando buen potencial de desarrollo dada su rusticidad y potencial de rendimiento en secano superior al resto de los cultivos de verano. El sorgo se cultiva con dos objetivos: producción para grano seco (utilizado en alimentación animal o para la elaboración de biocombustible) y para ser utilizado como silo de grano húmedo con destino a la alimentación de bovinos (Methol, 2017).

El área destinada a la producción de grano seco, abarcó una superficie de 66.000 has en

la zafra 2015/2016, con una producción de 234 mil toneladas (Methol, 2017). La producción de sorgo con destino a la elaboración de silo de grano húmedo, no figura en la información de cultivos que levanta normalmente DIEA y no se integra a los canales comerciales tradicionales, ya que es utilizada por los propios productores que lo procesan, embolsan y almacenan para la alimentación de ganado lechero y novillos en engorde en feeds lots. Esta producción se estima a partir de la cantidad de semilla vendida y considerando los valores de producción promedio del cultivo en ese año. Con esta metodología se determinó para la zafra 2015/2016 un área sembrada de sorgo para grano húmedo de 100 mil has y una producción de 282 mil toneladas de sorgo en forma de silo de grano húmedo (corregida la humedad del grano a 14%, similar al grano seco). Esto compone un total de 166 mil has destinadas al cultivo de sorgo y una producción total de 520 mil toneladas de equivalente de grano seco (Methol, 2017).

#### Estructura del grano

Como todos los granos, el sorgo está constituido por tres partes: el pericarpio, o cubierta exterior; el germen (embrión) y el endosperma o tejido de almacenamiento. De acuerdo a Porter (1995) y FEDNA (2010) las proporciones típicas de estas partes se pueden sintetizar en: endosperma 84.2%; embrión 9.4 % y pericarpio 6.5 %, realizando la precisión que estas proporciones pueden variar en función del tipo de híbrido y las condiciones ambientales en las que se produjo



Foto I. 1.- Cultivares de sorgo



el grano. El endosperma contiene en promedio 65% de almidón (FEDNA, 2010) que a su vez está constituido por 75% de amilopectina y 25% de amilosa, dándole una estructura de tipo vítrea. El contenido de paredes celulares del grano de sorgo es relativamente bajo, con 8% de FDN y en esta 0,7% de FDA, además de otros compuestos como celulosas, hemicelulosas y pentosanas (FEDNA, 2010). El color del grano puede ir desde matices de blanco, pasando por el rosado, anaranjado, rojo y marrón. Dicho color está determinado entre otras cosas por el espesor del pericarpio, la presencia o no de testa, el color del endosperma y la incidencia de dos genes (intensificador y difusor) (Porter, 1995).

Si bien, la composición química del sorgo es similar al de otros cereales como el maíz, el sorgo se asocia a menores niveles de productividad animal cuando se utiliza en dietas de monogástricos. Existen tres factores inherentes al sorgo que son responsables de una menor utilización del almidón y de la energía en los monogástricos que son (i) una prolamina, la kafirina, que es la proteína más abundante en el sorgo, (ii) compuestos fenólicos, incluyendo taninos, y (iii) la presencia de fitatos (Liu *et al.*, 2015). La kafirina es de baja solubilidad y tiene un pobre perfil de aminoácidos. En el endospermo, los gránulos de almidón son rodeados por numerosas moléculas de kafirina, y las interacciones entre proteínas y almidones dificultan la gelatinización y la hidrólisis enzimática del almidón (Rooney y Pflugfelder, 1986; Liu *et al.*, 2013).

Existen algunas variedades de sorgos cuyo almidón está formado en 100% de amilopectina, teniendo por ello una estructura cerosa (Myer y Gorbert, 1985; Domanski *et al.* 1997). Estos últimos son más digestibles, como consecuencia de que las moléculas de amilopectina, más grandes y ramificadas, resultan más susceptibles a la ruptura de los enlaces entre las cadenas de glucosa cuando el grano se fractura. A su vez la amilopectina es soluble en agua mientras que la amilosa no, por lo que de forma genérica es posible afirmar que la digestibilidad del almidón es inversamente proporcional al contenido de amilosa. Cohen y Tanksley (1973) clasifican a los sorgos según el tipo de endosperma (harinoso o córneo) y a su vez según el tipo de almidón (dependiendo de la relación entre amilopectina y amilosa). El sorgo con estructura vítrea es más resistente al ataque de hongos e insectos (Liu *et al.* 2013). Los híbridos con estructura cerosa (100 % de amilopectina) son

más digestibles y tienen mayor valor nutritivo que los sorgos normales (Porter, 1995). El almidón en el endosperma está rodeado por una capa de proteína constituida por kafirina. Se trata de una proteína de baja digestibilidad, debido a su baja solubilidad. La  $\beta$  y  $\gamma$ - kafirina se caracterizan por contener importante cantidad de cisteínas, que forman enlaces disulfuros, de baja digestibilidad (Nyannor *et al.* 2007).

El sorgo sintetiza cantidades importantes de taninos condensados, polímeros fenólicos de sabor astringente, asociados positivamente con atributos agronómicos, pero negativamente a la calidad nutricional (Latorre y Calderón, 1998; FEDNA, 2010a). Los taninos se dividen dos grupos: taninos pirogálicos o hidrolizables y taninos condensados. En los sorgos marrones están presentes ambos tipos de taninos, los rojos poseen sólo taninos hidrolizables, mientras que los sorgos blancos actuales no contienen ningún tipo de tanino (Chessa, 2015). Quienes afectan el valor nutritivo del sorgo son los taninos condensados: catequinas flavonoides y leucoantocianinas (Latorre y Calderón, 1998; Chicarelli, 2012) por su capacidad de formar complejos insolubles con la proteína del grano, las enzimas digestivas y las proteínas endógenas, interfiriendo con la digestión (Porter, 1995; Latorre y Calderón, 1998; Nozella, 2001; Chicarelli, 2012). De acuerdo a lo expresado por Porter (1995) la presencia de testa, una capa muy pigmentada debajo del pericarpio, es determinante en la presencia de taninos condensados. Cuando la testa está presente encontramos alojados en ella a la mayoría de los taninos condensados (Domanski *et al.* 1997), responsables de los efectos antinutricionales que más adelante se profundizarán. Si la testa está ausente el sorgo no tendrá taninos, independientemente del color del grano (Porter, 1995).

El contenido en taninos de los sorgos es una característica varietal variando entre 0,1 y 10,0 %. De esta forma, los sorgos pueden ser clasificados como bajos en tanino (entre 0,0 y 0,4%), con contenido medio (0,4 y 1,0 %) y contenido alto (1,0 a 10%). Las variedades con alto tanino están en vías de desaparición en muchas partes del mundo, siendo más comunes las que poseen entre 0,0 y 0,4 % (Fekete y Castaing, 1987; Nozella, 2001; FEDNA, 2010a; Chicarelli, 2012).

De acuerdo a INIA/INASE (2012) en Uruguay están en proceso de evaluación y multiplicación 81 cultivares de sorgo, que varían su contenido en taninos de 0,1% a más de 5%. A nivel de la

producción comercial prevalecen los cultivares con contenido medio de taninos, observándose un aumento en el área dedicada a cultivares bajo tanino, que son destinadas a la elaboración de biocombustibles o para silo de grano húmedo para ganado. Es de hacer notar que en las plantas de silos no se hace diferenciación entre tipos de grano, siendo almacenadas en forma conjunta y mezclados, por lo que hasta la actualidad en Uruguay no es posible seleccionar qué tipo de sorgo se adquiere una vez que sale de la chacra.

Los trabajos de investigación han demostrado que los taninos condensados tienen una serie de efectos negativos sobre la utilización del grano de sorgo por los monogástricos: disminuyen la palatabilidad por su sabor astringente; se ligan a una porción de la proteína del grano, convirtiéndola en no digestible; forman complejos con las enzimas digestivas (amilasa, lipasa y tripsina) interfiriendo con la digestión normal; forman complejos con las proteínas endógenas reduciendo la digestibilidad aparente de los aminoácidos; (Porter, 1995; Latorre y Calderón, 1998; Chicarelli, 2012). Existe información discrepante sobre el efecto de los taninos sobre las enzimas digestivas, con autores que afirman que el efecto de inhibición observado *in vitro* no se produce *in vivo* (Gómez-Soto *et al.* 2015). Se estima que los taninos condensados pueden disminuir hasta un 30% la eficiencia alimentaria de los monogástricos (Chessa, 2015).

### Aporte nutritivo del sorgo

Para los monogástricos el sorgo es considerado principalmente una fuente de energía, pero también se tienen cuenta la calidad y cantidad de sus proteínas, ya que las dietas basadas en sorgo pueden suplir hasta la mitad de la proteína requerida por los cerdos en crecimiento (Porter, 1995). El sorgo presenta menor concentración energética que el maíz por su menor contenido en lípidos, mayor en proteínas mayor concentración de fósforo disponible que el maíz (Chicarelli, 2012; Tokach *et al.* 2012). El valor nutritivo del grano de sorgo se estima entre 87 y 97% del maíz, no pudiendo establecerse una relación absoluta debido a la variabilidad de genotipos existentes, con distintos contenidos en taninos y en lisina, que afectan el aporte energético y proteico (Rostagno *et al.* 2005; Tokach *et al.*, 2012; Moreira *et al.* 2013). Para maximizar el valor energético del sorgo es importante el procesamiento realizado para reducir

el tamaño de las partículas, especialmente de su núcleo duro. El NRC (1998) estima que el sorgo tiene un contenido en EM de 1.533 Mcal/kg, con respecto al 1.551 del maíz.

Existe un importante efecto del contenido de taninos sobre el valor energético del sorgo. FEDNA (2010) presentan una ecuación de predicción del contenido en ED dependiente del contenido de taninos:  $ED \text{ (Kcal/kg)} = 3908 - 263 (\% \text{taninos base seca})$ . Grosjean y Castaing (1984) estimaron para los sorgos utilizados en Francia un valor energético equivalente al 92% del maíz, en los sorgos de contenido medio de taninos (1,0 %), no existiendo diferencias con el maíz para las variedades de bajo tanino, mientras que en las variedades de alto tanino su valor es marcadamente inferior. Por su parte D'Alessandro *et al.* (1997) coinciden en señalar una disminución del aporte energético, particularmente de EM, del sorgo a medida que aumenta su contenido en taninos, debido al efecto negativo de éstos sobre la utilización de la proteína, que implica una mayor pérdida energética por la excreción del N.

El contenido de proteína cruda del sorgo es muy similar o ligeramente superior al maíz, con un contenido del orden de 9,5 – 10,5 % (Araiza-Piña *et al.* 2003; FEDNA, 2010; Moreira *et al.* 2013). Estas proteínas están constituidas por prolaminas (kafirina) (52,7%), glutelinas (34,4%), globulinas (7,1%) y albuminas (5,7%) (FEDNA, 2010). La proteína del sorgo contiene más triptófano, valina, treonina, isoleucina y leucina que la del maíz, siendo menor su contenido en lisina (NRC, 1998; INRA, 2004). Estudios realizados por Eckert y Allee (1974) y Ward y Southern (1995) demuestran que el primer aminoácido limitante en la proteína del sorgo es la lisina, siendo la treonina el segundo limitante y la metionina el tercero, a diferencia del maíz donde el tercer limitante es el triptófano. Se debe considerar que la digestibilidad ileal estandarizada de los aminoácidos del sorgo es ligeramente inferior a la del maíz (Tokach *et al.* 2012), excepto en el caso del triptófano, cuya digestibilidad es significativamente superior, del orden del 10,9 % superior, en el sorgo (Lin *et al.* 1987). La baja digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos prolina y glicina es atribuida por Cousins *et al.* (1981) al incremento de la pérdida de proteína endógena asociada a la presencia de los taninos.

Ward y Southern (1995) señalan que no solo el balance en amino ácidos hace la diferencia entre

el valor nutritivo de las proteínas del sorgo y el maíz, ya que la suplementación de dietas con aminoácidos sintéticos a niveles similares no permite obtener performances equivalentes entre ambos alimentos, estando el sorgo por debajo en la respuesta animal, lo que los autores señalan como resultado de la interferencia en la digestibilidad debido al efecto de los taninos u otra característica asociada a la proteína del sorgo. Este otro efecto se debe a que la kafirina representa el 54% de esta fracción, tratándose de una proteína de baja digestibilidad, consecuencia de su baja solubilidad (Liu *et al.*, 2013). Louis *et al.* (1991) observaron que aún en el caso de las variedades de bajo tanino, la digestibilidad de la proteína de las dietas en cerdas madres fue menor que en dietas basadas en maíz. La  $\beta$  y  $\gamma$ - kafirina son conocidas por contener importante cantidad de cisteína, que forman enlaces disulfuro de baja digestibilidad (Nyannor *et al.*, 2007). Se han desarrollado cultivares de sorgo con proteína de alta digestibilidad asociada a la presencia de  $\alpha$ -kafirina y a la estructura del endosperma, con numerosas invaginaciones en la matriz proteica, que favorecen la accesibilidad a las proteasas.

El sorgo posee mayor contenido de fósforo disponible que el maíz, aspecto que debe tenerse en cuenta al momento de realizar la sustitución entre granos. Además del ahorro en suplementos minerales de fósforo, se disminuye la contaminación ambiental por la menor excreción en los desechos (Tokach *et al.*, 2012).

### Digestibilidad del sorgo

Diferentes autores reportan que existe una relación inversa del contenido de taninos con la digestibilidad y el aporte energético del sorgo (D'Alessandro *et al.*, 1997; FEDNA, 2010).

Además, Grosjean y Castaing (1984), Macías *et al.* (2012) y Martínez *et al.* (2012) no encontraron diferencias entre el sorgo bajo tanino y el maíz, siendo ambos superiores a los sorgos de alto tanino.

La digestibilidad de la MS y MO del sorgo disminuye al aumentar la concentración de taninos por la formación de complejos tanino-proteína y tanino-carbohidratos, que afectan la actividad de las enzimas pancreáticas. Los taninos condensados inhiben la acción de las enzimas pancreáticas (amilasa, lipasa, tripsina), causando una disminución del 10 al 30 % en la eficiencia

alimentaria, en comparación con los sorgos que no poseen estos compuestos (Maksinchuk, 2004). Interfieren con la digestión normal, formando complejos con las proteínas endógenas reduciendo la digestibilidad aparente de los aminoácidos (Porter, 1995; Latorre y Calderón, 1998; Chicarelli, 2012). Esta conclusión está avalada por los resultados de Cousins *et al.* (1981) y D'Alessandro *et al.* (1997) quienes observaron un aumento en la excreción de proteína de origen endógeno, que se refleja en una disminución de la digestibilidad de los aminoácidos prolina y glicina. Con concentraciones entre 0,3 y 0,7% de taninos la reducción es leve, pero por encima 1% es significativa (Fekete y Castaint, 1987; Kemm y Brand, 1996; D'Alessandro *et al.*, 1997; Garín *et al.*, 2007; Barros *et al.*, 2012). Se debe tener en cuenta que el 93% de la digestión de la MO del sorgo se produce en el intestino delgado (Liu *et al.*, 2013).

La digestibilidad ileal estandarizada de los aminoácidos del sorgo es entre 6 y 10 % inferior a la del maíz (NRC, 1998; Araiza-Piña *et al.*, 2003; Tokach *et al.*, 2012). La digestibilidad fecal aparente de la proteína del sorgo, de acuerdo a lo obtenido por Lin *et al.*, (1987) fue de 86,4%, cuando la del maíz fue de 86,9 la del trigo de 88,9%. Liu *et al.* (2013) sintetizan que la baja digestibilidad de la proteína del sorgo es la resultante de la interacción de un conjunto de factores exógenos (estructura del grano, polifenoles, fitatos y componentes de la pared celular) y endógenos (enlaces disulfuros, la hidrofobia de la kafirina y estructuras proteicas secundarias).

De acuerdo al NRC (1998) la digestibilidad ileal estandarizada de los aminoácidos del sorgo es entre 6 y 10 % inferior a la del maíz. Resultados publicados por Araiza-Piña *et al.* (2003) indican que la DIA de la lisina del sorgo es de 55,3%, cuando en el maíz y el trigo es del orden del 70%. Por su parte, Lin *et al.* (1987) señalan que la DIA de los aminoácidos del sorgo es intermedia entre el maíz y el afrechillo de trigo. Cousins *et al.* (1981) no observan diferencias entre sorgos con diferentes contenidos de taninos en la DIA de metionina y lisina.

### Procesamiento del grano para mejorar su valor nutritivo

El almidón en el endosperma del grano de sorgo está rodeado de una capa que resiste tanto la digestión física como enzimática, y además los

granos de este almidón están embebidos en una densa matriz de proteína. Esto hace que la digestibilidad tanto del almidón como de la proteína sea mejorada mediante el procesamiento del grano (molienda, extrusado, producción de copos con vapor, ensilado, etc) que ayuda a exponer los gránulos de almidón y la matriz proteica al proceso digestivo (Porter, 1995).

El grano de sorgo presenta un núcleo pequeño y muy duro con respecto al maíz, por lo que la molienda del mismo, aumentando su área de exposición a las enzimas tiene un efecto positivo para la digestión por el cerdo (Tokach *et al.*, 2012; Liu *et al.*, 2013). Se observa que a medida que se reduce el tamaño de partícula, se obtiene una respuesta cuadrática en la eficiencia alimenticia de cerdos destetados y en recría, con un tamaño óptimo de 500 a 700 micras (Kemmm y Brand, 1996; Chicarelli, 2012; Tokach *et al.*, 2012). Sin embargo, con tamaños de partícula inferiores a las 400 micras se corre el riesgo de que aparezcan úlceras gástricas (Chicarelli, 2012; Liu *et al.*, 2013).

Se considera que un molino de rodillos dará un tipo de molienda más uniforme de los granos que el molino a martillos, siendo más aconsejable (Tokach *et al.*, 2012). Pero de acuerdo con Liu *et al.* (2013) no se han observado diferencias en los resultados de performance ni en las características de las carcasas de cerdos entre tipos de molienda.

Owsley *et al.* (1981) observaron que la digestibilidad ileal aparente de la MS, almidón, EB y N mejoraba significativamente a medida que se reducía el tamaño de partícula de 3,57 a 2,36 mm. Con respecto a la digestibilidad ileal de los aminoácidos, la mayoría presentaba un comportamiento similar, excepto la lisina, que no mostró diferencias entre grados de molienda. Los autores concluyen que el efecto más importante de la reducción del tamaño de molienda sobre el valor nutritivo del sorgo se asocia a una mejor digestibilidad de la Energía, ya que el valor proteico es poco modificado, al no variar la biodisponibilidad del primer aminoácido limitante.

### **Respuesta del cerdo al suministro de sorgo granífero**

Cuando se utiliza el sorgo en la alimentación de cerdos en engorde en Estados Unidos y Europa se toma como exigencia básica la utilización del sorgo sin taninos. Ese tipo de sorgo tiene un valor nutritivo del orden del 98% al del maíz (Chicarelli,

2012). Myer y Gorbet (1985) no detectaron diferencias en la respuesta de cerdos en recría entre sorgos con endosperma ceroso o normal, concluyendo que las diferencias entre sorgos se deben al contenido de taninos, no existiendo diferencias por el tipo de endosperma. Sin embargo, Liu *et al.* (2013) y Goodband y Tokach (2016) recomiendan no descuidar el grado de molienda del sorgo, ya que el menor tamaño de partícula tiene un efecto significativo en la mejora de la utilización digestiva.

Ward y Southern (1995) llegan a la conclusión que el contenido de taninos es la principal causa de las menores performances obtenidas en cerdos en engorde utilizando sorgo en sustitución del maíz. Estos autores evaluaron dietas suplementadas en aminoácidos esenciales, hasta igualar el aporte de una dieta maíz/soja, no logrando igualar las performances, aspecto atribuido por los autores al efecto negativo de los taninos sobre la digestibilidad del N. A similares conclusiones llegan Pan *et al.* (2016) quienes correlacionan negativamente el aporte energético del grano de sorgo con su contenido de taninos condensados, estableciendo una disminución de 200 kcal/kg de EM por cada 1% de incremento en el contenido de taninos.

Cousins *et al.* (1981), Grosjean y Castaing (1984), y Kemmm y Brand (1996) concluyen que el sorgo con menos de 0,2% de taninos tienen un valor nutritivo similar al maíz en dietas monocereal para cerdos en engorde. Con mayores concentraciones de taninos condensados, del orden de 1,0 y 1,4 %, se observan reducciones en velocidad de crecimiento y eficiencia de conversión de 4 y 8%, respectivamente. Los mismos autores observaron que los animales que recibieron sorgo con alto contenido de taninos no aumentaron su consumo, pero al tener peor índice de conversión presentaron menor velocidad de crecimiento que los alimentados con maíz o sorgo bajo tanino. En el mismo sentido, Myer y Gorbet (1985) observan que los cerdos en recría no modifican su consumo de alimento por variaciones en el contenido de taninos, siendo afectada la eficiencia con que se utiliza la dieta y ello afecta la ganancia de peso. Fekete *et al.* (1987) alimentando lechones destetados con dietas en base a sorgos con dos niveles de taninos (0,2 y 1,0%) observaron una tendencia a una disminución en las performances al aumentar el nivel de taninos. A las mismas conclusiones llegan Myer y Gorbet (1985) trabajando con cerdos en recría debido a una

menor eficiencia de conversión que afecta a su vez, la velocidad de crecimiento.

La respuesta de los cerdos a la sustitución del maíz por sorgo con alto contenido de taninos condensados varía con el tipo genético del animal. Mushandu *et al.* (2005) observaron que los cerdos Large White y sus cruzamientos deprimen su ganancia de peso a medida que se incrementa el porcentaje de sorgo en la dieta, mientras que los cerdos locales de Zimbabwe no son afectados o se ven favorecidos por la inclusión de sorgo, evidenciando un efecto de adaptación a los alimentos locales.

Carcasas de cerdos recibiendo dietas basadas en sorgo molido y harina de soja presentaron menor desarrollo muscular con respecto a una dieta de maíz-harina de soja, lo que está asociado a la concentración en aminoácidos digestibles del sorgo, ya que cuando se suplementa con lisina y treonina, no presenta diferencias (Ward y Southern, 1995).

El sorgo posee menor contenido de lípidos, pero además su perfil de ácidos grasos es más favorable que el del maíz considerando su efecto sobre la calidad industrial de la grasa de cerdos. Los lípidos del sorgo contienen menor contenido de ácido linoleico que los del maíz lo que se refleja en grasa dorsal más dura y por lo tanto con mayor calidad industrial (Braun *et al.*, 2007; Chicarelli, 2012; Tokach *et al.*, 2012; Braun y Pattacini, 2013).

## I.2.- SORGO DE BAJO TANINO

El contenido en taninos es una característica varietal de los sorgos, siendo clasificados como bajo tanino (entre 0,0 y 0,4%), contenido medio (0,4 y 1,0 %) y alto tanino (1,0 a 10%). En Uruguay predomina el cultivo de sorgo con contenido medio de taninos y, en menor grado, variedades de bajo tanino, blanco o rojo (Cuitiño y Vera, 2016).

A partir de la inauguración en octubre de 2014 de una nueva planta de destilería en Paysandú, ALUR comenzó a demandar grano de sorgo para la producción de etanol carburante, como complemento de la producción de este biocombustible a partir de caña de azúcar en la planta de Bella Unión, transformándose en un demandante relevante de este grano (Methol, 2017). Por razones de carácter tecnológico, la producción de biocombustible se realiza utilizando sorgo de bajo tanino, en forma exclusiva, por lo

que ALUR realiza contratos de abastecimiento con productores a los efectos de asegurar la calidad del grano recibido. En la zafra 2015/16 ALUR demandó unas 85 mil toneladas de sorgo, lo que en superficie de siembra equivale a unas 26 mil hectáreas (Methol, 2017). Por otra parte, existe una producción de sorgo de bajo tanino por parte de productores lecheros, que lo emplean para la elaboración de silo de grano húmedo, utilizado prioritariamente en la alimentación de terneros, dado su mejor valor nutritivo.

Cuitiño y Vera (2016) justifican la reticencia de los productores cerealeros a aumentar el área cultivada con sorgo de bajo tanino por la mayor sensibilidad de estos cultivares al ataque por pájaros y la mayor vulnerabilidad a las condiciones climáticas adversas. Por otra parte, la infraestructura disponible en Uruguay para el almacenamiento del sorgo en plantas de silo no admite la diferenciación entre cultivares, por lo que no es posible que los demandantes del grano con destino a raciones puedan optar por un tipo determinado.

Los sorgos con bajo tanino se caracterizan por su mayor valor nutritivo, determinándose que el sorgo con menos de 0,2% de taninos tiene un valor nutritivo similar al maíz en dietas monocereal para cerdos en engorde. Con mayores concentraciones de taninos condensados, del orden de 1,0 y 1,4 %, se observan reducciones en velocidad de crecimiento y eficiencia de conversión de 4 y 8%, respectivamente (Cousins *et al.*, 1981; Grosjean y Castaing, 1984; Louis *et al.*, 1991; Kemm y Brand, 1996). Latorre y Calderon (1998) determinaron en pollos parrilleros una reducción de la digestibilidad de la proteína del orden de 4% por cada 1% en el incremento del contenido en taninos (equivalentes catequina).

Cousins *et al.* (1981) y Myer *et al.* (1986) no encontraron diferencias en la utilización digestiva de la MS y de la Energía, ni en el valor nutritivo entre el sorgo bajo tanino y el maíz, siendo ambos netamente superiores a los sorgos con alto contenido de taninos. La sustitución del maíz de la dieta de cerdos en recría por sorgo rojo de bajo tanino no afecta la utilización digestiva a nivel ileal de la MS, MO, Energía y Proteína (Martínez *et al.*, 2012; Macías *et al.*, 2012). Contrariamente, Louis *et al.* (1991) sostienen que se mantienen las diferencias en la utilización de la proteína, que se asocian a la estructura de la kafirina y la menor biodisponibilidad de los aminoácidos de la proteína del sorgo.

Con la utilización de sorgos con bajo contenido de taninos condensados y realizando una molienda fina es posible actualmente lograr respuestas productivas en cerdos en recría-terminación similares a las obtenidas con el maíz, pudiendo ser sustituidos entre sí sin dificultades (Goodband y Tokach, 2016). Estos autores concluyen, sin embargo, que se requieren procedimientos accesibles de determinación del nivel de taninos, para utilizar al momento de formular las raciones.

### I.3.- EXTRUSADO DEL SORGO ALTO TANINO

El proceso de extrusión se basa en la combinación de las acciones del agua presente en las materias primas, o eventualmente añadida, con calor y acciones mecánicas por un corto período de tiempo. En la extrusión en seco, el producto es forzado por un tornillo sinfín dentro de una cámara, siendo sometido a alta presión (30-40 atmósferas) y alta temperatura (140-145°C) (Braun, 2001). La extrusión en húmedo consiste en pasar el grano molido a través de un sistema mecánico de tornillos, luego de una inyección de vapor de agua, que la lleva a consistencia pastosa. Esta pasta es sometida a elevadas temperaturas y presiones por un corto periodo de tiempo (30 a 60 segundos) y al final del proceso, por la diferencia con la presión exterior se produce una expansión de la célula que resulta en la gelatinización de los gránulos de almidón y un cambio en la apariencia del producto, que se vuelve esponjoso (Lon Wo, 2007).

El tratamiento térmico tiene como objetivo provocar la gelatinización del almidón del grano. La gelatinización es la ruptura de la estructura semicristalina del gránulo de almidón, que mejora la accesibilidad para las enzimas digestivas y microbianas, lo que se refleja, especialmente en los animales monogástricos, en una mejora de la digestibilidad (Mills y Hines, 1993; Gaviria Retrepo, 2008, FEDNA, 2010b). Por otra parte, Alonso *et al.* (2000) observan que el proceso de extrusado provoca hidrólisis de los taninos condensados, reduciendo su contenido en 54%. En el mismo sentido Kulps y Ponts (2000) y Kraler *et al.* (2014) reportan una reducción del contenido de fibra insoluble como resultado de la extrusión en granos de cereales.

Un calentamiento adecuado también mejora la utilización de la proteína, al provocar su desnaturalización y favorecer la biodisponibilidad

de los aminoácidos (FEDNA, 2010b). En este sentido se considera más adecuado el extrusado húmedo. Liu *et al.* (2013) reportan una mejora de 4.8% en la eficiencia de utilización del alimento y de 15,7% en la digestibilidad del N de dietas para cerdos en terminación basadas en sorgo y harina de soja, debido al proceso de extrusado. Resultados similares habían encontrado Mills y Hines (1993) en cerdas lactantes.

Los trabajos realizados por Braun (2001) en el período de engorde no arrojaron diferencias a favor del extrusado con respecto al maíz o al grano de sorgo molido. El tratamiento térmico del grano de sorgo con alto contenido de tanino tiene un efecto favorable sobre la digestibilidad, que se refleja en la velocidad de crecimiento y la eficiencia de conversión de los cerdos en la etapa de crecimiento-terminación (Kemmm y Brand, 1996).

Se debe considerar que el proceso de extrusión del sorgo se asocia a un mayor costo energético que el peleteado, pero tiene mayor respuesta en la gelatinización del almidón y en mejorar las performances (Mills y Hines, 1993; Liu *et al.*, 2013). En las condiciones actuales en Uruguay el extrusado del grano representa un sobrecosto del orden del 30% sobre el valor del grano en plaza (E. Forrissi, com.pers.), aspecto que limita su utilización en alimentación animal, más allá de las consideraciones técnicas que se realicen.

### I.4.- ENSILADO DE GRANO HUMEDO

Los ensilajes de grano húmedo son una alternativa de conservación de alimentos en fresco por un tiempo determinado, para su posterior uso. Son técnicas que permiten transferir el alimento de épocas de alto potencial de producción a otras de menor potencial (Scarpitta, 2008). Uno de los objetivos de la realización del silo de grano húmedo de sorgo o maíz es el ahorro energético que significa no realizar el secado del grano luego de cosechado hasta el nivel de 86% de MS que permite su conservación en silos.

El ensilado de grano húmedo de sorgo se realiza mediante la conservación en ambiente anaeróbico y de bajo pH del grano cosechado con elevada humedad entre 23 y 40% y molido (Chalkling y Brasesco, 2003; Scarpitta, 2008). Esto es posible dado que la madurez fisiológica del sorgo (y también del maíz) se alcanza antes que la madurez comercial. Al alcanzar la madurez fisiológica el grano tiene el máximo peso seco, con la cantidad

más elevada de nitrógeno y de azúcares totales, a partir de ese momento se corta la comunicación vascular entre el grano y el resto de la planta, que se produce generalmente con una humedad del 35% aproximadamente y que se identifica a nivel de campo por la aparición de un punto negro en la inserción del grano. Cosechar antes de la madurez fisiológica implica una pérdida de rendimiento mientras que la cosecha pasado el punto de madurez fisiológica puede implicar menor calidad del grano, al disminuir el contenido de proteínas y la calidad de los almidones (Chalkling y Brasesco, 2003; Rovira y Velazco, 2012). El grano se cosecha y quiebra mediante pasado por rodillos, siendo llevado inmediatamente a condiciones de anaerobiosis mediante compactación. Según Montiel y Depetris (2007) el quebrado del grano en el ensilado provoca que la matriz proteica que rodea los gránulos de almidón se encuentre en forma discontinua y no constituya una barrera para el ataque enzimático.

El sistema más difundido de almacenamiento es en bolsa de polietileno. La conservación se garantiza por condiciones de anaerobiosis que permiten una reducción del pH, que se mantiene entre 4 y 4,5 (Chalkling y Brasesco, 2003). La reducción del pH se da en dos etapas: una primera fermentación acética, que lo lleva a valores de 5, y se prolonga por 24 – 72 hs; y una etapa de fermentación láctica, más prolongada, que lleva el valor del pH a 4 – 4,5, con lo que se estabiliza el medio y se asegura la conservación del silo (Scarpitta, 2008). Knabe y Tanksley (1982) utilizan para mejorar el tiempo de conservación del sorgo grano húmedo el agregado de 1,5% de una mezcla de ácidos acético y propiónico, pulverizados sobre el grano al momento de realizar el silo.

Con el proceso de ensilaje se provoca la hidrólisis de los enlaces de los taninos y de la kafirina favoreciendo la accesibilidad de las enzimas a los gránulos de almidón, mejorando la utilización digestiva de ambas fracciones. Observaciones de Myer *et al.* (1986) indican que el almacenamiento anaeróbico en condiciones de alta humedad es un proceso efectivo de conservación que provoca la desactivación del 28 – 30% de los taninos y, como consecuencia, se mejora la digestibilidad, pero sin llegar a igualar al maíz o sorgo BT. El valor nutritivo de los silos grano húmedo de sorgo depende en gran medida de las condiciones al momento de su elaboración, especialmente el contenido de humedad y grado de maduración del grano (Scarpitta, 2008).

Del punto de vista del valor nutritivo, el almidón de los ensilados de grano húmedo tiene mayor digestibilidad que el del grano seco, dada por la mayor accesibilidad de las enzimas a los gránulos de almidón. Esto se debe a que en estos contenidos de humedad el almidón se encuentra en un estado amorfo, lo que lo convierte en altamente digestible. Por otra parte, la matriz proteica que rodea los gránulos se encuentra en forma discontinua, por lo que no constituye una barrera para el ataque enzimático (Montiel y Depetris, 2007).

El proceso de fermentación produce además una hidrólisis de los polímeros de taninos, que hacen se reduzca el contenido de taninos condensados y por lo tanto su capacidad de fijar las proteínas (Myers *et al.*, 1986; Patricio *et al.*, 2006), por lo que mejora la digestibilidad en cerdos. Estos autores observan mejoras significativas en la digestibilidad de la proteína, pero no cambios en la digestibilidad de MS y Energía, en sorgos ensilados con alta humedad o reconstituidos y ensilados. Otros autores reportan que en los sorgos altos en taninos la digestibilidad de la PC mejora un 13%, mientras que en los de bajo tanino la respuesta fue de 8% (Myers *et al.*, 1986).

Información regional donde se estudia el valor nutritivo de ensilajes de grano húmedo de sorgo con contenidos altos y bajos en taninos para especies monogástricos presenta resultados que van en este sentido. Patricio *et al.* (2006) reportaron que dietas para cerdos en crecimiento conteniendo ensilajes de grano húmedo de sorgo altos y bajos en taninos presentaron una completa digestibilidad del almidón, y que el sorgo utilizado como grano húmedo puede sustituir la totalidad del maíz de la dieta. Esto está relacionado con una disminución en el contenido de taninos y a la disrupción de la estructura proteica de la matriz del grano producida por el proceso de ensilaje.

En el mismo sentido, Lopes *et al.* (2017) reportaron que el proceso de ensilaje de una variedad de sorgo alto en taninos provocó una disminución en el contenido de taninos condensados e hidrolizables. Además, cerdos alimentados con este tipo de sorgo presentaron similares consumos de alimento, ganancias diarias de peso y conversión alimenticia que los alimentados con dietas conteniendo maíz. Por otra parte, Barcellos *et al.* (2006) observaron que la inclusión gradual de granos de sorgo altos en taninos ensilados a expensas de maíz en dietas para pollos produjo una disminución lineal en el consumo de alimento, en la ganancia diaria e

índice de conversión, indicando que las variedades altas en taninos ensiladas pueden sustituir hasta el 33% del maíz en dietas para parrilleros. Todos los autores coinciden en el beneficio económico de la sustitución de sorgo por maíz en las dietas.

El ensilado de grano húmedo presenta como limitante para su utilización en la alimentación de cerdos su corto periodo de conservación luego de retirado de las condiciones de anaerobiosis (el sacado de la bolsa), debido al proceso de calentamiento y alteración que se inicia en un lapso de 3 días debido al desarrollo de hongos con reducción de su valor nutritivo (Creenshaw *et al.* 1986; Chalkling y Brasesco, 2003). Estos autores reportaron que puede extenderse a mejorar a 7 días el tiempo de disponibilidad del silo húmedo de sorgo mediante la inclusión de ácido sórbico en una proporción de 0.05 %.

Los resultados de digestibilidad de los sorgos conservados con alta humedad con respecto al grano seco son contradictorios. Knabe y Tanksley (1986) observaron una mejor digestibilidad de la materia orgánica, materia seca, nitrógeno y energía para los sorgos conservados con alta humedad, siendo estos valores aún mejores cuando al silo se le incorporó una mezcla de ácidos orgánicos. Estos autores evaluaron una mezcla de 80:20 partes de ácidos propiónico:acético, en una proporción de 1,45% del grano húmedo.

El ensilado grano húmedo de sorgo además de ser un proceso efectivo de conservación mejora, en forma leve pero consistente, el valor nutricional del sorgo con alto tanino, mientras que este proceso tiene menor efecto sobre el valor nutritivo del sorgo con bajo contenido de taninos (Myer *et al.*, 1986). Este efecto se refleja en el índice de conversión del alimento y repercute en la velocidad de crecimiento, ya que no hubo efecto sobre el consumo de alimento.

Por su parte, Knabe y Tanksley (1982) observaron una mejoría de 4% en la velocidad de crecimiento y la eficiencia de conversión de cerdos en recría-terminación recibiendo dietas con grano se sorgo conservado húmedo. Sin embargo, con la inclusión de 1,45% de una mezcla 80:20 de ácidos propiónico:acético en el grano se sorgo conservado húmedo, se provocó una reducción en el consumo, que afectó la ganancia diaria de peso.

En Uruguay no existe información experimental ni empírica sobre la utilización del silo de grano

húmedo de sorgo en la alimentación de cerdos en engorde. Sin embargo, a nivel de la producción lechera se dispone de amplia y positiva experiencia en la utilización de ensilados de grano húmedo como método de conservación y almacenamiento del sorgo o el maíz.

## I.5.- ENSILADO DE GRANO RECONSTITUIDO

Un proceso que se puede asociar al ensilado grano húmedo es la "reconstitución" del grano de sorgo que consiste en agregar una cantidad de agua al grano seco que permita la ocurrencia de fermentaciones (Mitaru *et al.*, 1984). El principal efecto de la reconstitución involucra a los taninos condensados que implica la liberación de oligómeros y como consecuencia la pérdida de la actividad fijadora de proteínas. En el mismo sentido, Myer *et al.* (1986) mencionan que la reconstitución del sorgo seco mediante hidratación y luego almacenado como silo grano húmedo tiene un efecto de hidrólisis sobre los taninos condensados, disminuyendo su contenido con respecto al grano seco original. Este efecto no fue observado en el caso de silo de grano húmedo realizado por cosecha directa con alta humedad.

La principal consecuencia observada por Mitaru *et al.* (1984) y Creenshaw *et al.* (1986) fue el aumento de la digestibilidad de la proteína en los sorgos con alto contenido de taninos, con poco efecto en los de bajo tanino. Creenshaw *et al.* (1984) y Myers *et al.* (1986) observaron que la digestibilidad de la materia seca y del N del sorgo reconstituido es mayor que en el grano seco y también que en el silo de grano húmedo. Sin embargo Myers *et al.* (1986) observan que el grado de mejora en la digestibilidad del ensilado es variable en función del contenido en taninos, siendo mayor la mejoría en las variedades con mayor contenido y muy poca en las variedades de bajo tanino.

Al igual que en silo de grano húmedo la limitante a la utilización del grano reconstituido es el tiempo de utilización en alimentación de los animales, debido al proceso de fermentación y calentamiento que se inicia luego de elaborado por el desarrollo de hongos. Este efecto puede ser eliminado mediante la inclusión 0.05% de ácido sórbico, que actúa como conservante (Creenshaw *et al.* 1986). Creenshaw *et al.* (1986) observaron que, aunque se produce calentamiento desde el momento de la reconstitución, el alimento se mantiene nutricionalmente viable por 5 días.



Crenshaw *et al.* (1986) alimentando cerdos destetados con ensilado grano húmedo reconstituido y con ácido sórbico como conservante observaron que el procesamiento no afecta el consumo de alimento, teniendo un efecto favorable sobre la eficiencia de conversión. Estos autores también observaron que el desarrollo de hongos luego de retirar el producto de las condiciones de anaerobiosis no tuvo efecto negativo sobre las performances en un plazo de hasta 3 días, y, además, con la utilización de ácido sórbico se impide el desarrollo de hongos durante 10 días.

## I.6.- EXPELLER DE CANOLA

La canola (CANadian Oil Low Acid) o Colza 00 es un derivado de la colza (*Brassica napus* y *Brassica campestris*) desarrollado mediante técnicas de mejoramiento genético a fin de obtener un producto con bajos niveles de ácido erúxico y glucosinalatos (Hickling, 2001; Maupertuis *et al.*, 2011). Las variedades de canola se seleccionan para contener menos de 2% de ácido erúxico y menos de 1  $\mu\text{mol/g}$  de glucosinalatos (Trindade Neto *et al.*, 2012). Estas variedades se denominan “canola” en América del Norte, Australia y los países que importan semilla de estos orígenes, mientras que en Europa se las conoce como variedades “cero-cero”, “doble cero” o “doble bajo” (Maison y Stein, 2014). Smit *et al.* (2014), señalan que la canola es el segundo cultivo oleaginoso a nivel mundial, después de la soja.

En los últimos 10 años el cultivo de esta especie ha tenido un importante desarrollo en Uruguay, asociado a su utilización como productora de aceite para la obtención de biodiesel. Prácticamente la totalidad del área sembrada se realiza bajo la forma de contrato con ALUR para destinarla a la producción de biodiesel. El área sembrada con canola en 2016 fue de 26 mil has, de las que se obtuvieron algo más de 40 mil toneladas de grano (Souto y Rava, 2017). Considerando un rendimiento estándar de 40% en el proceso de extracción del aceite mediante prensado, se estima que anualmente ALUR dispuso en esta zafra para la venta unas 25 mil toneladas de expeller. Por otra parte, existen importaciones de expeller de canola proveniente de Argentina y Paraguay, con destino a la alimentación animal.

Con respecto a la caracterización de los coproductos de la canola, se denomina harina al proveniente de la extracción del aceite mediante solventes y presión, mientras que el expeller proviene de la

extracción utilizando solamente presión (Maison y Stein, 2014). La extracción de aceite para elaboración de biodiesel se realiza mediante presión, sin calentamiento previo, dando un expeller con mayor contenido de lípidos y menor proporción de PC, aunque de mayor valor biológico debido a que no se produce desnaturalización ni reacciones de Maillard (Landerio *et al.* 2012; Maison y Stein, 2014; Messerschmidt *et al.* 2014). Por otra parte, la harina requiere un proceso de calentamiento para recuperar el solvente, aspecto que puede afectar la disponibilidad de los aminoácidos (Liu *et al.* 2014).

### Composición química

El expeller de canola es clasificado como “alimento proteico” con un contenido de proteína cruda del orden de 33 – 38% (Hickling, 2001; Berti, 2009; FEDNA, 2010a). Dependiendo del proceso de extracción del aceite, el expeller puede contener entre 4 y 10 % de lípidos residuales, ricos en ácidos oleico y linoleico (FEDNA, 2010a). Dependiendo si la extracción se realiza mediante prensado simple o doble, el contenido de aceite residual puede ser de 15 u 8% (Bourdon y Aumaitre, 1990; Woyengo *et al.* 2010; Seneviratne *et al.* 2010). Otro factor de variación es la inclusión o no de las gomas procedentes del proceso de refinado del aceite (Hickling, 2001).

Otra variación posible en el método de extracción del aceite por prensado consiste en la aplicación o no de calor para su realización. En el primer caso la semilla es sometida previo al prensado a una corriente de vapor que eleva la temperatura a 135°C aproximadamente, mientras que si no se realiza ese proceso previo, la temperatura se eleva por efecto de la fricción de la prensa, llegando a 65°C (Grageola *et al.*, 2013). El prensado sin calentamiento previo da un producto con mayor contenido de lípidos y menor proporción de PC, si bien la misma con mayor valor biológico debido a que no se produce desnaturalización ni reacciones de Maillard. Messerschmidt *et al.* (2014) señalan que como efecto del calentamiento los productos del efecto de la reacción de Maillard se incorporan en la fracción FDN, que aparece mayor al análisis, ya que incluyen parte de la fracción proteína y fundamentalmente de la lisina.

Normalmente en la extracción del aceite no se realiza decorticado de la semilla, por lo que el expeller tiene 30% de cáscaras, que se refleja en un alto contenido de FDN (Mariscal-Landin

*et al.*, 2008), sin embargo, el contenido de fibra digestible es alto (7%) debido a la presencia de pectinas (FEDNA, 2010a). Otra consecuencia del decortinado o no de la semilla tiene que ver con la presencia de compuestos fenólicos y taninos, que aparecen en las cáscaras y tienen un efecto negativo sobre la utilización digestiva de la proteína y los aminoácidos (Messerschmidt *et al.* 2014).

### Valor nutricional de la colza

La semilla de colza presenta dos tipos de factores antinutricionales que han limitado su utilización en la alimentación animal: ácido erúxico, que causa problemas cardíacos; y glucosinatos (GLS), que al ser hidrolizados por la enzima microsinasa, presente en la misma semilla, forman isotiocianatos, con efecto goitrogénico (Bell, 1984; Berti, 2009; FEDNA, 2010a) además de tener un efecto negativo sobre la palatabilidad (Albar *et al.*, 2001). La recomendación del límite de GLS en la dieta para cerdos, mencionado por Smit *et al.* (2014) es de 2,5  $\mu$ moles/g. Mariscal-Landin *et al.* (2008) mencionan que como resultado del mejoramiento genético las variedades actuales de canola poseen menos de 2% de ácido erúxico y menos de 30  $\mu$ moles/g de GLS. De todos modos, como en los cultivos comerciales de canola pueden mezclarse especies silvestres de Brassica, en el expeller se debe controlar el contenido de estos compuestos. En el calentamiento producido en la extracción del aceite se destruye aproximadamente el 50% los GLS (Newkirk *et al.*, 2003; Thacker y Newkirk, 2005), lo que asociado a los bajos niveles en las nuevas variedades hace que el riesgo de intoxicación sea muy reducido. Coincidiendo con esta apreciación, González-Vega y Stein (2012) reportan que a partir de una semilla de canola con un contenido de 21  $\mu$ moles de GLS/g obtuvieron una harina con 1,7  $\mu$ moles/g. Los GLS con una concentración por encima de 10  $\mu$ moles/g presentan un efecto depresivo sobre la digestibilidad de la MS, proteína cruda y aminoácidos en los cerdos (González-Vega y Stein, 2012).

El coeficiente de digestibilidad de la canola es afectado por el contenido de FDN, existiendo países donde se realiza un decortinado del expeller que se destina a la alimentación de monogástricos (Berti, 2009). Liu *et al.* (2014) observaron una menor digestibilidad de la materia seca y la energía de los distintos coproductos de canola con respecto a la harina de soja, atribuible al mayor contenido de FDN de estos

productos. El sobrecalentamiento puede hacer que analíticamente se observe un mayor contenido de FDN, debido a la inclusión de los productos de la reacción de Maillard (Messerschmidt *et al.*, 2014). Existen diferencias entre categorías de cerdos en la utilización digestiva del expeller, siendo mayor en adultos que en lechones. Seneviratne *et al.* (2010) obtuvieron valores de 85% de digestibilidad de la energía a nivel de todo el tracto digestivo y 73% a nivel del íleon. En cerdos la digestibilidad de la proteína es de 78%, algo menor que la de la soja (FEDNA 2010a).

El contenido de energía digestible para el cerdo está determinado en gran medida por la cantidad de lípidos residuales del expeller, asociado al proceso de extracción y a la inclusión, o no, de las gomas que se retiran en el proceso de refinado del aceite. En este sentido, Grageola *et al.* (2013) señalan que el expeller obtenido por presión sin calentamiento previo del grano presenta mayor contenido de ED, asociado a la presencia de más lípidos y mayor digestibilidad de los mismos.

La metabolización de la ED es del orden del 95% (Rojo Gómez *et al.*, 2001), mientras que la eficiencia de la utilización de la energía metabolizable es mayor que en otros alimentos, asociado al alto contenido de lípidos haciendo que se compense el efecto de la menor digestibilidad de la energía con respecto a una dieta testigo (Montoya y Leterme, 2010; Landero *et al.*, 2012). Montoya y Leterme (2009), y Grageola *et al.* (2014) observan que la relación EN/ED en el expeller es de 0,69, por encima del 0,54 considerado normal en los alimentos concentrados para cerdos. Seneviratne *et al.* (2010) y Grageola *et al.* (2013) estimaron el contenido en ED y EN del expeller de canola en 3,77 y 2,55 Mcal/kg de MS, respectivamente. Contrariamente, Rojo Gómez *et al.* (2001) y Smit *et al.* (2014) resaltan el menor rendimiento de la ED en EN, asociado a las pérdidas calóricas que se generan en el proceso de utilización de la fibra. Como respuesta cuando se incluye expeller de canola como único complemento proteico sin que se realice un balance energético con la inclusión de grasa, los cerdos aumentan el consumo de alimento (Rojo Gómez *et al.* 2001).

La extracción del aceite mediante presión, sin calentamiento previo, genera un expeller con 33–38% de proteína cruda (Hickling, 2001; Berti, 2009; FEDNA, 2010). La proteína de la canola posee

elevado contenido de aminoácidos azufrados, siendo relativamente baja en lisina, presentándose como buen complemento nutricional para la harina de soja (Rojo Gómez *et al.*, 2001; Liu *et al.* 2014).

Desde el punto de vista del aprovechamiento digestivo intestinal, González-Vega y Stein (2012) así como Eklund *et al.* (2012) señalan que la digestibilidad ileal (verdadera y aparente) de la proteína y aminoácidos de la harina de canola es menor que en la harina de soja, debido a su alto contenido de fibra, que tiene un efecto de fijación de la proteína en una matriz estructural. Maison y Stein (2014) sostienen que el proceso de extracción del aceite tiene efecto sobre la disponibilidad ileal de proteína y aminoácidos, siendo mayor en los expellers que en las harinas, que los autores atribuyen al efecto del daño producido por el calentamiento. La temperatura alcanzada en el procesamiento de la semilla determina su valor proteico: por debajo de 90°C se produce la inactivación de la microsina sin afectar la calidad de la proteína, mientras que con temperaturas superiores se afecta la biodisponibilidad de los aminoácidos (Classen *et al.* 2010). Con un calentamiento excesivo se puede provocar la desnaturalización de la proteína, afectando negativamente su digestibilidad intestinal, particularmente la biodisponibilidad de la lisina (Woyengo *et al.*, 2010; Trindade Neto *et al.*, 2012; González-Vega y Stein, 2010). Newkirk *et al.* (2003) y Grageola *et al.* (2013) observan que la digestibilidad de la lisina de expeller de canola sometida a altas temperaturas es de 78%, comparada con 89,7% en expeller obtenido sin calentamiento previo.

Sauer *et al.* (1982) y Maison y Stein (2014) no observan diferencias en la digestibilidad ileal de la lisina y aminoácidos azufrados de harina de canola o de colza, siendo ambas inferiores a la harina de soja. Por su parte Seneviratne *et al.* (2010) y Trindade Neto *et al.* (2012) obtuvieron valores entre 71 y 75% de digestibilidad ileal de la lisina en expeller de canola, destacando que la digestibilidad ileal de los aminoácidos no fue afectada por el contenido en FDN de los distintos tipos de canola estudiados. Como consecuencia, Sauer *et al.* (1982) señalan que es factible la sustitución total de la soja por canola como fuente proteica, considerando el mayor aporte en aminoácidos azufrados de la canola (un mejor valor biológico de la proteína) y siempre que se considere el aporte en lisina (la canola es inferior).

### **Respuesta de cerdos a la sustitución de la harina de soja por expeller de canola.**

La mayor parte de los estudios realizados se refiere a la inclusión de harina de canola, extraída por solvente, siendo menor la información sobre la utilización del expeller extraído por presión, debido al menor volumen producido a nivel mundial (Seneviratne *et al.*, 2010).

Los resultados obtenidos utilizando expeller de canola como suplemento proteico para dietas en cerdos en engorde varían según el origen y las características de la materia prima, así como de la etapa productiva considerada (Rojo Gómez *et al.*, 2001; Royer *et al.*, 2004; Torres-Pitarch *et al.*, 2014). Dado que no existe un producto único, los resultados experimentales obtenidos son variables entre los distintos autores, lo que Torres-Pitarch *et al.* (2014) atribuyen a la variabilidad en las composiciones de los expellers estudiados, en aspectos como concentración de fibra, grasa y factores antinutricionales y no pueden considerarse concluyentes para todas las situaciones.

Algunos autores observan una depresión del consumo, asociado a la presencia de sustancias de sabor amargo y al alto contenido de FDN (Seneviratne *et al.*, 2010; Maupertuis *et al.*, 2011; Okrouhla *et al.*, 2012; Smit *et al.*, 2014) mientras que, en otros casos, utilizando variedades con muy bajo contenido de GLS, se produce un aumento del consumo, debido a la menor concentración energética de las dietas (Rojo Gómez *et al.*, 2001).

Tradicionalmente se ha recomendado no incluir expeller de canola en la dieta de cerdos de menos de 20 kg. Sin embargo, con el surgimiento de variedades con muy bajas concentraciones de GLS es posible aumentar los límites de inclusión de expeller, que serían de 18% para posdestete y el remplazo total de la harina de soja en recría/terminación, sin que se vean afectados los resultados de crecimiento (Royer *et al.*, 2004; Royer *et al.*, 2011).

Smit *et al.* (2014) observaron que animales en postdestete prefieren dietas con harina de soja a las dietas con expeller de canola, sin embargo, cuando los cerdos no tienen la opción de elegir, consumen dietas con hasta 20% de expeller de canola, sin ver afectadas sus performances. Maupertuis *et al.* (2011) indican que a niveles altos de inclusión el expeller de canola puede tener efectos negativos

sobre el consumo, particularmente cuando se suministra en sopa. Este efecto lo explican por la difusión de sustancias de sabor amargo en el medio líquido.

En la recría niveles superiores a 12-15% reducen la ganancia de peso (Maupertuis *et al.*, 2011; Torres-Pitarch *et al.*, 2014), mientras que en la terminación es posible incluir mayores niveles sin afectar las performances, desde 40% de sustitución de la soja (Zanotto *et al.*, 2009; Montoya y Leterme, 2009; Seneviratne *et al.*, 2010; Landero *et al.*, 2012; Mejicanos *et al.*, 2016) hasta utilizarlo como único suplemento proteico, obteniendo mejores resultados que con harina de girasol o harina de carne y hueso (Siljander-Rasi *et al.*, 1996; Hickling 2001; Rojo Gómez *et al.*, 2001; Shelton *et al.*, 2001; Thacker y Newkirk 2005). Para obtener estos resultados se requiere realizar un adecuado balance de la dieta, incluyendo lisina sintética y calculando el aporte en EN, en lugar de ED o EM, debido al menor rendimiento energético de la canola asociado al contenido de fibra y al grado de extracción de los lípidos en el proceso industrial, que determina el contenido de grasa residual en el producto (Rojo Gómez *et al.*, 2001; Okrouhla *et al.*, 2012; Smit *et al.*, 2014; Mejicanos *et al.*, 2016).

El mayor consumo observado para compensar el aporte energético sin afectar la tasa de ganancia de peso, se traduce en una reducción de la eficiencia de conversión de la dieta (Rojo Gómez *et al.*, 2001). Estos autores observan que esta compensación por aumento del consumo solo puede darse con animales de más de 70 kg de peso vivo y por debajo de este peso, se observa una reducción de la ganancia diaria (Rojo Gómez *et al.*, 2001). Similares resultados reportan Torres-Pitarch *et al.*, (2014), quienes con 12% de canola en la recría observan una reducción en la ganancia de peso, que se recupera en el periodo de terminación, aun con niveles de 20% de expeller de canola.

Por su parte, Rojo Gómez *et al.* (2001) no observaron diferencias entre distintas formas de presentación del expeller de canola, como molido, en peleteado o con el agregado de saborizantes. Sauer *et al.* (1982) señalan que la sustitución total de la soja por canola como fuente proteica para cerdos es factible, siempre que se considere el mayor aporte en aminoácidos azufrados y menor en lisina de la canola. Como síntesis de la posibilidad de sustituir la harina de soja por harina de canola, Rojo Gómez *et al.* (2001), así

como Okrouhla *et al.* (2012) sostienen que esta es posible en la medida que se ajuste el aporte en aminoácidos esenciales y se mantenga la concentración de EM de la dieta.

Por su parte, Albar *et al.* (2001), Racz y Bell (1999) y Kiarie y Nyachoti (2007), concluyen que la asociación de harina de canola con arveja forrajera permite la sustitución total de la harina de soja en la dieta de cerdos en crecimiento-terminación, sin que se afecten los resultados productivos.

### Efectos sobre la composición corporal

Numerosos trabajos sostienen que es posible sustituir la harina de soja por pasta de canola en la alimentación de cerdos en terminación sin que se afecten las características de carcasa, en la medida que se mantengan los mismos niveles de aminoácidos digestibles y la concentración energética de la dieta (Rojo Gómez *et al.*, 2001; Maupertuis *et al.*, 2011; Okrouhla *et al.*, 2012; Little 2014; Smit *et al.*, 2014; Mejicanos *et al.* 2016; Peñuela *et al.*, 2016).

Caine *et al.* (2007), Seneviratne *et al.* (2010), Maupertuis *et al.* (2011) y Smit *et al.* (2014) no observaron diferencias en el contenido de grasa ni en la composición de la misma en carcasas de cerdos recibiendo dietas con 18-24 % de expeller de canola en sustitución de la harina de soja. Tampoco se reportan diferencias en aspectos de calidad de carne: color, grasa intramuscular y resistencia al corte, con la inclusión de hasta 15% de expeller de canola (Caine *et al.*, 2007; Okrouhla *et al.*, 2012).

Dransfield *et al.* (1985) observaron que la carne proveniente de dietas utilizando canola como fuente proteica en sustitución de la harina de soja, tienen mayor contenido del pigmento hemo, siendo más roja y oscura; no existiendo diferencias en otras características de calidad de la carne. Por su parte Shelton *et al.* (2001) observan que dietas con harina de canola como única fuente proteica complementaria al maíz dieron carcasas con mayor espesor de grasa dorsal que el testigo maíz:soja.

El aceite de canola es rico en AGMI, n-6 y n-3, destacando su contenido en ácido linolénico (NRC, 1998). Las dietas con expeller o harina de canola incrementan el contenido de AGMI y de C18:3, disminuyendo la proporción de C18:6, en la grasa de cerdos, por lo que se reduce el índice n-6/n-3 y

el punto de fusión de las grasas. En consecuencia, se disminuye su valor industrial, aunque se mejora la calidad del punto de vista nutricional (Bertol *et al.*, 2013).

### 1.7.-ARVEJA FORRAJERA

La arveja proteica o forrajera es una selección de arveja común (*Pisum sativum hortense*) que ha sido utilizada tanto para alimentación humana como animal (Bariffi, 2002; Jezierny *et al.*, 2010), con un valor nutritivo intermedio entre los cereales y la harina de soja (Castell *et al.*, 1996; Hickling, 2003). En Canadá y en Europa se utiliza en raciones para cerdos como alternativa a la harina de soja (Bourdon y Perez, 1982; Castell *et al.*, 1996; Crevieu-Gabriel, 1999; Hickling, 2003). En Uruguay la introducción de la arveja forrajera, de origen canadiense, data del año 2007, realizándose algunas experiencias de cultivo y evaluaciones nutricionales de su inclusión en la alimentación animal (Acquistapace, com.pers.).

#### Composición química

La semilla de arveja no contiene albumen, y el almidón se almacena en las células del embrión (Grosjean *et al.* 1998; Hickling, 2003). Posee bajo contenido de polisacáridos no amiláceos (10 – 16 % de FDN y 8 % de FDA), con menos de 1 % de lignina. Contiene aproximadamente 5 % de  $\alpha$ -galactósidos (sucrosa, estaquiosa, verbascosa y rafinosa) pero, a diferencia de los lupinos y frijoles, su potencial de generar gases en el tubo digestivo posterior es bajo (Castell *et al.*, 1996; Hickling, 2003).

El contenido de proteína es variable (de 18 a 30 % de PC) dependiendo tanto de diferencias varietales (Grosjean *et al.*, 1998), como de factores ambientales (Hickling, 2003). Las proteínas aparecen almacenadas en órganos especializados, los cuerpos proteicos (Perrot, 1995) y, como en todas las leguminosas, están constituidas por tres tipos: globulinas (50 - 65 %), albúminas (20 – 25 %) y proteínas insolubles (15 – 20 %) (Perrot, 1995; Crevieu-Gabriel, 1999). Las globulinas son relativamente pobres en aminoácidos azufrados (Mariscal-Landín *et al.*, 2002), mientras que las albúminas son más ricas en aminoácidos azufrados y lisina (Perrot, 1995). La proteína de las arvejas es más rica en lisina que la harina de soja (Perrot, 1995; Canibe y Eggum, 1997; Crevieu-Gabriel, 1999), pero posee niveles bajos de metionina, cistina y triptófano (Canibe y

Eggum, 1997). El contenido en aceites es bajo, del orden de 1,4%, contenido ácidos grasos fundamentalmente insaturados (Hickling, 2003; FEDNA, 2010a)

#### Valor nutricional

La arveja a diferencia de otras leguminosas, contiene reducidos niveles de inhibidores de la tripsina, por debajo de 4 UIT/mg, que no afectan la utilización ni el consumo de los animales (Castell *et al.*, 1996). Las variedades verdes y amarillas, de flores blancas, presentan niveles insignificantes o no detectables de taninos (Canibe y Eggum, 1997; Jezierny *et al.*, 2010), que no tienen efectos sobre la palatabilidad ni sobre la digestibilidad (Castell *et al.*, 1996; Hickling, 2003).

Los valores de digestibilidad de la materia orgánica, proteína y energía de la arveja es del orden de 89, 86 y 87,4 %, respectivamente (Lund y Håkanson, 1986; Grosjean *et al.*, 1998; Bauza *et al.*, 2013). Montoya y Leterme (2011) observaron que la molienda del grano favorece su digestibilidad, aunque una molienda muy fina puede acelerar el tránsito digestivo reduciendo su hidrólisis y absorción (Crevieu-Gabriel, 1999; Le Gall *et al.*, 2003). Bauza *et al.*, (2013) determinaron que dietas con 40 % de arveja tuvieron similares digestibilidades de materia seca, proteína y energía, que una dieta en base a maíz/harina de soja.

Canibe y Eggum (1997) determinaron que en cerdos una parte importante de la digestión de los carbohidratos de la arveja ocurre en el intestino grueso, como resultado de la degradación microbiana, generando AGV que son absorbidos, con valores de digestibilidad próximos al 100% (Castell *et al.* 1996; Stein y Bohlke, 2007). Como resultado, la utilización digestiva total de los polisacáridos no amiláceos, poco lignificados, es del orden del 70 - 80 % (FEDNA, 2010; Stein, 2010), alcanzando 97% en lechones destetados (Castell *et al.*, (1996).

La concentración de energía digestible para cerdos de las arvejas es del orden de 3,2 a 3,8 Mcal/kg (Stein, 2008; Montoya y Leterme, 2011; Bauza *et al.*, 2013) similar al maíz o trigo (Bourdon y Perez, 1982). Sin embargo, el rendimiento en Energía Metabolizable es inferior al del maíz debido a que parte se obtiene por fermentación en el intestino grueso (Stein, 2008).

La digestibilidad de la proteína de la arveja presenta variaciones entre variedades y entre cosechas de la misma variedad siendo similar o ligeramente inferior a la de la harina de soja, y siendo ambas superiores a la harina de colza (Bourdon y Perez, 1982; Crevieu-Gabriel, 1999; Eklund *et al.*, 2014). La digestibilidad ileal estandarizada de la proteína de la arveja es del orden del 80 %, existiendo un incremento relativo de la proteína de origen endógeno, que hace que la digestibilidad aparente sea considerada menor que su valor real (Perrot, 1995; Mariscal Landin *et al.*, 2002; Le Gall *et al.*, 2007; Eklund *et al.*, 2014). Es de hacer notar que la digestibilidad ileal de la lisina, aminoácidos azufrados y triptófano es inferior al de la proteína (Mariscal-Landin *et al.*, 2002), debido a que estos aminoácidos están en su mayor parte en la albúmina, proteína cuya digestibilidad es menor (Stein, 2008). El valor biológico de la proteína de dietas conteniendo 20 o 40 % de arvejas no tuvo diferencias con la de una dieta testigo en base a maíz y harina de soja (Bauza *et al.*, 2013).

Montoya y Leterme (2011) observaron que la molienda del grano tiene un efecto favorable sobre la digestibilidad, asociado a la mayor tasa de hidrólisis del almidón en el intestino delgado, aunque una molienda muy fina puede acelerar el tránsito digestivo reduciendo las posibilidades de hidrólisis y absorción (Crevieu-Gabriel, 1999; Le Gall *et al.*, 2003). El tratamiento mediante calor, como peleteado o tostado, no tiene efecto para cerdos de recría-terminación (Canibe y Eggum, 1997; Grosjean *et al.*, 1997; Crevieu-Gabriel, 1999; Stein y Bohlke, 2007). Según Stein y Bohlke (2007) el tratamiento mediante extrusión o expansión, tiene un efecto favorable sobre la digestibilidad de las proteínas y del almidón, mejorando en 10 % la digestibilidad ileal de los aminoácidos esenciales y en 15 % la de los no esenciales. Este efecto varía en los lechones destetados según el porcentaje de inclusión de arvejas en la dieta, no observándose respuesta con 20 % (Hickling, 2003), mientras que es efectivo con 40 % de inclusión (Castell *et al.*, 1996; Grosjean *et al.*, 1997; Jezierny *et al.*, 2010). Los mejores resultados se obtienen con extrusión de alta intensidad: 300 rpm y 11kg/h existiendo una respuesta cuadrática de la digestibilidad ileal de las distintas fracciones, excepto FDN y FDA, a la temperatura, estableciéndose el óptimo en 110 – 115°C (Stein y Bohlke, 2007; Htoo *et al.*, 2008).

### **Antecedentes de ensayos de performance con cerdos**

En lechones destetados, no se observan efectos negativos sobre el desempeño productivo dentro de un rango máximo de inclusión de arvejas crudas entre 15 y 20 % (Lund y Håkansson, 1986; Quémeré, 1990; Castell *et al.*, 1996; Racz y Bell, 1999). Con arvejas extrusadas es posible incluir hasta 30 – 36 % de la dieta (Grosjean *et al.*, 1997; Racz y Bell, 1999; Stein *et al.*, 2006), particularmente cuando se realiza una suplementación con metionina y triptófano.

En cerdos en engorde, Hickling (2003), Mathé *et al.* (2003) y Bauza *et al.* (2013) indican que con niveles de hasta 40 % de arveja, los resultados productivos no difieren de las dietas control. Un aspecto particular mencionado por Royer *et al.* (2004) de la presencia de altos niveles de arveja en la dieta, consiste en un cambio en el comportamiento ingestivo: los cerdos consumen más lentamente, pero no reducen su ingestión total. Por su parte Castell *et al.* (1996) así como Bauza *et al.* (2013) concluyen que, en la práctica, el nivel de inclusión estará definido por el balance en nutrientes de la dieta y su costo final y no por un límite de tolerancia de los animales. Quémeré (1990) y Royer *et al.* (2004) definen como limitantes de las performances con arvejas de primavera, en primer lugar el triptófano, que afecta el consumo, y luego (según el cereal utilizado) la treonina o los aminoácidos azufrados. Castell *et al.* (1996) y Racz y Bell (1999) concluyen que es posible incluir a las arvejas como único suplemento proteico si se agregan aminoácidos azufrados y triptófano sintéticos. Otra opción manejada por Racz y Bell (1999) y Kiarie y Nyachoti (2007) es sustituir la totalidad de la harina de soja de una ración para cerdos por una mezcla de arveja y harina de canola, considerando la complementariedad en la composición en aminoácidos de ambas proteínas.

### **Efectos sobre la composición corporal**

No se han reportado grandes diferencias en las características de las canales y de la carne de cerdos recibiendo dietas incluyendo arveja forrajera (Lund y Håkansson, 1986; Hickling, 2003; Stein *et al.*, 2006). Landlom y Poland (1989, citados por Hickling, 2003) y Castell *et al.* (1996) observan que la inclusión de arveja en sustitución parcial de maíz, cebada o avena pelada, no afecta el espesor de grasa dorsal, pero eleva su grado

de saturación y aumenta la grasa intramuscular. Durselen y Batallanez (2003) observaron que cerdos consumiendo dietas con 20 % de arveja proteica amarilla dieron carcasas más magras que los que consumieron la dieta testigo. Lund y Hakänsson (1986) y Quemeré (1990) reportan que la deposición de grasa dorsal de cerdos recibiendo dietas con alto contenido de arvejas

depende del balance de aminoácidos esenciales, viéndose incrementada en los casos que no se llega al aporte adecuado. Bauza *et al.* (2013) no observaron diferencias en la composición corporal de cerdos recibiendo dietas isoproteicas e isoenergéticas conteniendo 0, 20 o 40% de arvejas en sustitución parcial de maíz y harina de soja.

## II.-ESTUDIO DE CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DEL ALMIDÓN Y DIGESTIBILIDAD IN VITRO DE GRANO DE SORGO.

**Brambillasca, Sebastián; Fernández-García, Marina; Cajarville, Cecilia; Repetto, José Luis**

### INTRODUCCIÓN

Los granos de cereales son la principal fuente de almidones en los alimentos para animales, y los almidones constituyen la principal fuente de energía en la dieta de las especies monogástricas (Stevnebø *et al.*, 2006). En Uruguay, uno de los principales cereales utilizados en alimentación animal es el grano de sorgo. El cultivo de este cereal ha aumentado de forma sostenida en los últimos, pasando de una producción de 84.700 toneladas en la zafra 2004/2005 a 238.000 toneladas en la zafra 2014/2015 (DIEA, 2016), destinándose exclusivamente a la alimentación animal. Además, es un grano que presenta un precio más favorable con respecto a otros cereales. En los últimos 10 años, el promedio del precio de mercado de la tonelada de grano de sorgo ha correspondido al 77% del precio del maíz (elaborado a partir de informes de Cámara Mercantil de Productos del País, 2017). Al mismo tiempo, el sorgo es un grano resistente a problemas climáticos y al ataque de insectos y hongos, lo que lo convierte en un grano interesante para ser utilizado en sistemas de producción animal, incluyendo monogástricos.

Desde un punto de vista nutricional, el valor nutritivo del grano está muy relacionado con el genotipo del grano y el tipo de procesamiento al que sea sometido. Las principales diferencias entre genotipos están dadas por las características del endosperma y la presencia de taninos, compuestos que disminuyen el aprovechamiento digestivo del grano al formar complejos indigestibles con proteínas y almidones (Reed, 1995). Comparando datos de tablas regionales de alimentos para cerdos puede observarse que el valor nutritivo del grano de sorgo corresponde a un 87 a 97% del valor del maíz para genotipos altos y bajos en taninos respectivamente (Rostagno *et al.*, 2005). Con respecto al tipo de procesamiento, se han reportado aumentos en el aprovechamiento digestivo de granos de sorgo a través del molido (Owsley *et al.*, 1981; Healy *et al.*, 1994), extrusión (Hancock *et al.*, 1992), reconstituido (Mitaru *et al.*, 1981, Aguerre *et al.*, 2015) o ensilaje del grano (Lopes *et al.*, 2017), asociándose en alguno de estos

tratamientos a una disminución en el contenido de taninos. Es de destacar que procesamientos como el ensilaje o la reconstitución de los granos son realizables en las propias granjas porcinas.

Si bien, la composición química del sorgo y del maíz es similar, el sorgo se asocia a menores niveles de productividad animal cuando se utiliza en dietas de monogástricos. Existen tres factores inherentes al sorgo que son responsables de una menor utilización del almidón y de la energía en los monogástricos que son (i) una prolamina, la kafirina, que es la proteína más abundante en el sorgo, (ii) compuestos fenólicos, incluyendo taninos, y (iii) la presencia de fitatos (Liu *et al.*, 2015). La kafirina es de baja solubilidad y tiene un pobre perfil de aminoácidos. En el endospermo, los gránulos de almidón son rodeados por numerosas moléculas de kafirina, y las interacciones entre proteínas y almidones dificultan la gelatinización y la hidrólisis enzimática del almidón (Rooney y Pflugfelder, 1986; Liu *et al.*, 2013).

El principal efecto de los taninos en el valor nutricional del grano se debe a la habilidad de formar complejos con proteínas del alimento, enzimas digestivas o endógenas (Bhat *et al.*, 2013), lo que provoca una menor digestibilidad del almidón y proteínas, incidiendo negativamente en características productivas de los animales (Makkar, 1988). A nivel nacional D'Alessandro *et al.* (1997) comparando genotipos de sorgo altos y bajos en taninos en dietas para cerdos reportaron valores de digestibilidad de la proteína particularmente bajos en los altos en taninos, y una menor utilización del N en la dieta conteniendo sorgo alto en taninos. Además, se ha reportado que el extrusado y el ensilado de sorgo son procesamientos que llevan a que el aporte de nutrientes sea similar al del grano de maíz (Bauzá *et al.*, 2016). Si tomamos en cuenta que las kafirinas y los taninos presentes en el sorgo son factores que pueden disminuir su digestión, se vuelve prácticamente imprescindible realizar algún tipo de procesamiento del grano para aumentar su aprovechamiento digestivo.

Procesamientos como el ensilaje del grano puede generar la disminución del efecto nutricional negativo de los taninos (Mitaru *et al.*, 1984; Lopes *et al.* 2017), alterando además el endospermo del grano y aumentando la digestibilidad del almidón (Hill *et al.*, 1991). Mitaru *et al.* (1984) observaron que la reconstitución del grano (humedecido del grano seco y almacenado en anaerobiosis para que se produzca fermentación) redujo el



contenido de taninos en sorgos altos en taninos, y mejoró la digestibilidad de la proteína en cerdos en crecimiento. En este sentido, existen datos nacionales que indican que ensilaje de grano húmedo de sorgo se relaciona con una mayor digestibilidad total (ruminal+intestinal) en rumiantes (Curbelo *et al.*, 2011; Aguerre *et al.*, 2015) y una mayor degradabilidad ruminal (Repetto *et al.*, 2005). A nivel regional, Lopes *et al.* (2017) reportaron que el proceso de ensilaje de una variedad de sorgo alto en taninos provocó una disminución en el contenido de taninos condensados e hidrolizables. Además, cerdos alimentados con este tipo de sorgo presentaron similares consumos de alimento, ganancias diarias de peso y conversión alimenticia que los alimentados con dietas conteniendo maíz.

### Evaluación de la digestión *in vitro* del almidón

Desde un punto de vista nutricional los almidones presentes en los alimentos pueden ser clasificados en tres fracciones, basadas en la velocidad y magnitud de la digestión enzimática *in vitro*: 1) almidón rápidamente digestible (ARD), que genera un aumento rápido en la glicemia, 2) almidón lentamente digestible (ALD), que produce un aumento prolongado de la glucosa en la sangre, y 3) almidón resistente (AR), que resiste la digestión por enzimas de mamíferos y por tanto no genera aumentos en la glicemia (Englyst *et al.*, 1992; van Kempen *et al.*, 2010). Giuberti *et al.*, (2012a) caracterizaron los almidones de diferentes tipos de cereales y reportaron valores de ARD, ALD y AR de 119, 342 y 275 g/kg de MS respectivamente para diferentes muestras de granos de sorgo, siendo este cereal el que presentó las menores curvas de digestión de almidón.

Las fracciones de almidón rápidamente digestible y lentamente digestible evaluadas *in vitro* se relacionan en buena medida con el índice glicémico (IG), que es un indicador que clasifica a los alimentos que contienen carbohidratos de acuerdo a su respuesta de glicemia in vivo (van Kempen *et al.*, 2010; Giuberti *et al.*, 2012b). El IG se ha utilizado inicialmente para caracterizar los alimentos almidonosos en nutrición humana en base a la respuesta incremental de glucosa en sangre luego de una comida conteniendo iguales cantidades de un carbohidrato problema y un carbohidrato de referencia (Jenkins *et al.*, 1981). Algunos autores han introducido este concepto en nutrición de cerdos, clasificando a los cereales

en IG altos y bajos, e indicando que dietas con IG altos se relacionan con una mayor y más duradera respuesta a insulina, lo que genera un aumento en el consumo de alimento (Menoyo *et al.*, 2011).

Una aproximación comúnmente utilizada para estimar el IG obtenido in vivo es a través de un índice de hidrólisis (IH) calculado a partir de curvas de digestión enzimáticas del almidón obtenidas *in vitro* (Goñi *et al.*, 1997). Dada la complejidad, el costo de determinaciones con animales y la necesidad de contar con modelos *in vitro* que reemplacen la experimentación animal, la predicción *in vitro* del IG puede ser utilizada como una alternativa para estudiar las cinéticas de digestión de los almidones. Esta metodología ha sido adoptada para su uso en nutrición animal (Solà-Oriol *et al.*, 2010; Giuberti *et al.*, 2012b), y se utiliza para expresar la cinética de digestión del almidón mediante la clasificación de materiales ricos en almidón respecto a su potencial de aumentar la hidrólisis enzimática, expresado como un índice de hidrólisis.

A través de esta metodología es posible estudiar las cinéticas de digestión del almidón de granos de cereales sometidos a diferentes tratamientos postcosecha. Esto es útil para realizar inferencias sobre el efecto de estos tratamientos sobre diversos factores (por ej. taninos o prolaminas) que inciden en la digestibilidad de los nutrientes. Además, se contaría con información relevante que permitiría caracterizar alimentos almidonosos para cerdos mediante la predicción de valores de IG obtenidos *in vitro*. A su vez, esto nos permitiría diseñar dietas que lleven a una mayor productividad animal y una mayor eficiencia en el uso de nutrientes. De esta forma, utilizando metodologías de evaluación del almidón, nos planteamos la hipótesis de que tratamientos postcosecha realizados sobre granos de sorgo pueden resultar en aumentos en la digestión *in vitro* de los almidones para ser utilizados en dietas de cerdos.

### Evaluación de la fermentación *in vitro* en intestino grueso

En los animales monogástricos como los cerdos, la mayor parte del almidón de la dieta es digerida en el intestino delgado (Wiseman *et al.*, 2006), pero diversas fracciones del almidón, así como de otros nutrientes, pueden escapar de la digestión enzimática, y pueden ser fermentados en el intestino grueso del animal mediante la acción de la microbiota colónica y fecal (Bach Knudsen *et al.*, 2012). A través de métodos de cultivo anaeróbicos

es posible simular la actividad fermentativa del intestino grueso, y caracterizar el proceso fermentativo del intestino grueso de los sustratos que llegan a esa parte del tubo digestivo.

Este abordaje ha sido utilizado para evaluar la fermentación de proteínas (Cone *et al.*, 2005), carbohidratos fibrosos (Williams *et al.*, 2005; Brambillasca *et al.*, 2015) y cereales (Bauer *et al.*, 2001). La información obtenida a partir de esta metodología puede ser útil y complementaria a la simulación de la digestión *in vitro* del almidón en el intestino delgado.

El objetivo de este trabajo fue el de caracterizar la digestión y la fermentabilidad *in vitro* de diferentes genotipos de granos de sorgo, procesados o no luego de la cosecha, para ser utilizados en nutrición de cerdos. Para ello, se realizaron 3 experimentos. En los dos primeros se utilizaron granos de sorgo cosechados secos y sometidos a diferentes tratamientos postcosecha para evaluar el efecto de los tratamientos sobre parámetros de digestión *in vitro* del almidón y digestibilidad y fermentación *in vitro* de la MS. En el tercer experimento se utilizaron granos de sorgo con diferentes contenidos en taninos, ensilados en microsilos en diferentes tiempos y con diferentes contenidos de humedad para evaluar el impacto de estos factores sobre la digestibilidad y fermentación *in vitro* de la MS.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Experimento 1

Se trabajó con una colección de granos de sorgo, provenientes de 5 parcelas, cosechados como granos secos y sometidos a diferentes tratamientos postcosecha (Aguerre *et al.*, 2015): grano seco molido (S), grano remojado por 24 h (R), ensilados por 21 días como grano entero (REE), o ensilados por 21 días como grano molido (REM). Para los tratamientos S y REM, los granos fueron molidos en un molino a un tamaño

de 3 mm. Además, para el tratamiento REM, los granos molidos fueron reconstituidos con el agregado de agua hasta un 30% de humedad y almacenados en anaerobiosis por 21 días. Para el tratamiento R, los granos fueron remojados con cantidades iguales de grano y agua durante 24 h, luego el agua fue drenada y los granos fueron congelados hasta su análisis. Para el tratamiento REE, los granos fueron reconstituidos hasta 30% de humedad y luego se mantuvieron en anaerobiosis por 21 días. Todos los tratamientos fueron realizados usando baldes de plástico de 5 kg de capacidad y fueron almacenados en una habitación oscura a 20°C.

### Análisis químicos

Para los análisis químicos (Cuadro 1), las muestras de sorgo fueron molidas a tamaño de 1 mm con un molino, y analizadas para MS mediante secado a 105°C hasta peso constante (Método 7.003; AOAC, 1997). Las cenizas se determinaron por combustión a 600°C durante 2h (Método 7.009; AOAC, 1997), mientras que la MO se determinó como la diferencia de masa entre la MS y el contenido de cenizas. El nitrógeno total (N total) se analizó mediante el método de Kjeldahl (Método 984.13, AOAC, 1997). El análisis de la fibra detergente neutra (aNDF) se basó en los procedimientos descritos por Mertens (2002), utilizando alfa amilasa termoestable y se expresa incluyendo las cenizas residuales. Las concentraciones de fibra detergente ácida (ADF) se analizaron de acuerdo con el Método 973.18 de la AOAC (AOAC, 1997). Los taninos condensados se determinaron con el método butanol-HCl descrito por Makkar (2000). La fracción de extracto de éter (EE) se determinó extrayendo la grasa con éter de petróleo durante 4 h usando un extractor de grasa Goldfish (Labconco Corp., Kansas City, MO, EE. UU.). Los contenidos de almidón y de amilosa se determinaron por hidrólisis enzimática usando kits comerciales (K-TSTA 07/11 y K-MYL respectivamente, Megazyme International Ireland, Bray, Co. Wicklow, Irlanda).

**Cuadro II.1.** Composición química (g/kg de MS) y contenido de amilosa y amilopectina (g/100 g de almidón total) de granos de sorgo secos (Seco), remojados por 24 h (Remoj), o reconstituidos y ensilados durante 21 d como grano entero (REE) o molido (REM).

	Seco	Remoj	REE	REM	EEM <sup>e</sup>	P <sup>f</sup>
MS*	896 <sup>a</sup>	633 <sup>c</sup>	694 <sup>b</sup>	689 <sup>b</sup>	4,1	<0,01
MO*	986 <sup>a</sup>	986 <sup>a</sup>	985 <sup>b</sup>	984 <sup>c</sup>	0,7	<0,01
N*	13,4 <sup>b</sup>	13,0 <sup>bc</sup>	13,1 <sup>c</sup>	14,0 <sup>a</sup>	0,29	<0,01
FDN*	119	105	133	102	13,1	0,09
FDA*	42,5	40,5	42,6	43,4	7,08	0,73
Taninos*	6,80 <sup>a</sup>	4,16 <sup>b</sup>	1,76 <sup>c</sup>	0,94 <sup>c</sup>	1,971	<0,01
EE	41,7	35,2	35,2	37,6	2,0	0,089
Almidón	705 <sup>a</sup>	676 <sup>b</sup>	631 <sup>c</sup>	646 <sup>bc</sup>	9,7	<0,0001
Amilosa	28,3 <sup>b</sup>	31,2 <sup>ab</sup>	32,4 <sup>ab</sup>	34,9 <sup>a</sup>	2,12	0,024
Amilopectina	71,7 <sup>a</sup>	68,8 <sup>ab</sup>	67,6 <sup>ab</sup>	65,1 <sup>b</sup>	2,12	0,024

d MS, materia seca; MO, materia orgánica; N, Nitrógeno; FDN, fibra detergente neutra; FDA, fibra detergente ácida; EE, extracto etéreo. e EEM, error estándar de la media; f P, nivel de significancia del tratamiento. Letras distintas en la misma fila difieren (P<0.05). \*Datos según Aguerre *et al.* (2015).

### Digestión in vitro del almidón

Para caracterizar la digestión potencial *in vitro* del almidón se utilizó el procedimiento descrito por Giuberti *et al.* (2012), que consiste en una hidrólisis enzimática en dos etapas que simulan la digestión gástrica y pancreática. Las muestras de sorgo fueron molidas a un tamaño de 1 mm, e incubadas con una solución de HCl-pepsina durante 30 min a 37°C con agitación horizontal. Posteriormente el pH se ajusta a 5,2 mediante la adición de buffer acetato de sodio, e inmediatamente se agrega una mezcla enzimática conteniendo pancreatina, aminoglucosidasa e invertasa. Las incubaciones se realizaron por 240 min. Para caracterizar las tasas de digestión del almidón se tomaron alícuotas de cada tubo a 0, 20, 40, 60, 90, 120, 180 y 240 min luego del inicio de la incubación y se determinó la glucosa en las alícuotas por colorimetría utilizando un kit de glucosa oxidasa. Con los datos obtenidos se calcularon la proporción de almidón digerido en cada intervalo de tiempo (Stevnebø *et al.*, 2006), la cinética de digestión del almidón (Mahasukhonthachat *et al.*, 2010), el área bajo la curva de digestión y el índice de hidrólisis del almidón (Giuberti *et al.*, 2012a). Además, los almidones de las muestras de sorgo fueron caracterizadas como almidón rápidamente digestible, lentamente digestible y almidón resistente utilizando la metodología propuesta por Englyst *et al.* (1992).

Con los datos obtenidos de la incubación *in vitro* en diferentes horarios, la proporción del almidón

digerido en cada intervalo de tiempo (DCt) se calculó como (Stevnebø *et al.*, 2006):

$$DCt = (\text{cantidad de glucosa presente en el tiempo } t \times 0.9) / \text{almidón total}$$

Para describir las cinéticas de digestión del almidón, un modelo exponencial de primer orden fue aplicado para los datos obtenidos a partir de la incubación *in vitro* (Mahasukhonthachat *et al.*, 2010):

$$Ct = C0 + C\infty \cdot (1 - e^{-kt}),$$

donde Ct es el almidón digerido al tiempo t (g/100 g de almidón), C0 es el almidón digerido al min 0 (g/100 g de almidón), C $\infty$  es la digestibilidad potencial del almidón (g/100 g de almidón), k es la tasa de digestión (%/min) y t es el tiempo de incubación (min). Los parámetros C0, C $\infty$  y k fueron obtenidos mediante el método Marquandt usando el PROC NLIN de SAS (2003). Además, se calcularon áreas bajo la curva de digestión hasta los 180 min de incubación para obtener el índice de hidrólisis (IH) como la relación entre el área bajo la curva de cada muestra y el área correspondiente a una muestra de pan blanco (referencia). A partir del IH obtenido *in vitro*, un valor de pGI fue calculado para cada muestra usando la ecuación reportada por Giuberti *et al.* (2011):

$$pGI = 1,013 \times IH.$$

## Experimento 2

Utilizando la misma colección de alimentos del Experimento 1, se realizó una prueba para evaluar el efecto de los diferentes tratamientos realizados a los granos de sorgo, sobre la digestibilidad *in vitro* de la MS. Además, el residuo de la digestión *in vitro* de la MS se utilizó para estudiar las cinéticas de fermentación mediante un procedimiento de producción de gas *in vitro*.

### Pre digestión *in vitro*

Para simular la digestión gástrica e intestinal se utilizaron los procedimientos descritos por Cone et al (2005), las muestras de sorgo fueron molidas a 1mm e incubadas en una solución de HCl 0,1 M conteniendo pepsina durante 1,5 h a 37°C. Luego, el pH se neutralizó con una solución de NaHCO<sub>3</sub> 0,5M, seguido por una incubación con una solución de buffer fosfato 0,165 M conteniendo pancreatina y  $\alpha$  amilasa. El residuo se filtró con bolsas de tamaño de poro de 42  $\mu$ m. Las bolsas con los residuos se secaron a 60°C, y se determinó la digestibilidad *in vitro* de la MS como diferencia de peso en la bolsa.

### Producción de gas *in vitro*

Posteriormente, y para simular la fermentación en el colon, los residuos de la digestión previa fueron colocados en botellas de 100 mL y a cada frasco se agregaron una solución de vitaminas y buffer fosfato, una solución reductora y una solución basal. La composición de las soluciones fue la descrita por Williams *et al.* (2005). Luego del agregado de las soluciones se hizo circular una corriente de CO<sub>2</sub> dentro de los frascos, se cerraron con tapones de goma butilo y se almacenaron a 4°C por 8 h antes de la inoculación para hidratar el sustrato. Posteriormente los frascos fueron atemperados en baño maría a 39°C durante 2 h antes de ser inoculados. Para la inoculación se utilizó la materia fecal fresca de 3 cerdas alimentadas con una dieta que contenía sorgo. La materia fecal fue pesada y diluida con una solución salina estéril en una relación peso:volumen de 1:5. El material diluido fue homogeneizado en un mezclador y filtrado a través de 4 capas de paño de quesería. El fluido obtenido fue continuamente gaseado con CO<sub>2</sub> y agitado, y el inóculo fue dispensado dentro de cada frasco. Desde la toma de muestra fecal hasta la inoculación en el laboratorio transcurrió menos de una hora. En total se incubaron 44 frascos (4 tratamientos  $\times$  5

variedades más 4 blancos) y el procedimiento se realizó en 2 corridas diferentes. La producción de gas se midió en los frascos a 2, 4, 6, 8, 10, 12, 18, 24, 48 y 70 h después de la inoculación usando un transductor fijado a un medidor de presión (840065, Sper Cientific, Scottsdale, AZ, EE. UU.) y registrado en unidades psi (libras por pulgada cuadrada). El volumen de gas fue calculado a partir de la presión medida utilizando una ecuación obtenida en un experimento previo como:

$$\text{Volumen de gas (mL)} = 3,9484 \times \text{Psi} + 0,2084 \times \text{Psi}^2 \quad (R^2 = 0,978).$$

Los volúmenes de gas obtenidos durante la fermentación fueron referidos a la MO incubada. El perfil de gas fue ajustado al modelo descrito por Groot *et al.* (1996):

$$G = A/[1 + (C/t)^B]$$

donde G: gas total producido (mL/g), A: producción de gas asintótica (mL/g), B: característica de conmutación de la curva, C: tiempo en el que se alcanza la mitad de la asíntota (T<sub>1/2</sub>) y t: tiempo (h). La tasa máxima de fermentación (R<sub>max</sub>) y el tiempo en el que se produce (T<sub>max</sub>) se calcularon de acuerdo a Bauer *et al.* (2001):

$$R_{\max} = (A \times C^B) \times B \times [(T_{\max}^{-(B-1)})] / [(1 + C^B) \times (T_{\max}^{-B})^2]$$

$$T_{\max} = C \times [(B - 1)/(B + 1)^{(1/B)}].$$

## Experimento 3

En este experimento se evaluó el efecto del ensilaje de granos de sorgo para cerdos sobre la digestibilidad y parámetros de fermentación *in vitro* tomando en cuenta el nivel de taninos de los granos, y el nivel de humedad y la duración del ensilaje. Para esto, se trabajó con una colección de granos de sorgo, provenientes de 4 parcelas comerciales diferentes. Los granos de sorgo utilizados fueron de 4 genotipos diferentes, 2 con un contenido alto y dos con un contenido bajo en taninos. Las muestras fueron obtenidas durante la cosecha de los granos para la realización de ensilajes de grano húmedo. Con las muestras obtenidas se realizaron microsilos experimentales con 3 niveles diferentes de humedad: baja (de 15 a 25%), media (26 a 32%, humedad de cosecha) y alta (33 a 42%, con agregado de agua). Además, los microsilos elaborados fueron abiertos en 3 momentos diferentes: a los 30, 90 o 180 días. De esta forma se trabajó en un esquema factorial de 2

× 3 × 3 (2 niveles de taninos, 3 niveles de humedad y 3 momentos de apertura).

Los análisis químicos se realizaron usando

los mismos procedimientos descritos en el Experimento 1. En el Cuadro 2 se presenta la composición química de los granos de sorgo antes de ser ensilados en los microsilos.

**Cuadro II.2.** Composición química de los granos de sorgo antes del ensilaje.

	Genotipo de sorgo <sup>b</sup>			
	1	2	3	4
MS* (g/kg)	651,5	637,9	613,0	795,9
Composición química <sup>c</sup> (g/kg MS)				
MO*	975,2	978,9	980,7	981,6
FDN*	278,6	201,6	151,5	172,9
FDA*	86,0	112,1	37,8	71,9
PB*	83,5	73,3	76,0	99,8
Taninos*	12,3	7,8	0,9	0,7
Almidón	695,2	701,6	587,2	684,5

a MS, materia seca; MO, materia orgánica; FDN, fibra detergente neutra; FDA, fibra detergente ácida; PB, proteína bruta; EE, extracto etéreo. b Los genotipos 1, 2, 3 y 4 corresponden a las variedades Morgan 108, ACA 558, Flash 10 and ACA 546, respectivamente. \*Datos según García y Santos *et al.* (2017, sin publicar).

Para evaluar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y las cinéticas de producción de gas *in vitro* se realizaron los mismos procedimientos descritos en el Experimento 2. En total se incubaron 40 frascos por corrida (4 genotipos × 3 niveles de humedad × 3 tiempos de apertura + 4 blancos) y el procedimiento se realizó en 2 corridas diferentes.

**Análisis estadísticos**

Todos los datos fueron analizados usando el procedimiento MIXED de SAS (SAS 9.0V, SAS Institute Inc., Cary, NC). Para los experimentos 1 y 2 se utilizó el modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + G_j + e_{ij}$$

donde,  $\mu$  es la media del parámetro,  $T_i$  es el efecto fijo del tratamiento (Seco, Remoj, REE, REM),  $G_j$  es el efecto aleatorio del genotipo del grano de sorgo y  $e_{ij}$  es el error residual. Para el ensayo de producción de gas *in vitro* el efecto “corrida” fue incluido como efecto aleatorio. Las comparaciones de medias se realizaron mediante test de Tukey.

Para el experimento 3 los datos fueron analizados a través del modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + H_k + e_{ijk}$$

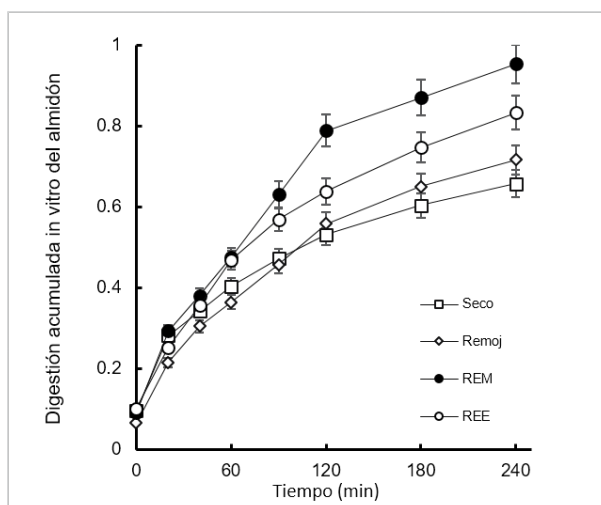
donde,  $\mu$  es la media del parámetro,  $G_i$  es el efecto fijo del genotipo (alto o bajo en taninos),  $A_j$  es el efecto fijo del momento de apertura (30, 90 o 180 días),  $H_k$  es el nivel de humedad (baja, alta o media) y  $e_{ijk}$  es el error residual. Las diferencias entre medias con valores de  $P \leq 0,05$  fueron consideradas significativamente distintas, mientras que valores de  $P \leq 0,10$  fueron consideradas como tendencias.

**RESULTADOS**

**Experimento 1**

Los niveles de almidón de los granos de sorgo utilizados en este experimento se ubicaron en un rango de entre 631 y 705 g/kg de MS, y fueron afectados por los tratamientos realizados sobre los granos (Cuadro 1). Los tratamientos en los que los granos fueron fermentados presentaron niveles más bajos de almidones ( $P < 0,0001$ ) y, además, el tratamiento donde los granos fueron ensilados molidos presentaron mayores niveles de amilosa que el control ( $P = 0,024$ ).

La digestión acumulada media del almidón (dada como la fracción del almidón total digerido a través de 8 tiempos diferentes de incubación) se presenta en la Figura 1, donde se observan diferencias entre los granos de sorgo sometidos



**Figura II.1.** Tiempo transcurrido de la digestión acumulada media del almidón (como fracción del almidón total) para los granos de sorgo Secos, remojados (Remoj), o reconstituidos y ensilados como grano entero (REE) o molido (REM).

a los diferentes tratamientos evaluados. Los sorgos secos y remojados presentan una velocidad y magnitud de digestión que los sorgos que fueron reconstituidos y ensilados (REE y REM). Además, los granos que fueron ensilados como granos molidos fueron los que presentaron una mayor magnitud y velocidad de digestión del almidón. Estas diferencias comenzaron a hacerse evidentes a partir de los 40 min de incubación.

En el Cuadro 3 se presentan los parámetros de cinéticas de digestión del almidón y la clasificación

de los diferentes tipos de almidón según Englyst *et al.* (1992). Los granos de sorgo presentaron diferencias para los parámetros  $C_0$ ,  $C_\infty$  y  $k$ , (con rangos de valores de 0,79 a 1,22 g/100 g de almidón, entre 56,6 a 97,9 g/100 g de almidón y de 0,088 a 0,124/min respectivamente;  $P < 0,019$ ). Además, se observaron diferencias en las fracciones de RDS, SDS y RS ( $P < 0,0001$ ). Los valores de RDS de entre 117 a 161 g/kg de MS, mientras que el SDS estuvo en un rango de entre 315 a 386 g/kg de MS. Además, el RS estuvo en un rango de entre 137 para el tratamiento REM a 187 g/kg de MS para los granos REE.

**Cuadro II.3.** Cinéticas de digestión del almidón, fracciones del almidón, índice de hidrólisis (IH) e índice glicémico predicho (pGI) de granos de sorgo secos (Seco), remojados por 24 h (Remoj), o reconstituidos y ensilados durante 21 d como grano entero (REE) o molido (REM).

	Seco	Remoj	REE	REM	EEMm	Pn
$C_0^e$	1,22a	0,79b	1,08b	0,97b	0,091	0,015
$C_\infty^f$	56,6d	73,3c	80,1b	97,9a	2,34	<0,0001
$k^g$	0,0124a	0,0088b	0,0097ab	0,0092b	0,0009	0,019
RDS <sup>h</sup>	161a	117c	144b	141b	8,30	<0,0001
SDS <sup>i</sup>	367b	386a	315c	353b	13,00	<0,0001
RS <sup>j</sup>	177a	172a	187a	137b	14,53	<0,0001
HI <sup>k</sup>	64,5c	65,7c	77,4b	89,6a	1,75	<0,0001
pGI <sup>l</sup>	65,3c	66,5c	78,4b	90,8a	1,77	<0,0001

<sup>e</sup> Almidón digerido al tiempo 0 (g/100g almidón); <sup>f</sup> digestibilidad potencial del almidón (g/100g de almidón); <sup>g</sup> tasa de digestión del almidón (/min); <sup>h</sup> almidón rápidamente digestible (g/kg MS); <sup>i</sup> almidón lentamente digestible (g/kg MS); <sup>j</sup> almidón resistente (g/kg MS); <sup>k</sup> calculado usando pan blanco como referencia; <sup>l</sup> calculado según Giuberti *et al.* (2011); m error estándar de la media; n P, nivel de significancia del tratamiento; letras distintas en la misma fila difieren ( $P < 0,05$ ).

**Cuadro II.4.** Efecto de diferentes tratamientos sobre la digestión *in vitro* y los parámetros de fermentación *in vitro* de granos de sorgo.

	Seco	Remoj	REE	REM	EEMi	Pj
Digestión IV (% MS) <sup>c</sup>	60,5 <sup>ab</sup>	57,4 <sup>b</sup>	58,1 <sup>b</sup>	63,3 <sup>a</sup>	1,19	0,005
VAMS (mL/g MS) <sup>d</sup>	254	258	235	255	15,4	ns
A (mL/g MS) <sup>e</sup>	254	259	231	253	16,7	ns
T1/2 (h) <sup>f</sup>	17,1 <sup>a</sup>	17,2 <sup>a</sup>	17,4 <sup>a</sup>	13,7 <sup>b</sup>	0,706	<0,0001
Rmax (mL/h) <sup>g</sup>	20,2 <sup>ab</sup>	20,4 <sup>ab</sup>	22,7 <sup>a</sup>	16,5 <sup>b</sup>	3,67	0,015
Tmax (h) <sup>h</sup>	8,53 <sup>ab</sup>	8,23 <sup>ab</sup>	6,74 <sup>a</sup>	10,3 <sup>b</sup>	2,34	0,022

<sup>c</sup>Digestión *in vitro* mediante incubación con pepsina-HCl y pancreatina (Cone *et al.*, 2005); <sup>d</sup>volumen de gas acumulado; <sup>e</sup>producción de gas asintótica; <sup>f</sup>tiempo medio de la producción de gas asintótica; <sup>g</sup>tasa máxima de producción de gas; <sup>h</sup>tiempo en que se produce la Rmax; <sup>i</sup>error estándar de la media; <sup>j</sup>P, nivel de significancia del tratamiento; letras distintas en la misma fila difieren (P<0,05).

Los valores de IH y pGI se obtuvieron utilizando pan blanco como referencia, y se observaron diferencias en IH (valores entre 64,5 a 89,6, P<0,0001) y pGI (valores entre 65,3 y 90,8, P<0,0001) para los diferentes tratamientos. De esta forma puede observarse que los granos sin tratar (Seco) y los remojados presentaron un valor de pGI medio, mientras que los granos REE y REM presentaron valores altos (pGI>70).

### Experimento 2

Se observaron diferencias en la digestión *in vitro* de la MS (Cuadro 3) realizada en dos etapas para los granos de sorgo sometidos a diferentes tratamientos (P=0,005). En este sentido, los granos que fueron digeridos en mayor magnitud fueron los del tratamiento REM, los que presentaron una menor digestibilidad *in vitro* de la MS fueron los Remoj y REE, mientras que los secos presentaron un valor intermedio. Con respecto a los parámetros de producción de gas *in vitro* del residuo de la digestión, los volúmenes de gas producidos fueron similares entre los tratamientos. El tratamiento REM fue el que alcanzó el tiempo medio de producción asintótica de gas más rápido (P<0,0001), aunque también fue el tratamiento que presentó la menor tasa de producción máxima de gas (P=0,015) y el mayor tiempo para alcanzarla (P=0,022).

### Experimento 3

Los datos de digestibilidad *in vitro* de la MS, y las cinéticas de producción de gas *in vitro* para los granos de sorgo altos y bajos en taninos, ensilados con diferente humedad y con diferentes tiempos de ensilaje se presentan en el Cuadro 5. Se observó que la digestibilidad *in vitro* de la MS fue mayor en los sorgos de genotipos altos en taninos (P=0,0251), con tiempos de ensilaje

de 90 y 180 días (P=0,0003) y con niveles de humedad alta (P=0,0120). Además, se observó para este parámetro una interacción entre el nivel de taninos, el tiempo de apertura y el nivel de humedad (P=0,0062). Además, la producción de gas (P<0,0001) y la producción asintótica de gas (P<0,0001) fueron mayores en los sorgos bajos en taninos, y en estos parámetros existió una interacción entre el día de apertura y la humedad de los granos (P=0,0102 y P=0,0113, respectivamente). El tiempo medio de producción de gas asintótica fue menor en los sorgos bajos en taninos (P=0,0258) y fue más alto en los sorgos de baja humedad (P<0,0001), presentándose para T1/2 interacciones entre el nivel de taninos y la humedad (P=0,0009). La tasa máxima de producción de gas fue mayor en los sorgos bajos en taninos (P<0,0001), con tiempos de apertura del silo de 90 y 180 días (P=0,0116), y con niveles de humedad alta (P=0,0201). Además, el tiempo en el que se produjo la tasa máxima de producción de gas (Tmax) fue más corto en los sorgos bajos en taninos (P=0,0003), con tiempos de apertura de 180 días (P<0,0001) y con niveles de humedad alta (P=0,0012), observándose una interacción entre el nivel de taninos y el tiempo de apertura (P=0,0335).

## DISCUSIÓN

### Experimento 1

Tomando en cuenta los análisis de composición química realizados sobre los granos de sorgo utilizados en este experimento, observamos que los niveles de almidón y amilosa son consistentes con datos reportados en la literatura (Gonzalez García *et al.*, 2016; Giuberti *et al.*, 2012; Rostagno *et al.*, 2011). Además, la disminución en el contenido

**Cuadro II.5.** Efecto del nivel de taninos, tiempo de apertura y nivel de humedad sobre la digestión *in vitro* de la MS y parámetros de fermentación *in vitro* de granos de sorgo.

	Tanino (T)			Apertura, d (A)			Humedad (H)			Interacciónk								
	Bajo	Alto	EEMi	Pj	30	90	180	EEMi	Pj	Baja	Media	Alta	EEMi	Pj	TxA	TxH	AxH	TxAxH
Digestión IV (% MS) <sup>c</sup>	42,6	49,1	1,99	0,0251	41,2 <sup>b</sup>	47,2 <sup>b</sup>	49,2 <sup>a</sup>	1,80	0,0003	44,2 <sup>b</sup>	44,1 <sup>b</sup>	49,3 <sup>a</sup>	1,80	0,0120	ns	ns	ns	0,0062
VAMS (mL/g MS) <sup>d</sup>	214	163	2,35	<0,0001	189	186	190	2,88	ns	184	188	193	2,88	ns	ns	ns	0,0102	ns
A (mL/g MS) <sup>e</sup>	208	155	2,36	<0,0001	182	179	184	2,89	ns	177	181	187	2,89	0,0602	ns	ns	0,0113	ns
T1/2 (h) <sup>f</sup>	13,2	15,2	0,614	0,0258	14,5	14,0	14,0	0,463	ns	15,0 <sup>a</sup>	13,9 <sup>b</sup>	13,6 <sup>b</sup>	0,463	<0,0001	ns	0,0009	ns	0,0650
Rmax (mL/h) <sup>g</sup>	24,2	19,9	0,529	<0,0001	20,6 <sup>a</sup>	22,0 <sup>b</sup>	23,4 <sup>b</sup>	0,648	0,0116	20,9 <sup>b</sup>	21,7 <sup>ab</sup>	23,5 <sup>a</sup>	0,648	0,0201	ns	ns	ns	ns
Tmax (h) <sup>h</sup>	2,99	4,69	0,312	0,0003	4,77 <sup>a</sup>	3,82 <sup>b</sup>	2,93 <sup>c</sup>	0,300	<0,0001	4,48 <sup>a</sup>	3,94 <sup>a</sup>	3,11 <sup>b</sup>	0,300	0,0012	0,0335	ns	ns	ns

c Digestión *in vitro* mediante incubación con pepsina-HCl y pancreatina (Cone *et al.*, 2005); d volumen de gas acumulado; e producción de gas asintótica; f tiempo medio de la producción de gas asintótica; g tasa máxima de producción de gas; h tiempo en que se produce la Rmax. i error estándar de la media; j P, nivel de significancia del tratamiento; letras distintas en la misma fila difieren (P<0,05); k Interacciones: taninos x apertura (TxH), taninos x humedad (AxH), apertura x humedad (TxAxH).



de taninos debido al proceso de fermentación anaeróbica también ha sido reportada por otros autores (Lopes *et al.*, 2017; Mitaru *et al.*, 1984).

Existen varias metodologías propuestas para caracterizar las cinéticas de digestión del almidón para cerdos (Giuberti *et al.*, 2012; Van Kempen *et al.*, 2010; Sun *et al.*, 2006). En este trabajo utilizamos el método descrito por Giuberti *et al.* (2012) que consiste en una versión prolongada del método previamente descrito por Englyst *et al.* (1992). Las cinéticas de digestión del almidón obtenidas en nuestro laboratorio son consistentes con datos reportados por otros autores (Giuberti *et al.*, 2012; Van Kempen *et al.*, 2007) que han utilizado estos métodos para clasificar granos de cereales basándose en características de la digestibilidad *in vitro* del almidón. De todas formas, no encontramos publicaciones donde se utilicen estos métodos para evaluar la eficiencia de los tratamientos de granos de sorgo como forma de mejorar el aprovechamiento digestivo del almidón de estos granos para cerdos.

En este trabajo los granos de sorgo sin tratar (Seco) fueron los que presentaron las curvas de digestión acumulada del almidón más bajas durante el tiempo de incubación. Esto pudo deberse a que los tratamientos tuvieron efectos sobre distintos componentes del grano relacionados con la digestión de los almidones, como la presencia de taninos, o de prolaminas que dificultan la digestión del almidón (Lopes *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2015). Los dos tratamientos en los que los granos de sorgo fueron reconstituidos a un mayor nivel de humedad y luego ensilados (REE y REM) provocaron una disminución en los niveles de taninos y posiblemente generaron una disgregación en la matriz proteica del endospermo de los granos, lo que se relacionó con una mayor digestión del almidón. Por otra parte, la digestión del almidón también se relaciona con la relación amilosa:amilpectina de los granos, siendo los que tienen niveles de amilos más altos, los que presentan menor digestibilidad del almidón (Stevnebø *et al.*, 2006). En nuestro estudio los contenidos más bajos de amilosa no se relacionaron con una mayor digestibilidad del almidón, sino que, por el contrario, los sorgos sin tratar fueron lo que tuvieron un menor contenido en amilosa. Seguramente, otros factores del grano, como el nivel de taninos, estructura proteica del endospermo o tamaño de partícula de los gránulos, pudieron tener mayor efecto sobre la magnitud de la digestión del almidón.

Las cinéticas de digestión del almidón difirieron entre los tratamientos. En general, las altas tasas de digestión del almidón (/min) dan como resultado una digestión del almidón más completa al final del intestino delgado en cerdos y en aves (Al-Rabadi *et al.*, 2011; Sun *et al.*, 2006; Weurding *et al.*, 2001). No obstante, en nuestro experimento observamos que, a pesar de que el tratamiento REM presentó una menor tasa de digestión que los otros tratamientos, la digestibilidad potencial del almidón (g/100 g de almidón) fue la más elevada, y casi completa durante los 240 minutos de incubación. Si bien era esperable que los tratamientos repercutieran positivamente sobre la digestibilidad potencial del almidón, nos llamó la atención el nivel alcanzado por este parámetro en el tratamiento REM.

Con respecto a las diferentes fracciones del almidón analizadas, en todos los tratamientos se observaron valores elevados de SDS, si comparamos nuestros resultados con los reportados en la literatura (Giuberti *et al.*, 2012; Sun *et al.*, 2006). En general, tratamientos intensos que se realicen sobre granos de cereales, y que provoquen la gelatinización del almidón, se asocian a niveles elevados de la fracción rápidamente digestible (RDS) y a niveles bajos de la fracción de almidón resistente (RS) (Sun *et al.*, 2006). En nuestro trabajo, los distintos tratamientos provocaron diferencias en las fracciones RDS, SDS y RS. Por ejemplo, la mayor fracción RDS observada en los sorgos sin tratar estuvieron en concordancia con la mayor tasa de digestión del almidón observada en estos granos, mientras que el tratamiento REM fue el que presentó un menor contenido de almidón resistente y esto se relacionó con una digestibilidad potencial del almidón más alta.

A partir del índice de hidrólisis obtenido en nuestro experimento es posible estimar un índice de glicemia predicho (pGI) que se relaciona con respuestas de glicemia postprandial *in vivo* (Giuberti *et al.*, 2011). El pGI nos permite comparar la digestibilidad del almidón de diferentes alimentos almidonosos frente a un alimento de referencia. En general, los granos de cereales que sufren tratamientos industriales que provocan la gelatinización de su almidón presentan un pGI más elevado que los mismos cereales crudos, debido a que la gelatinización del almidón provoca que las moléculas de almidón sean más accesibles a las enzimas digestivas (Giuberti *et al.*, 2012). En nuestro experimento, los valores de pGI fueron afectados positivamente por los tratamientos, siendo más elevados cuando

los granos fueron ensilados (tratamientos REE y REM). Posiblemente, el efecto que tuvieron estos tratamientos sobre los taninos y sobre las prolaminas del sorgo, que provocaron una mayor digestibilidad del almidón, se puedan asociar a mayores niveles de glicemia postprandial cuando este tipo de granos son utilizados en la alimentación de cerdos. Esto es de interés, ya que alimentos que generan mayores respuestas de glicemia postprandial se asocian a mayores respuestas de insulina, lo que a su vez resulta en aumentos numéricos en el consumo de alimento (Menoyo *et al.*, 2011).

### Experimento 2

Los valores de digestibilidad *in vitro* de la MS y las cinéticas de fermentación *in vitro* que obtuvimos son concordantes con algunos resultados observados en el Experimento 1. La digestibilidad *in vitro* de la MS fue mayor en el tratamiento REM que los tratamientos Remoj y REE, lo que indica la necesidad de moler el grano previo al ensilaje para aumentar el aprovechamiento digestivo del grano. Otros autores han utilizado una metodología similar para evaluar la digestibilidad *in vitro* de granos de cereales, y han asociado como un factor que incide de forma importante en la digestibilidad de los granos a la relación amilosa:amilopectina del almidón (Jha *et al.*, 2011). Si bien en nuestro trabajo los tratamientos presentaron diferencias en los contenidos de amilosa y amilopectina, seguramente el contenido de taninos de los granos antes y después del procesamiento pudieron haber influido en mayor medida.

Las dinámicas de producción de gas *in vitro* representan la fermentación en el intestino grueso de un cerdo de las fracciones del alimento que no fueron digeridas en el intestino delgado. Para esto, incubamos el residuo de la digestión *in vitro* en dos etapas (pepsina/HCl + pancreatina) con heces diluidas de cerdos que aportan la microbiota residente en el colon. Los tratamientos no se diferenciaron en la cantidad de gas producida, pero sí en la velocidad de fermentación. Aparentemente, los granos sin tratar, remojados o ensilados enteros sufrieron una menor digestión en presencia de pepsina y pancreatina, por lo que habría sustratos que son fermentados a una mayor tasa, y esa tasa se produjo en un tiempo más corto que en el tratamiento REM. Es de esperar que cereales que presenten una menor digestión del almidón en intestino delgado (mayor cantidad de almidón resistente) se asocien a una mayor cantidad de

sustratos fermentables al intestino grueso, lo que promueve una mayor actividad fermentativa con crecimiento de la masa y diversidad microbiana y con producción de ácidos grasos volátiles (Regmi *et al.*, 2011). No obstante, dietas con altos contenidos en RS provocan una menor digestión del almidón y menor productividad del animal (Sun *et al.*, 2006; Regmi *et al.*, 2011).

### Experimento 3

En este experimento se evaluaron los efectos del nivel de taninos, la duración del proceso de ensilaje y el nivel de humedad de los granos sobre la digestibilidad y la fermentación *in vitro* de granos de sorgo, utilizando el mismo abordaje que en el Experimento 2. Se confirmó que el nivel de taninos es un factor de alta relevancia sobre la digestibilidad de los granos, como ha sido observado previamente en aproximaciones *in vitro* (Lemlioglu-Austin, 2012), e *in vivo* (Lopes *et al.*, 2017; Mitaru *et al.*, 1984). Además, todos los parámetros de fermentación *in vitro* fueron también afectados por el nivel de taninos de los granos. Sorpresivamente, observamos que la digestibilidad *in vitro* de la MS de los granos fue mayor en los genotipos altos en taninos. Esto está asociado al proceso de ensilaje, y sugiere que el efecto del ensilaje fue más importante en los genotipos altos en taninos. El medio ácido y la actividad la microbiota anaeróbica dentro del ensilaje contribuye a la inactivación de los taninos condensados, que en un medio ácido son depolimerizados a compuestos de bajo peso molecular (Lopes *et al.*, 2017). Como pudimos comprobar en este experimento, este es un efecto benéfico, dado que la inactivación los taninos en los ensilajes de grano húmedo de sorgos que contienen taninos aumenta el aprovechamiento digestivo de los granos (Aguerre *et al.*, 2015; Mitaru *et al.*, 1984). Por otra parte, los parámetros de fermentación *in vitro* de los ensilajes también fueron afectados por el contenido de taninos de los granos. Los genotipos bajos en taninos fueron fermentados en mayor magnitud y con mayor velocidad de fermentación. Es posible que una mayor digestión de los genotipos altos en intestino delgado (mayor digestibilidad *in vitro* de la MS) generara que hubiese menos sustratos para ser fermentados en el intestino grueso.

Por otra parte, el tiempo de ensilaje tuvo un efecto positivo sobre la digestibilidad *in vitro* de la MS y sobre las velocidades de fermentación. Las mayores digestibilidades se observaron a partir del día 90 al igual que las tasas máximas

de fermentación *in vitro* de los granos. Durante el proceso de ensilaje se producen modificaciones en componentes del material ensilado, y se ha reportado que a medida que aumenta el tiempo de ensilaje, aumenta la digestibilidad del almidón (Acari *et al.*, 2016), y en el caso de ensilajes de maíz, el efecto del tiempo de ensilaje sobre la degradabilidad del almidón se debe a la degradación y/o solubilización de las prolaminas del grano (Hoffman *et al.*, 2011; Lawton, 2002), lo que permite una mayor cantidad de almidón libre que es más fácil de hidrolizar por las enzimas.

Además, el nivel de humedad de los ensilajes afectó la digestibilidad *in vitro* de la MS y la velocidad de fermentación de los ensilajes. Los granos con un nivel de humedad más alto (33 a 42%) presentaron una mayor digestibilidad *in vitro* de la materia seca y una mayor velocidad de fermentación. Durante el proceso de ensilaje, los granos húmedos sufren un proceso de fermentación láctica con el que disminuye el pH del medio. Para que el proceso de ensilaje se produzca correctamente, y haya una disminución rápida del pH, la actividad fermentativa de las bacterias depende del agua disponible en el sustrato (actividad del agua,  $A_w$ ) (Pieper *et al.*,

2011). Posiblemente, el proceso de ensilaje con alta humedad haya contribuido a una disminución en el contenido de factores que afectan la digestibilidad (taninos, prolaminas), lo que llevó a una mayor digestibilidad *in vitro* de los granos. De todas formas, el efecto de los taninos, duración del proceso de ensilaje y nivel de humedad no pueden tratarse como factores aislados, ya que en varios parámetros evaluados se observaron interacciones entre los tres efectos.

## CONCLUSIONES

Los tratamientos realizados a los granos de sorgo que implican la combinación del molido, reconstitución y ensilaje del grano se asocian a aumentos en el aprovechamiento digestivo del almidón. Además, el proceso de ensilaje puede tener un efecto más pronunciado en genotipos del grano con mayores contenidos en taninos. Otros factores como el tiempo que dure el proceso de ensilaje y el nivel de humedad de los granos también son factores que determinan la magnitud de las respuestas digestivas. Se prevé realizar abordajes *in vivo* para profundizar la información obtenida hasta este momento.

### III.- DIGESTIBILIDAD Y METABOLISMO IN VIVO DE DIETAS PARA CERDOS EN ENGORDE UTILIZANDO ALIMENTOS ALTERNATIVOS AL MAÍZ Y LA SOJA

*Bauza, Roberto; Bratschi, Cecilia; Barreto, Roberto; Silva, Dalel; Tejero, Bruno*

Con el objetivo de determinar el aporte en nutrientes digestibles para cerdos en engorde de dietas conteniendo los alimentos considerados potenciales sustitutos al maíz y la harina de soja se realizaron dos pruebas de digestibilidad aparente y metabolismo in vivo. Ambas pruebas se llevaron a cabo en la Sala de Digestibilidad y Metabolismo ubicada en la Estación de Prueba de Porcinos de la Granja de Sayago de la Facultad de Agronomía en los períodos comprendidos entre octubre y noviembre de 2014 y entre marzo y mayo de 2015, respectivamente.

#### III.1.-DIGESTIBILIDAD FECAL APARENTE PARA CERDOS DE PARTIDAS DE SORGO CON DIFERENTES CONTENIDOS DE TANINOS, SOMETIDOS A DISTINTAS TECNOLOGÍAS DE PROCESAMIENTO

##### MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una prueba de digestibilidad fecal aparente para cerdos en recría de dos tipos de sorgos, diferenciados por el contenido en taninos, sometidos a distintos procesamientos, comparados con el grano de maíz molido. Se evaluaron 6 tratamientos

T1 (testigo): maíz molido

T2: sorgo común grano seco molido

T3: sorgo común extrusado húmedo y molido

T4: Sorgo común ensilado como grano húmedo

T5: Sorgo bajo tanino grano seco molido

T6: Sorgo bajo tanino ensilado como grano húmedo

##### Origen y características de los alimentos

El grano de maíz molido fue adquirido en una firma de plaza dedicada a la venta de insumos. El grano de sorgo común fue adquirido en una Cooperativa que elabora raciones, siendo molido. De la misma partida de sorgo una parte fue sometida a extrusado húmedo. El sorgo de bajo tanino fue obtenido de las partidas destinadas por ALUR a la elaboración de bioalcohol, siendo molido previo a su empleo en la prueba.

Los ensilados de grano húmedo de sorgo bajo y alto tanino fueron obtenidos de un productor lechero del departamento de San José, de las bolsas realizadas para su uso particular. Las partidas a utilizar en el ensayo fueron retiradas semanalmente y mantenidas refrigeradas a 40C hasta el momento de su suministro a los cerdos. Se realizó determinación de la concentración de taninos condensados de los sorgos en el Laboratorio de Calidad de Granos de INIA La Estanzuela mientras que la composición química de los alimentos se realizó en el Laboratorio de Nutrición Animal de Facultad de Agronomía. Los resultados se presentan en el cuadro III.1.1.

##### Animales

Se utilizaron 18 cerdos machos castrados con un peso vivo inicial de  $36.3 \pm 3.2$  kg, que fueron asignados al azar a razón de tres animales por tratamiento. Los cerdos, obtenidos en un criadero comercial, eran cruza terminales. Los cerdos ingresaron a la estación de prueba con un peso vivo promedio de 25 kg y fueron mantenidos en las mismas condiciones de alojamiento y alimentación hasta el inicio del periodo experimental.

##### Alojamiento

Durante el periodo experimental los animales se ubicaron individualmente en jaulas de digestibilidad, de dimensiones ajustables, que contaban con comedero frontal tipo batea, bebedero automático tipo chupete, piso de rejilla y, en la parte inferior bandejas para recolección de heces, y embudo para recolección de orina en un recipiente móvil (Figura III.1.1).

**Cuadro III.1. 1.- Composición química de los alimentos utilizados**

	MS% <sup>1</sup>	C% <sup>1</sup>	PC% <sup>1</sup>	aFDNmo % <sup>1</sup>	EE% <sup>1</sup>	CHOs % <sup>2</sup>	EB Mcal/kg <sup>3</sup>	Taninos % <sup>4</sup>
MAIZ	100	1,39	10,12	14,67	3,36	71,85	4,51	
		87,92	1,22	8,90	12,90	2,95	63,17	3,96
Sorgo común molido	100	2,02	9,49	15,73	2,70	70,06	4,47	0,60
		88,64	1,79	8,41	13,94	2,39	63,89	3,96
Sorgo común extrusado	100	1,81	9,69	13,56	1,61	75,14	4,42	0,30
	89,35	1,62	8,66	12,12	1,44	67,14	3,95	
Sorgo común ensilado	100	1,77	6,95	14,21	1,75	77,09	4,38	0,40
	55,8	0,99	3,88	7,93	0,98	43,02	2,45	
Sorgo BT molido	100	0,95	7,59	6,27	4,66	81,48	4,54	0,10
	88,37	0,84	6,71	5,54	4,12	72,00	4,01	
Sorgo BT ensilado	100	1,88	9,33	6,47	2,52	81,68	4,46	0,10
	68,94	1,30	6,43	4,46	1,74	56,31	3,07	

1 Análisis realizado en el Laboratorio de Nutrición Animal de Facultad de Agronomía

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

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

4 Análisis realizado en el Laboratorio de Calidad de Granos de INIA-La Estanzuela



**Figura III.1.1.- Cerdo en jaula de digestibilidad Alimentación**

En la etapa previa al periodo experimental la alimentación consistió en suministro de ración comercial de recría ofrecida a voluntad. Durante todo el periodo experimental los animales recibieron exclusivamente el alimento correspondiente al tratamiento asignado, en las cantidades establecidas.

### Manejo experimental

El periodo experimental se desarrolló durante 12 días, comprendiendo dos etapas: en la etapa de acostumbramiento, de 7 días de duración, se realizan los ajustes en las jaulas para lograr una adecuada contención de los animales, se define el nivel de alimentación y se estabiliza el consumo diario de dieta experimental. En los primeros 4 días se realizó alimentación a voluntad, controlando ofrecidos y rechazos diarios para determinar el consumo potencial. Al cuarto día, se determinó el consumo medio diario de materia seca (MS) por animal, que se expresó como porcentaje del Peso Metabólico Corporal (PMC =PV0.75). Ese valor porcentual, promedio de todos los animales del ensayo, fue la base para fijar el suministro diario de alimento, evitando efectos secundarios sobre la digestibilidad dado por el plano nutritivo, como observaron De Haer y De Vries (1993) y Moter y Stein (2004). Aplicando este criterio, el suministro diario de materia seca se fijó en 6% del PMC, siendo ofrecido desde el día 5 del periodo de acostumbramiento hasta el final del periodo experimental.

Durante la etapa de recolección de 5 días de duración se suministró diariamente a cada animal una cantidad de alimento equivalente en MS al 6% de su PMC, en dos tomas iguales a las 8:00 y 18:00 hs. En caso de existir sobrante en algún comedero fue retirado en la mañana y pesado. Se realizó recolección diaria del total de heces excretadas por cada cerdo, en la mañana, las que fueron pesadas y guardadas en bolsa de nylon, identificadas por animal, y mantenidas congeladas hasta la finalización del periodo de recolección. Se llevó registro diario por animal de las cantidades de alimento ofrecidas, rechazadas y la excreción de heces.

### Manejo de las muestras recolectadas

Al finalizar la etapa de recolección, las heces fueron descongeladas, mezcladas en una bandeja única por animal y secadas a 60°C, luego pesadas y molidas, conformando así la muestra para su análisis en el Laboratorio de Nutrición Animal de Facultad de

Agronomía. Se determinaron: MS a 105°C, Proteína Cruda (PC), Extracto al Eter (EE), Fibra Detergente Neutro (FDN) y Cenizas; por diferencia se obtuvo el contenido de Carbohidratos Solubles (CHOs) y de Materia Orgánica (MO) y por cálculo a partir de las concentraciones y los calores de combustión de las fracciones, se estimó la concentración de Energía Bruta (EB) por kg de MS.

### Determinaciones realizadas

A partir de la información de las cantidades de alimento consumidas y de la composición química se estableció la cantidad total y diaria promedio consumida de: MS, PC, FDN, CHOs y EB. Del mismo modo, a partir de la cantidad de heces excretadas y su composición química se determinó la excreción total y media diaria de las mismas fracciones. Con esta información se realizó el cálculo de digestibilidad fecal aparente (DFA) de cada una de esas fracciones, por animal y promedio por tratamiento (alimento evaluado). A partir de la composición química y el valor promedio de digestibilidad se calculó la concentración en Energía Digestible (ED) y Proteína Digestible (PD) para cada alimento.

### Diseño estadístico

Parcelas al azar repetidas en el tiempo. La unidad experimental estuvo constituida por un animal. El modelo corresponde a una variable aleatoria con distribución normal, con la siguiente fórmula general:  $\hat{Y}_i = \mu + A_i + T_i + \epsilon_{iat}$

siendo  $\hat{Y}_i$  la variable de respuesta;  $\mu$  la media poblacional;  $A_i$  el efecto del iésimo alimento en estudio;  $T_i$  efecto del momento de ensayo;  $\epsilon_{iat}$  el error experimental. Los resultados fueron analizados estadísticamente mediante prueba F con nivel de precisión del 1 y del 5%, realizando, en los casos de encontrar diferencias significativas, la comparación de medias mediante la prueba de mínimas diferencias significativas (MDS) a los mismos niveles de significación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de los alimentos evaluados (Cuadro III.1.1)

El grano de maíz utilizado se corresponde con las características de composición química de un maíz amarillo de acuerdo a los valores estándares

mencionados por Rostagno *et al.* (2005) y FEDNA (2010a), constituyendo un adecuado referente para la comparación del valor nutritivo de los sorgos. No es posible identificar el cultivar de los sorgos utilizados, dado que fueron adquiridos de lugares de acopio. Consideramos que son muestras representativas de la producción existente en Uruguay. El contenido de taninos condensados del sorgo común lo ubica en la categoría de “contenido medio”, tipo de sorgo que tiende a predominar a nivel mundial (Chicarelli, 2012).

El grano de sorgo extrusado proviene de la misma partida que el sorgo molido, presentando diferencias en la composición química con una disminución relativa del contenido de FDN a favor de los CHOs y una reducción al 50% de los taninos condensados. Ambos efectos se explican como resultado de la hidrólisis de estas fracciones provocado por el proceso de calentamiento y alta presión a que fueron sometidos, coincidiendo con lo reportado por Kulp y Ponts (2000) y Kraler *et al.* (2014) para la fibra y Alonso *et al.* (2000) para los taninos condensados.

El silo de grano húmedo de sorgo común proviene de un origen distinto a los anteriores, probablemente se corresponda con el tipo de sorgo con contenido medio de taninos que prevalece en Uruguay. Su concentración en taninos condensados es inferior

al del grano seco utilizado, aspecto que podríamos asociar al efecto de hidrólisis de los taninos producto del proceso de fermentación anaeróbica, tal como lo señalan Myer *et al.* (1986) y Alonso *et al.* (2000). Desconocemos el contenido de taninos de este sorgo en estado de grano seco, por lo que solo planteamos la hipótesis. Llama la atención el alto contenido de humedad de este silo, por encima de los valores recomendados por Chalkling y Brasesco (2003) y Scarpitta (2008), lo que estaría indicando que fue ensilado en forma anticipada sin haber completado su proceso de maduración. Sin embargo, su estado de conservación era correcto, sin signos de calentamiento ni desarrollo de hongos.

Con respecto al grano de sorgo de bajo tanino, su composición se corresponde con el estándar que establecen Rostagno *et al.* (2005) y FEDNA (2010b) para este tipo de grano. El contenido de PC del sorgo BT utilizado es 1.5% menor al maíz y al sorgo común, aspecto seguramente relacionado con el objetivo de este material, destinado a la obtención de bioalcohol combustible. El ensilado de grano húmedo de sorgo BT presentaba un contenido de humedad acorde a lo recomendado por el Instituto Plan Agropecuario (Chalkling y Brasesco, 2003; Scarpitta, 2008) y su estado de conservación no mereció ningún tipo de reparo.

**Resultados de digestibilidad**

**Cuadro III.1. 2.- Digestibilidad fecal aparente por fracción**

TRATAMIENTO	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	MAIZ	SORGO AT	EXTRUSADO	SILO AT	SORGO BT	SILO BT
Materia Seca	90,27± 0,65 ABb	89,45 ± 1,06 Bb	90,78 ± 0,98 ABab	83,58 ± 1,27 Cc	91,23 ± 1,48 ABab	93,16 ± 2,16 Aa
Materia Orgánica	90,18 ± 0,66 ABb	89,29 ± 1,08 Bb	90,64 ± 0,99 ABab	83,41 ± 1,27 Cc	91,09 ± 1,50 ABab	93,05 ± 2,18 Aa
Proteína Cruda	81,65 ± 1,89 A	73,31 ± 4,30 B	81,94 ± 1,09 A	49,11 ± 3,70 C	72,63 ± 3,92 B	83,55 ± 3,08 A
ENERGIA	89,74 ± 0,78 ABb	88,96 ± 0,95 Bb	91,24 ± 0,88 ABab	83,22 ± 1,33 Cc	90,83 ± 1,26 ABab	92,78 ± 1,94 Aa
FDN	71,93 ± 3,36 Aa	67,19 ± 2,71 Aa	61,30 ± 4,20 ABb	34,05 ± 1,85 Cc	51,77 ± 8,12 Bb	66,23 ± 9,43 Aa

Aa: medias seguidas de subíndices distintos difieren estadísticamente P≤0.01 y 0,05 respectivamente

El consumo de las cantidades asignadas en los distintos tratamientos no presentó dificultades, aunque en el caso de los silos de grano húmedo el consumo de alimento fresco fue mayor que en los granos secos, para igualar el aporte de MS diario. En el caso del extrusado, luego del molido de los pellets se obtuvo un producto pulverulento y esponjoso, que al comienzo del suministro generó alguna resistencia por los animales, hasta su adaptación, que fue muy rápida, observación que ya habían realizado Acurero *et al.* (1991) trabajando con alimentos similares.

Los coeficientes de digestibilidad fecal aparente (Cuadro III.1.2) de la MS y MO son similares, por lo que serán analizados en forma conjunta. El sorgo de bajo tanino ensilado grano húmedo presentó el mayor coeficiente de digestibilidad de MS y MO ( $P \leq 0.05$ ) con 93 % de DFA, siendo superior al grano de maíz, tomado como referente.

El sorgo BT molido y el sorgo AT extrusado presentaron una digestibilidad similar al maíz, del orden del 90 – 91%, coincidente con lo observado por Gaviria Retrepo (2008). Mientras que el sorgo AT molido, presentó una digestibilidad por debajo de los anteriores ( $P \leq 0.05$ ) 89.5%, diferencia menor al 3% indicado por la bibliografía como valor del sorgo con respecto al maíz (D'Alessandro *et al.*, 1997; Garin *et al.*, 2007).

El ensilado de grano húmedo de sorgo AT presentó una digestibilidad de MS y MO significativamente menor ( $P \leq 0.01$ ) al resto de alimentos evaluados. Este aspecto contradice lo observado por Myer *et al.* (1986), Knabe y Tanksley (1986), Patricio *et al.* (2006), Montiel y Depetris (2007) y Montiel *et al.* (2012) que señalan que el proceso de ensilado favorece la digestibilidad. La gran uniformidad entre repeticiones (Coeficiente de variación = 1,5%) nos permite sostener la validez de nuestras observaciones. Posiblemente este resultado sea debido al alto contenido de agua del silo utilizado, que implicó un mayor volumen de alimento fresco para igualar el consumo de MS, que se vio reflejado en una aceleración del tránsito intestinal y, por ende, menor tiempo de contacto de la masa alimenticia con la secreción enzimática intestinal, como lo observan Acurero *et al.* (1991).

Con respecto a la DFA de la PC, el silo BT y el sorgo AT extrusado no presentaron diferencias con respecto al maíz ( $P \leq 0.01$ ), mientras que los granos de sorgo molido AT y BT estuvieron por debajo de los anteriores ( $P \leq 0.01$ ) sin diferencias entre ellos,

mientras que el silo grano húmedo AT, con una digestibilidad de la proteína del orden del 50 %, tuvo un valor significativamente inferior ( $P \leq 0.01$ ) al resto de los alimentos evaluados.

El efecto del extrusado y del BT ensilado es coherente con lo observado por Liu *et al.* (2013) que señalan 15.7% de mejora en la digestibilidad del N producto del extrusado, y con Myer *et al.* (1986) que indican que el silo de grano húmedo de sorgo BT tiene una digestibilidad 8% superior al grano seco molido, indicando que estos procesos hidrolizan los enlaces de los taninos y de la karfirina, mejorando su utilización digestiva, que pasa a ser similar a la de la proteína del maíz.

Los granos de sorgo secos, molidos, sean de bajos o altos taninos, presentaron un aprovechamiento digestivo menor de su proteína, lo que coincide con lo observado por diversos autores (Louis *et al.*, 1991; D'Alessandro *et al.*, 1997; Latorre y Calderón, 1998; Garín *et al.*, 2007) que se atribuye al efecto de los taninos condensados y su interferencia en el acceso enzimático a las proteínas, y también, en ambos casos, por las características de la proteína del sorgo, la karfirina, cuyos enlaces disulfuro le confieren menor tasa de solubilización y por lo tanto de digestibilidad con respecto al maíz (Liu *et al.* 2013).

En el caso del ensilado de AT, valen las mismas observaciones realizadas al analizar la DFA de MS y MO: los resultados obtenidos no se corresponden con las observaciones de otros autores (Myer *et al.*, 1986; Montiel y Depetris, 2007; Araiza-Piña *et al.*, 2013), aspecto que asociamos a una mayor tasa de pasaje y menor tiempo para la acción de las proteasas. La mayor tasa de pasaje también pudo afectar la excreción de proteínas endógenas, acentuando la pérdida de N e incidiendo en la DFA, como lo sostienen D'Alessandro *et al.* (1997) y Garín *et al.* (2007).

La digestibilidad de la Energía, resultante de la digestibilidad del conjunto de fracciones orgánicas sigue una tendencia similar. No se observaron diferencias en la DFA de la Energía entre silo grano húmedo BT, sorgo molido BT, sorgo AT extrusado y el maíz, con valores en el rango de 90 – 93%. El sorgo seco molido AT presentó una DFA de la E inferior ( $P \leq 0.05$ ) al silo BT, no difiriendo con respecto a T1, T3 y T5. Este comportamiento del sorgo AT coincide con los resultados obtenidos por Grosjean y Castaing (1984) y D'Alessandro *et al.* (1997). El silo grano húmedo de sorgo AT fue significativamente inferior ( $P \leq 0.01$ ) al resto de



**Cuadro III.1.3.- Concentración de Proteína y Energía Digestible en base seca y fresca**

TRATAMIENTO	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	MAIZ	SORGO AT	EXTRUSADO AT	SILO AT	SORGO BT	SILO BT
P.D. BS (%)	8.28	6.96	7.94	3.41	5.51	7.80
P.D. BF (%)	7.26	6.17	7.09	1.90	4.87	5,37
ED (Mcal/kg de MS)	3.99	3.90	3.96	3.59	4.09	4.06
ED (Mcal/kg de alimento)	3.51	3.46	3.54	2.00	3.61	2.80

los alimentos evaluados, con una DFA de 83.22%, siendo válidas las mismas consideraciones realizadas a las DFA de MO, MS y PC. De todos modos, el valor de DFA observado está dentro del rango de 76.6 y 88.5%. reportado por Kemm y Brand (1996).

Los resultados se presentan en el cuadro III.1.3. La concentración de proteína digestible en base seca, resultante de la concentración de PC por su coeficiente de digestibilidad, permite agrupar tres categorías de alimentos: a) el maíz, el sorgo extrusado y el silo BT, con un aporte del orden de 8% de PD; b) luego el sorgo grano molido seco, tanto AT como BT, con contenido en el eje del 6% y c) este sorgo AT silo grano húmedo, con menos de 4% de PD.

Nuestros resultados, excepto para el caso de silo grano húmedo de sorgo AT, son similares a los observados por otros autores, como Lin *et al.* (1987); D'Alessandro *et al.* (1997); Araiza-Piña *et al.* (2003); Garín *et al.* (2007); Nyannor *et al.* (2007). Hacemos notar que el sorgo BT grano seco, si bien presenta una digestibilidad similar de la PC que el silo BT, el sorgo extrusado y el maíz, por su menor contenido de PC presenta un menor aporte proteico. Acá debemos tener en cuenta que se trata de cultivares cuyo destino es la elaboración de bioalcohol, donde lo que interesa es su aporte en carbohidratos fermentescibles, no siendo seleccionados para su utilización en alimentación animal.

Con respecto a la concentración en ED en base seca, el sorgo BT en sus dos formas de suministro y el extrusado presentan un aporte similar al maíz, mientras que el grano seco AT realiza un aporte menor, siendo aún menor en el caso del ensilado

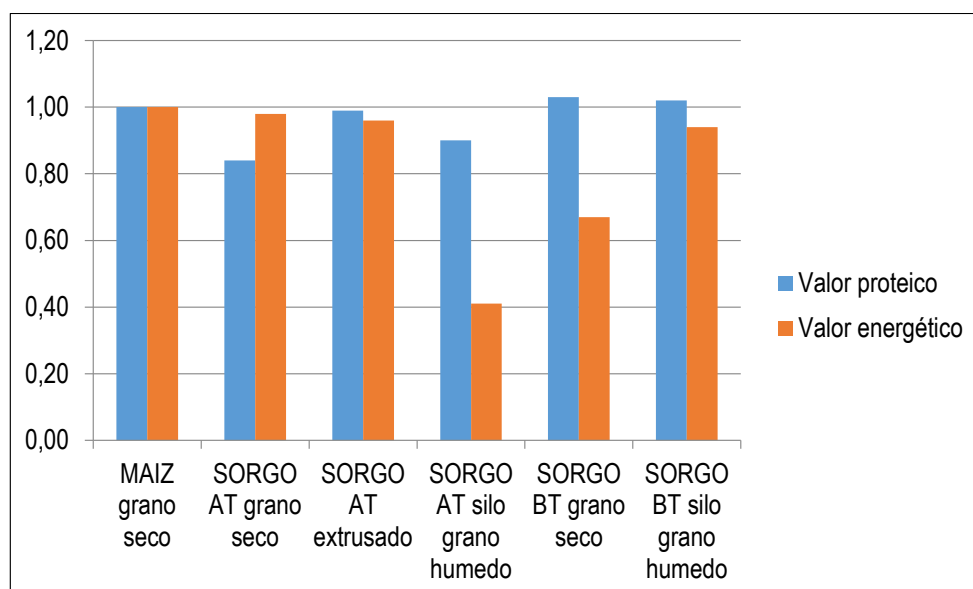
grano húmedo. Sin embargo, el aporte del grano seco no sigue la relación asociado al contenido de taninos que señala la ecuación desarrollada por FEDNA (2010b), cuya aplicación en el caso de nuestra muestra daría un valor de 3.75 Mcal/kg.

**Valor nutritivo con respecto al grano de maíz**

Cuando se compara el valor nutritivo de los alimentos evaluados con respecto al grano de maíz (gráfico III.1.1) se observa que el sorgo AT extrusado y el silo grano húmedo BT presentan prácticamente un aporte similar, resultados coincidentes con lo reportado por Macías *et al.* (2012) y Martínez *et al.* (2012). El proceso de extrusado implica un costo extra, que deberá ser tenido en cuenta al momento de decidir su utilización.

Considerando que el grano de sorgo tiene un precio de venta del 75% el del maíz, se puede plantear la posibilidad de su reemplazo por grano seco AT. Como lo señalan Moreira *et al.* (2013) se debe ser muy prudente en la generalización de algunas conclusiones con respecto al sorgo alto tanino, debido a la gran variabilidad en la composición entre cultivares. Para tener una respuesta definitiva sobre la factibilidad de esta sustitución se deberán realizar estudios complementarios de respuesta animal durante el periodo de engorde. Se debe tener en cuenta que el valor nutritivo no solo depende de la digestibilidad, sino también del valor biológico de su proteína, aspecto donde el sorgo es señalado también por tener un valor inferior al maíz, por las características de su principal proteína, la karfirina, como lo señalan Nyannor *et al.* (2007) y Liu *et al.* (2013). Se recomienda realizar un estudio complementario, mediante una prueba de respuesta productiva en el periodo de recría-terminación.

**Gráfica III.1.1.- Valor nutritivo con respecto al grano de maíz**



## CONCLUSIONES DEL ENSAYO

- El ensilado grano húmedo de sorgo bajo tanino realiza un aporte energético y proteico ligeramente superior al grano de maíz.
- El grano de sorgo bajo tanino, ofrecido como grano seco molido realiza un aporte energético superior al grano de maíz, pero su aporte proteico es inferior.
- El proceso de extrusado del sorgo común tiene un efecto favorable sobre su valor nutritivo, haciendo que su aporte sea similar al grano de maíz.
- El aporte nutritivo del sorgo AT grano seco utilizado fue un 3% inferior al grano de maíz, aspecto que podría ser compensado por su menor costo relativo.
- El ensilado de grano húmedo de sorgo alto tanino utilizado realizó un aporte nutritivo inferior al maíz y al resto de los sorgos evaluados para los cerdos, confirmando la importancia del grado de madurez fisiológica del grano para realizar el ensilado.

## III.2.-EFECTO DE INCLUIR SORGO BT, ARVEJA FORRAJERA Y EXPELLER DE CANOLA SOBRE EL APORTE NUTRITIVO DE DIETAS PARA CERDOS

### MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una prueba de digestibilidad fecal aparente y metabolismo proteico con cerdos en recría donde fueron evaluadas dietas isoproteicas e isoenergéticas, con niveles similares en los aminoácidos lisina, cistina y metionina, de acuerdo a las recomendaciones de la Tabla NRC (2012).

Se estudiaron 6 tratamientos:

- T1: (dieta testigo): maíz molido + harina de soja
- T2: En base a maíz, + 11 % de harina de soja + 23 % arveja + 12,5 expeller canola
- T3: En base a maíz, + 5 % de harina de soja + 30 % arveja + 16,3 expeller de canola
- T4: Sorgo bajo tanino + harina de soja
- T5: En base a sorgo BT, + 13 % de harina de soja + 13,5 % arveja + 15 % expeller canola
- T6: En base a sorgo BT, + 5 % de harina de soja + 35% arveja + 15,3 % expeller de canola

**Cuadro III.2.1:** Composición química de los alimentos utilizados (en base seca)

Alimento	Materia Seca % (*)	Cenizas% (*)	PC% (*)	FDN % (*)	EE% (*)	CHOs % (**)	EB Mcal/kg (***)
Maíz molido	87,9	1,41	9,29	13,21	5,23	70,86	4,53
Sorgo BT molido	88,37	0,95	7,59	6,27	4,66	81,48	4,54
Arveja	87,66	3,15	22,9	22,47	1,31	50,17	4,45
Exp. de Canola	89,6	6,73	42,25	46,35	1,43	3,24	4,58
Harina de Soja	88,81	6,07	47,22	21,98	2,4	22,33	4,73

(\*) Análisis realizado en el Laboratorio de Nutrición Animal de Facultad de Agronomía  
(\*\*) Calculado por diferencia entre la MS y el resto de las fracciones analíticas  
(\*\*\*) Estimado a partir de la proporción de fracciones analíticas y su calor de combustión

**Origen y características de los alimentos estudiados**

El grano de maíz, la harina de soja y el expeller de canola fueron adquiridos en plaza. El sorgo BT provino de las partidas adquiridas por ALUR para la elaboración de biocombustible. La arveja forrajera fue obtenida a través de la Cooperativa CALMER, de un socio que la produce con fines comerciales y para utilizar en su establecimiento.

La determinación de la composición química de los alimentos se realizó en el Laboratorio de Nutrición Animal de Facultad de Agronomía. Los resultados se presentan en el cuadro III.2.1.

**Animales**

Se utilizaron 24 cerdos machos, castrados, con un peso inicial de 43,43 (± 3,3) kg de peso vivo, de tipo genético uniforme (cruzamiento de las razas Large White, Landrace y Pietrain) provenientes de un criadero comercial, los que fueron mantenidos en igualdad de condiciones de alojamiento y alimentación hasta el comienzo del periodo experimental. Estos animales fueron asignados al azar a razón de 4 animales por tratamiento.

**Alojamiento**

Durante el periodo experimental los animales se ubicaron individualmente en jaulas de digestibilidad, de dimensiones ajustables que contaban con comedero frontal tipo batea, bebedero automático tipo chupete, piso de rejilla y, en la parte inferior, bandejas para recolección de heces y embudo para recolección de orina en un recipiente móvil.

**Alimentación**

El consumo de alimento se ajustó siguiendo las recomendaciones de Noblet y Shi (1993) para estas pruebas, utilizando el criterio de establecer un nivel similar de crecimiento potencial: 2,4 veces el requerimiento energético para mantenimiento, estimado en 106 Kcal de Energía Metabolizable (EM) por kg de Peso Metabólico Corporal (PMC), estimado como KPV 0.75 (KPV = kg de peso vivo). Se asume que la EM = 0.96 ED. El nivel de consumo se estableció de acuerdo al aporte nutricional de la dieta testigo; para los demás tratamientos se realizó el mismo aporte diario de materia seca (MS) y energía bruta (EB) por KPV que el testigo. Las raciones experimentales fueron elaboradas de una sola vez al inicio de la prueba. Las fórmulas porcentuales de las dietas y su composición química se presentan en el cuadro III.2.2.

**Cuadro III.2.2:** Composición de las dietas experimentales (Base fresca)

<b>Composición porcentual</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>
MAIZ	68,2	51	46	-----	-----	-----
SORGO BT	-----	----	=====	66,3	56,15	42
HARINA DE SOJA	29,1	11	5	31	13	5
ARVEJA	-----	23,15	30,0	-----	13,15	35
EXPELLER DE CANOLA	-----	12,15	16,3	-----	15	15,3
FOSFATO DICALCICO	2	2	2	2	2	2
NUCLEO VIT MIN	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
SAL	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
<b>Composición química</b>						
Proteína Cruda (%)*	18,03	18,12	18,11	18,06	17,98	17,76
FDN (%) *	16,78	19,14	20,2	13,71	18,62	21,35
Energía Bruta (Mcal/kg)**	3,89	3,8	3,83	3,81	3,82	3,79
Lisina % ***	0,97	0,98	0,98	0,97	0,96	1
Metionina + Cystina % ***	0,56	0,55	0,55	0,57	0,58	0,55
(*)Determinado por análisis en laboratorio de Nutrición Animal de FAgro						
(**)Estimado a partir de la composición química y el calor de combustión de las fracciones						
(***) Calculado a partir de información de composición de los alimentos de tablas FEDNA y su proporción en la dieta						

### **Manejo experimental**

#### **Etapa de acostumbramiento**

Se extendió por 7 días desde que los animales fueron ubicados en sus jaulas hasta el comienzo de la etapa de recolección. En esta etapa se realizaron los ajustes en las jaulas para lograr una adecuada contención de los animales, así como permitir la colecta de las heces y orina en forma eficiente y sin contaminaciones. Se evaluó la eficacia de la cantidad de HCl establecida previamente para mantener el pH de la orina recolectada en un valor de 3. Los animales fueron pesados al ser subidos a las jaulas a los efectos de ajustar la cantidad de alimento ofrecido. Los cerdos recibieron durante todo este período la dieta correspondiente al tratamiento asignado.

#### **Etapa de colecta**

Se extendió durante 5 días. La alimentación consistió en el suministro diario, en dos tomas iguales, de las cantidades de alimento definidas por animal en función de su peso vivo. Diariamente, en la mañana, se realizó recolección total de las heces excretadas por cada cerdo, las que fueron pesadas, colocadas en bolsas de nylon

identificadas y guardadas en freezer hasta la finalización del período de recolección. Se llevó registro diario por animal de las cantidades de alimento suministradas, los eventuales rechazos y la cantidad de heces y orina colectadas.

La orina excretada por cada animal, fue colectada en un recipiente colocado debajo de la jaula, frente al embudo correspondiente. A los efectos de evitar la pérdida de N en forma de amonio, en cada recipiente se colocaron 30 ml de ácido clorhídrico 5 N. Se guardó diariamente 10% de la orina emitida, en recipientes plásticos identificados con el N° de animal, de jaula y de tratamiento, que fueron mantenidos en freezer hasta el final del periodo de colecta.

#### **Manejo de las muestras recolectadas**

Las muestras de heces fueron descongeladas al finalizar la etapa de colecta, mezcladas constituyendo dos muestras compuestas que fueron secadas a estufa a 60°C, durante 72 horas. Al finalizar el secado se pesaron y molieron, conformando así la muestra para envío a laboratorio para determinar su composición química. Las muestras de orina se descongelaron, mezclaron en una muestra única que fue enviada a laboratorio para determinación de N.

**Análisis químico**

Los análisis fueron realizados en el laboratorio de Nutrición Animal de Facultad de Agronomía. En las muestras de heces secadas y molidas se realizaron las mismas determinaciones que en los alimentos ofrecidos: MS a 105°C, PC, EE, FDN y Cenizas; por diferencia se obtuvo el contenido de CHO solubles y por cálculo a partir de las concentraciones y los calores de combustión se estimó la EB. En la orina se obtuvo la concentración de N por unidad de volumen, obteniendo por cálculo el valor de N total excretado por animal durante el período experimental.

Cálculos realizados y parámetros determinados  
 A partir de la información de las cantidades de alimento consumidas y de la composición química se estableció la cantidad total y diaria promedio consumida de: MS, PC, FDN, CHOs y EB. Del mismo modo, a partir la cantidad de heces excretadas y su composición química se determinó la excreción total y media diaria de las mismas fracciones. A partir de la cantidad de orina emitida y su contenido en N se determinó la excreción urinaria total y media diaria de N. Con esta información se realizó el cálculo de digestibilidad aparente de las fracciones: MS, MO, PC y EB a través de la fórmula:

$$Dig\ ap\ \% = ((Cantidad\ consumida - cantidad\ excretada\ en\ heces) / Cantidad\ consumida) \times 100$$

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

Se determinó el valor biológico de la proteína y el valor proteico neto de las dietas en estudio.

$$Valor\ proteico\ Neto = ((N\ consumido - N\ en\ heces - N\ en\ orina) / N\ consumido) \times 100$$

$$Valor\ Biológico\ de\ la\ Proteína = ((N\ consumido - N\ en\ heces - N\ en\ orina) / (N\ consumido - N\ en\ heces)) \times 100$$

**Diseño estadístico**

Parcelas al azar con distribución factorial de los tratamientos. La unidad experimental estuvo constituida por un animal. El modelo corresponde a una variable aleatoria con distribución normal, con la siguiente fórmula general:  $\hat{Y}_i = \mu + E_i + P_j + EP_{ij} + \epsilon_{iep}$  siendo  $\hat{Y}_i$  la variable de respuesta;  $\mu$  la media poblacional;  $E_i$  el efecto de la *i*ésima fuente energética en estudio;  $P_j$  el efecto de la *j*ésima fuente proteica;  $EP_{ij}$  el efecto de la interacción entre los factores y  $\epsilon_{iep}$  el error experimental. Los resultados fueron analizados estadísticamente mediante prueba F con niveles de precisión del 1 y del 5%, realizando, en los casos de encontrar diferencias significativas, la comparación de medias mediante la prueba de mínimas diferencias significativas (MDS) a iguales niveles de significación.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Digestibilidad fecal aparente**

Los resultados de digestibilidad fecal aparente (DFA) de las distintas fracciones analíticas de las dietas estudiadas se presentan en el Cuadro III.2.3. Se registraron diferencias significativas ( $p \geq 0,05$ ) entre tratamientos para la DFA de materia seca y energía. La dieta T4 en base a sorgo BT y harina de soja tuvo un mejor aprovechamiento digestivo de estas fracciones, mientras que no se detectaron diferencias de los demás tratamientos entre sí.

**Cuadro III.2.3.- Digestibilidad Fecal Aparente por fracción**

TRATAMIENTO	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Dig. aparente de la MS (%)	86,13±2,83 a	86,96±2,05 a	85,05±2,05 a	91,47±1,56 b	87,93±3,69 a	88,99±1,93 ab
Dig aparente de la MO (%)	89,75±1,86	89,91±1,75	88,74±1,51	93,76±1,37	90,54±2,98	89,48±4,26
Dig. aparente de la PC (%)	83,97±3,13	86,1±2,70	83,08±2,99	88,03±2,78	84,72±4,65	85,65±1,91
Dig. Aparente de la Energía (%)	86,08±3,13 a	87,01±2,44 a	84,95±2,43 a	91,27±1,90 b	87,71±3,71 a	89,18±1,94 ab
Aa: medias seguidas de subíndices distintos difieren estadísticamente $P \leq 0.01$ y $0,05$ respectivamente						

**Cuadro III.2.4.-** Digestibilidad aparente por fracción según fuente energética

FUENTE ENERGETICA	MAIZ	SORGO BT	Nivel significación
Dig. aparente de la MS (%)	86,04±2,27 A	89,40±2,83 B	0,01
Dig aparente de la MO (%)	89,46±1,64	91,26±3,39	ns
Dig. aparente de la PC (%)	84,38±2,70	86,14±3,33	ns
Dig. Aparente de la Energía (%)	86,02±2,58 A	89,39±2,85 B	0,01
Aa: medias seguidas de subíndices distintos difieren estadísticamente P≤0.01 y 0,05 respectivamente			

**Cuadro III.2.5.-** Digestibilidad aparente por fracción según fuente proteica

FUENTE PROTEICA	Solo Soja	35% Sustitución	50% Sustitución	Nivel significación
Dig. aparente de la MS (%)	88,8±2,83 a	87,34±2,79 ab	87,02±2,80 b	0,05
Dig aparente de la MO (%)	91,75±2,63	90,23±2,29	88,80±2,99	ns
Dig. aparente de la PC (%)	86,00±3,13	85,41±3,60	84,36±2,70	ns
Dig. Aparente de la Energia (%)	88,68±3,67	87,36±2,93	87,07±3,04	ns
Aa: medias seguidas de subíndices distintos difieren estadísticamente P≤0.01 y 0,05 respectivamente				

No se observaron diferencias entre dietas para la digestibilidad de la MO y la PC. Estos resultados permiten reafirmar la tesis, sostenida por Macías *et al.* (2012) y Martínez *et al.* (2012) sobre la posibilidad biológica de sustituir totalmente al maíz por sorgo BT en dietas para cerdos en engorde. Por otra parte, también permite validar la viabilidad de sustituir hasta 30% de la harina de soja, en dietas para cerdos, por una combinación de arveja forrajera molida y expeller de canola, sin que se vea afectada la utilización digestiva. No se observó reducción de la digestibilidad de PC y MO por efecto del mayor contenido de FDN de la canola, que se refleja en un aumento de esta fracción en las dietas, como sostienen Seneviratne *et al.* (2010), Grageola *et al.* (2013) y Liu *et al.* (2014).

Cuando se analizan los resultados de DFA agrupados por tipo de alimento energético (Cuadro III.2.4) se observa que las dietas en base a sorgo BT se comportaron en forma superior ( $p \geq 0,01$ ) que las que utilizaron al maíz como grano de base. Esta mejor utilización digestiva de las dietas en base a sorgo BT con respecto a las dietas con maíz había sido observado en algunos casos por Gaviria Retrepo (2008) y Nyannor *et al.* (2007), pero en general la bibliografía se refiere a la inexistencia de diferencias entre la utilización digestiva de estos cereales (D'Alessandro *et al.*, 1997; Macías *et al.*, 2012; Liu *et al.*, 2013).

Se observaron diferencias significativas en la digestibilidad de la MS ( $p \geq 0,05$ ) cuando las dietas

se analizan en función de la fuente proteica (Cuadro III.2.5) disminuyendo la utilización digestiva al sustituir 83% de la harina de soja por la mezcla de arveja y expeller de canola. Este caso lo asociamos a la mayor concentración en FDN de las dietas cuando se incluye expeller de canola, que actúa deprimiendo la digestibilidad, como mencionan Grageola *et al.* (2013) y Maison y Stein (2014). Este efecto no se dio sobre la digestibilidad de la PC ni de la energía. La posible explicación a esta observación es que, en primer lugar, el nivel de inclusión de expeller se mantuvo por debajo del 15%, como recomiendan Seneviratne *et al.* (2010) y Trindade Neto *et al.* (2012) y por lo tanto no llegó a afectar la digestibilidad. En segundo lugar, se deben considerar las características de la fibra de la canola, con una importante proporción de fibra digestible, dado por su alto contenido en pectinas, como lo indican Mariscal-Landin *et al.* (2008) y FEDNA (2010a), que permitirían valores de digestibilidad superiores a lo esperado para el nivel de FDN.

Con respecto al efecto de la inclusión de arveja, el mismo estuvo por debajo de 40%, límite máximo recomendado por Hickling (2003) y Mathé *et al.* (2003) y que fue tomado como referente en el estudio realizado por Bauza *et al.* (2013) sin que se afectaran los valores de digestibilidad ni la performance de los cerdos.

Se plantea que sería posible sustituir hasta 83% de la harina de soja, en dietas para cerdos, por

una combinación de arveja forrajera y expeller de canola, respetando los límites de inclusión recomendados para estos alimentos, sin que se vea afectada la utilización digestiva de las mismas.

**Valor Proteico**

El valor proteico de las dietas, expresado como Valor Biológico Aparente de la Proteína y Valor Proteico Neto Aparente se presenta en el Cuadro III.2.6. No se observaron diferencias entre dietas para los indicadores analizados, como tampoco cuando se realiza la comparación agrupando los resultados de acuerdo a la fuente energética o proteica de la dieta (Cuadros III.2.7 y III.2.8).

En este caso, no se apreció el efecto negativo de la karfirina del sorgo sobre el valor proteico de la dieta, como fue señalado por Louis *et al.*, 1991; Nyannor *et al.*, 2007; Garín *et al.*, 2007; Tokach *et al.*, 2012 y Liu *et al.*, 2013. Sobre este punto se hace notar la mejora genética realizada en el sorgo, que ha favorecido sus condiciones nutritivas (Goodband y Tokach, 2016) y que el resultado observado es el producto de la interacción de los distintos componentes de la dieta.

Un aspecto que caracteriza la proteína de la canola es su bajo contenido en lisina y alto en aminoácidos azufrados (Rojo Gómez *et al.* 2001; González Vega y Stein, 2012; Eklund *et*

*al.* 2014), mientras que la arveja es rica en lisina y pobre en cistina y metionina (Perrot, 1995; Canibe y Eggum, 1997; Crevieu-Gabriel, 1999). Como lo habían planteado Bauza *et al.* (2013) la arveja forrajera realiza un importante aporte de lisina, pero su aporte en aminoácidos azufrados resulta insuficiente para cubrir las necesidades de los cerdos en crecimiento cuando se reduce o elimina la harina de soja, por lo que se plantea complementar a la arveja con el expeller de canola, alimento que presenta alta concentración en los mismos.

Estos resultados confirman la complementariedad nutricional de las proteínas de la arveja forrajera y el expeller de canola, aspecto sostenido por Raczy y Bell (1999), Kiarie y Nyachoti (2007) y Albar *et al.* (2001), confirmando que en la medida que se ofrezca a los animales en crecimiento dietas que realicen un adecuado aporte en los aminoácidos esenciales limitantes en estos alimentos, lisina y cistina/metionina, el valor de las mismas no se ve afectado.

Estos resultados, obtenidos respetando los niveles de inclusión surgidos de trabajos anteriores, permiten pensar en la factibilidad de sustituir un importante porcentaje de harina de soja de la dieta de cerdos en engorde por una combinación de arveja forrajera y expeller de canola sin que se afecte su valor proteico. Se plantea que se debería estudiar la sustitución total de la harina de soja por

**Cuadro III.2.6.- Valor Proteico de las dietas**

TRATAMIENTO	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Nivel significación
Valor Biológico de la Proteína (%)	55,71±5,67	56,11±5,83	58,33±5,13	55,11±6,32	60,42±1,61	55,85±2,13	ns
Valor Proteico Neto (%)	46,68±3,65	48,34±5,64	49,52±4,90	48,5±2,71	52,25±3,33	47,82±2,01	ns

**Cuadro III.2.7.- Valor Proteico según fuente energética**

FUENTE ENERGETICA	MAIZ	SORGO	Nivel significación
Valor Biológico de la Proteína (%)	56,72±4,73	57,13±3,71	ns
Valor Proteico Neto (%)	48,18±4,51	49,52±3,20	ns

**Cuadro III.2.8.- Valor Proteico según fuente proteica**

FUENTE PROTEICA	Solo Soja	35% Sustitución	50% Sustitución	Nivel significación
Valor Biológico de la Proteína (%)	55,41±4,84	58,27±4,53	57,09±2,87	ns
Valor Proteico Neto (%)	47,59±3,13	50,30±4,77	48,67±3,58	ns

una combinación de arveja y expeller de canola, manteniendo el aporte en aminoácidos esenciales en los valores recomendados para la categoría, incluso mediante aminoácidos sintéticos.

## **CONCLUSIONES DEL ENSAYO**

- Es posible la sustitución total del maíz en dietas para cerdos en engorde por sorgo de bajo tanino sin que vean afectados sus parámetros de digestibilidad y valor proteico.
- La sustitución de hasta 83% de la harina de soja como fuente proteica para cerdos en engorde por una combinación de expeller de canola y arveja forrajera, respetando los límites de

inclusión recomendados para estos alimentos, no modifica la digestibilidad ni el valor proteico de las dietas.

- Se recomienda continuar los estudios, remplazando la totalidad de la soja por una combinación de arveja y expeller de canola o incluyendo aminoácidos sintéticos que permitan cubrir los aportes establecidos para la categoría en estudio.
- Estos resultados deben ser corroborados mediante estudios de respuesta productiva de los animales, en términos de velocidad de crecimiento y eficiencia de conversión del alimento, asociados a su vez, al resultado económico.



## IV.-RESPUESTA PRODUCTIVA DE CERDOS EN ENGORDE A DIETAS CON ALIMENTOS ALTERNATIVOS AL MAÍZ Y LA SOJA

**Bauza, Roberto; Silva, Dalel; Bratschi, Cecilia; Barreto, Roberto**

Con el objetivo de evaluar las posibilidades de la utilización de dietas donde se sustituyen el maíz y la harina de soja por los alimentos evaluados en la Etapa I del proyecto que dieron los resultados más promisorios en aporte de nutrientes digestibles se realizaron dos pruebas de evaluación de respuesta productiva con cerdos en engorde. Los ensayos se realizaron en la Estación de Pruebas de Porcinos de la Granja de Sayago de Facultad de Agronomía, en los períodos comprendidos entre los meses de setiembre y diciembre de 2015, y entre abril y julio de 2016, respectivamente.

### IV.1.-RESPUESTA PRODUCTIVA DE CERDOS EN ENGORDE A LA SUSTITUCIÓN DE MAÍZ POR SORGO EN LA DIETA

#### MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron 5 dietas isoproteicas e isoenergéticas incluyendo sorgos de alto o bajo contenido de taninos condensados, presentados como grano seco molido o ensilado de grano húmedo, reemplazando total o parcialmente al maíz:

T1: dieta control en base maíz/soja

T2: grano de sorgo bajo en taninos en sustitución del maíz

T3: ensilado grano húmedo de sorgo bajo en taninos en sustitución del maíz

T4: ensilado grano húmedo de sorgo alto en taninos en sustitución del 50% del maíz

T5: grano de sorgo alto en taninos en sustitución del 50% del maíz

#### Origen y características de los alimentos utilizados

El maíz, la harina de soja y el sorgo grano de alto tanino fueron adquiridos en plaza. El sorgo de bajo tanino en grano fue obtenido de las partidas utilizadas por ALUR para la elaboración de biocombustibles. Los silos de grano húmedo de sorgo, de alto y de bajo tanino, fueron obtenidos de un productor lechero del departamento de San José, a partir de los silos elaborados para su utilización en el predio. La composición química de los alimentos utilizados se presenta en el Cuadro IV.1.1.

#### Animales

Se utilizaron 30 cerdos machos castrados de tipo genético y edad uniformes, provenientes de un criadero comercial, asignados al azar en 6 repeticiones por tratamiento, que fueron evaluados en el período 35 – 105 kg de PV.

**Cuadro IV.1.1.-** Composición química de los alimentos utilizados

%	MAÍZ	SORGO AT	SORGO BT	SILO SORGO AT	SILO SORGO BT	HARINA DE SOJA
MATERIA SECA (*)	87,92	83,97	85,58	64,61	70,65	85,86
% BASE SECA						
CENIZAS (*)	0,85	1,86	1,79	2,11	1,70	6,45
PROTEÍNA CRUDA (*)	8,38	9,21	8,27	8,94	8,73	53,57
FIBRA DETERGENTE NEUTRO (*)	15,20	19,32	17,71	32,37	22,90	13,37
EXTRACTO AL ÉTER (*)	4,03	1,49	2,65	1,95	3,30	1,8
ENERGÍA BRUTA (Mcal/kg) (**)	4,42	4,33	4,37	4,33	4,42	4,7
TANINOS CONDENSADOS (***)	-----	2,3	0,2	1,3	< 0,1	-----
(*) Análisis realizado en el Laboratorio de Nutrición Animal de Facultad de Agronomía						
(**) Estimado a partir de la composición química y el calor de combustión de las fracciones analíticas						
(***) Determinaciones realizadas en Laboratorio de Calidad de Granos de INIA-La Estanzuela						



### **Alojamiento**

Los animales fueron alojados durante todo el período experimental en bretes individuales, con comedero frontal tipo batea, disponiendo de agua potable a voluntad mediante bebederos automáticos tipo chupete.

### **Alimentación**

Se utilizaron 2 tipos de raciones experimentales: recría durante el periodo de 35 a 65 kg y terminación de 65 a 105 kg. Las raciones fueron formuladas para cubrir los requerimientos establecidos en las tablas NRC (2012) para las categorías correspondientes, teniendo en cuenta los aportes nutricionales de los alimentos en estudio, determinados en la anterior etapa de este proyecto y sus análisis químicos actuales. La

composición porcentual de las dietas utilizadas se presenta en los Cuadros IV.1.2 y IV.1.3.

Las raciones correspondientes a T1, T2 y T5 fueron elaboradas en su totalidad al comienzo de cada período a los efectos de mantener la uniformidad de composición durante el ensayo. Para las raciones de T3 y T4, se realizó una mezcla de los ingredientes secos a los que semanalmente se les adicionó la cantidad establecida de silo grano húmedo. Los granos ensilados fueron trasladados semanalmente desde el predio y mezclados con los componentes secos de la ración.

La ración fue suministrada ad libitum, reponiendo diariamente la cantidad de los comederos, llevando control semanal de consumo y rechazos.

**Cuadro IV.1.2.-** Composición de la ración de recría

<b>Ingredientes % base fresca</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>
Maíz	69,00	-----	-----	31,32	34,60
Sorgo Bajo Tanino	-----	68,50	-----	-----	-----
Sorgo Común	-----	-----	-----	-----	34,60
Silo grano húmedo sorgo Bajo Tanino	-----	-----	75,12	-----	-----
Silo grano húmedo sorgo común	-----	-----	-----	42,62	-----
Harina de soja	28,00	28,50	22,64	23,75	27,80
Núcleo concentrado	3,00	3,00	2,50	2,50	3,00
Costo \$ por kg de ración (base 90% MS)	8,41	7,54	7,54	7,83	7,83
Composición química base seca (*)					
Materia seca %	87,52	87,76	73,60	77,78	86,89
Cenizas %	5,09	5,11	4,88	4,91	4,84
Proteína Cruda %	21,45	21,06	22,03	21,59	21,53
Fibra Detergente Neutro %	13,55	14,32	14,92	15,41	14,85
Extracto al Eter %	2,61	2,56	2,25	2,71	2,89
Energía Bruta Mcal/kg MS (**)	4,42	4,41	4,42	4,43	4,43
Energía Digestible Mcal/kg MS (***)	3,66	3,62	3,61	3,60	3,63
(*) Análisis realizado en el laboratorio de Nutrición Animal de Facultad de Agronomía					
(**) EB estimada a partir de composición química y calor de combustión de las fracciones					
(***) ED estimada a partir de la ecuación de Noblet (1992) ED Kcal/kg MS = 949 + 0,789 * EB - 43 * C - 41 * FDN					

**Cuadro IV.1.3.-** Composición de la ración de terminación

<b>Ingredientes % base fresca</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>
Maíz	76,00	-----	-----	33,90	38,00
Sorgo Bajo Tanino	-----	75,00	-----	-----	-----
Sorgo Común	-----	-----	-----	-----	38,00
Silo grano húmedo sorgo BT	-----	-----	81,43	-----	-----
Silo grano húmedo sorgo común	-----	-----	-----	46,24	-----
Harina de soja	21,50	22,50	16,02	17,94	21,30
Núcleo concentrado	2,50	2,50	2,00	2,00	2,50
Costo \$ por kg de ración (base 90%MS)	7,83	7,25	6,67	7,54	7,54
Composición química base seca (*)					
Materia seca %	88,38	86,32	73,26	75,78	86,90
Cenizas %	5,79	6,16	5,15	6,34	5,51
Proteína Cruda %	19,89	19,40	19,30	19,37	19,10
Fibra Detergente Neutro %	11,63	12,12	12,95	11,23	11,56
Extracto al Eter %	2,54	1,79	1,87	1,77	2,18
Energía Bruta Mcal/kg MS (**)	4,36	4,30	4,35	4,29	4,34
Energía Digestible Mcal/kg MS (***)	3,67	3,58	3,63	3,60	3,67
(*) Análisis realizado en el laboratorio de Nutrición Animal de Facultad de Agronomía					
(**) EB estimada a partir de composición química y calor de combustión de las fracciones					
(***) ED estimada a partir de la ecuación de Noblet (1992) ED Kcal/kg MS = 949 + 0,789 * EB - 43 * C - 41 * FDN					

## Controles realizados

Semanalmente se realizó control de peso vivo de todos los animales, a primera hora de la mañana, previo al racionamiento. El mismo día se realizó el control de alimento consumido, mediante pesada del alimento ofrecido y rechazado durante el periodo semanal.

## Parámetros evaluados

Para cada etapa del periodo experimental (recrea y terminación) y para el total del mismo se determinó:

- tiempo para alcanzar peso de faena en días, velocidad de crecimiento (ganancia diaria) en gramos/día;
- consumo de alimento total y promedio diario de consumo; a los efectos de obtener información comparable entre tratamientos se realizó una corrección del alimento consumido a un valor estándar de 90% de MS;
- índice de conversión del alimento: cantidad de alimento consumido (en base 90% de MS) por kg de ganancia de peso;
- costo de alimentación por kg producido: calculado a partir de la composición química de cada ración experimental en base fresca, el costo de los alimentos dado por los valores publicados en el Boletín de Precios de la Cámara Mercantil de Productos del País (2016) y el índice de conversión en base fresca para cada tratamiento.

## Diseño experimental y análisis estadístico de los resultados

Se aplicó un diseño de parcelas al azar. La unidad experimental está constituida por un animal alojado individualmente. El modelo corresponde a una variable aleatoria con distribución normal, con la siguiente fórmula general:

$$Y_i = \mu + D_i + \varepsilon_{int}$$

siendo  $Y_i$  la variable de respuesta;  $\mu$  la media poblacional;  $D_i$  el efecto del  $i$ ésimo nivel de inclusión de alimento en estudio;  $\varepsilon_{int}$  el error experimental. Los resultados para cada uno de los parámetros en estudio y para cada etapa del período experimental fueron analizados

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

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición química de los alimentos utilizados (Cuadro IV.1.1) muestra que los granos secos se encuentran en los rangos normales de composición estandarizada para los mismos (FEDNA, 2010a). El contenido de taninos condensados en el sorgo AT lo ubica dentro de la categoría de contenido “medio”, representativo de los sorgos producidos comercialmente en Uruguay con destino a alimentación animal (Methol, 2017; Cuitiño y Vera, 2016) siendo similar al utilizado en la primera etapa de este proyecto para la determinación de aporte en nutrientes digestibles. Por su parte, el sorgo BT, proveniente de los cultivos realizados con destino a la elaboración de biocombustible para ALUR, presenta valores de composición química similares a los observados en el ensayo realizado para la determinación de aporte nutritivo.

La composición del silo de grano húmedo de sorgo BT fue similar a la del producto utilizado en el ensayo de referencia, mientras que el silo de sorgo AT presentó un contenido de humedad acorde a las recomendaciones de Scarpita (2008) para lograr un producto con adecuado aporte de nutrientes y potencial de conservación. El silo de grano húmedo de sorgo AT presenta un contenido menor de taninos condensados que el grano seco, aspecto atribuible al efecto del proceso de fermentación ocurrido.

La conservación del silo de grano húmedo de sorgo, de alto o bajo tanino, durante 7 días a temperatura ambiente, luego de retirado de las condiciones de anaerobiosis, no presentó dificultades particulares en los meses de primavera, pero se observó el inicio de procesos de alteración, como calentamiento y desarrollo de hongos, cuando la temperatura ambiente fue superior a los 20°C, al transcurrir el periodo de almacenamiento. Con estas observaciones es posible concluir que, tal como lo señalara Scarpitta (2008) este tipo de alimento tiene un tiempo limitado de conservación luego de retirado del silo anaerobio.

**Cuadro IV.14.-** Comportamiento productivo (\*)

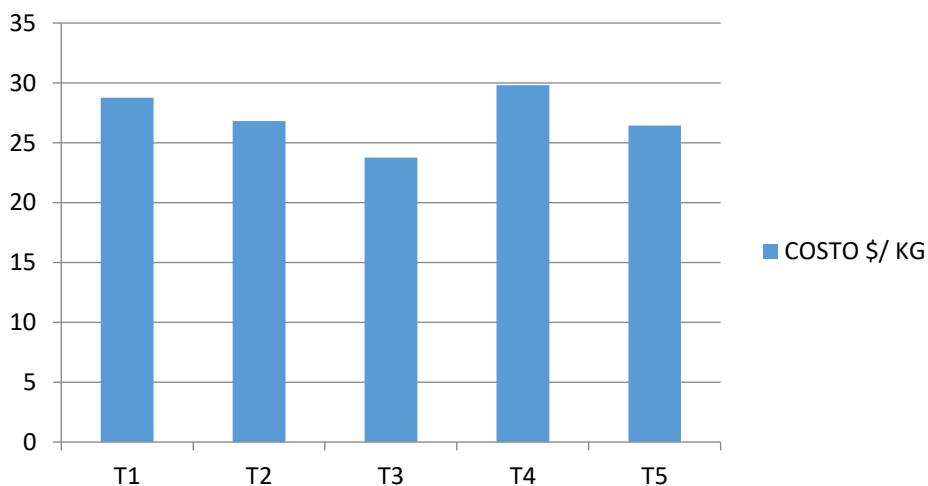
	T1	T2	T3	T4	T5	Valor de p
<b>Etapa de recría (35-65 kg)</b>						
Consumo diario (kg)	2,54 ± 0,39	2,45 ± 0,39	2,19 ± 0,19	2,65 ± 0,19	2,50 ± 0,33	0,1078
Ganancia diaria (g)	786 ± 75	771 ± 79	672 ± 88	738 ± 87	806 ± 45	0,3051
Índice de Conversión	3,24 ± 0,32	3,26 ± 0,51	3,28 ± 0,30	3,64 ± 0,54	3,10 ± 0,29	0,2284
<b>Etapa de terminación (65 – 105 kg)</b>						
Consumo diario (kg)	2,98 ± 0,19	2,93 ± 0,16	2,74 ± 0,14	2,91 ± 0,26	2,97 ± 0,34	0,3958
Ganancia diaria (g)	804 ± 82	740 ± 31	779 ± 77	731 ± 45	797 ± 77	0,4878
Índice de Conversión	3,75 ± 0,40	3,98 ± 0,35	3,48 ± 0,39	4,07 ± 0,33	3,74 ± 0,41	0,0936
<b>Período total (35 – 105 kg)</b>						
Consumo diario (kg)	2,67 ± 0,15	2,71 ± 0,23	2,46 ± 0,11	2,79 ± 0,15	2,74 ± 0,31	0,0861
Ganancia diaria (g)	797 ± 47	757 ± 84	725 ± 92	722 ± 61	799 ± 35	0,4632
Índice de Conversión	3,48 ± 0,20	3,69 ± 0,31	3,43 ± 0,35	3,88 ± 0,31	3,43 ± 0,34	0,0726
(*) Los resultados de consumo y conversión se expresan en kg de alimento corregido al valor estandarizado de 90% de materia seca.						

Los resultados de comportamiento productivo en las tres etapas consideradas, que se presentan en el Cuadro IV.1.4 muestran que no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en ninguno de los parámetros evaluados para el período de crecimiento/engorde. Estos resultados son coincidentes con observaciones realizadas por otros autores, quienes afirman que el sorgo BT presenta un valor nutricional similar al grano de maíz, pudiendo sustituir totalmente este grano en raciones para cerdos en cualquier etapa de su crecimiento (D'Alessandro *et al.* 1997; Garín *et al.* 2007; Chicarelli, 2012). Se observó una tendencia a menor consumo de MS del T3, que asociamos a su menor contenido en MS y que se refleja en la ganancia de peso diaria, al tiempo que tiende a mejorar el IC. A nivel de tendencias, la dieta en base a silo grano húmedo de sorgo BT presentó la mejor respuesta productiva, confirmando los resultados respecto a su elevado valor nutritivo mencionados en el punto III.2. El silo de grano húmedo constituye una interesante opción de almacenamiento del grano de sorgo, especialmente en el caso del BT, ya que la cosecha del grano se realiza en un momento donde es menos sensible al ataque de pájaros (Chessa, 2007; Chicarelli, 2012). Este sistema de conservación a su vez presenta la limitante de tener que ser utilizado en un plazo no mayor a una semana luego de ser retirado de las condiciones de anaerobiosis (Crenshaw *et al.*, 1986; Scarpita, 2008).

Con respecto al sorgo AT, sea en forma de grano seco molido o silo de grano húmedo, puede

sustituir hasta el 50% del maíz en las dietas de recría y terminación para cerdos, sin que se vean afectados los parámetros productivos, coincidiendo con los resultados obtenidos Goodband y Tockach (2016) y Pan *et al.* (2016). El silo de grano húmedo de sorgo AT utilizado en este ensayo tiene mejores características de calidad que el utilizado en el ensayo de digestibilidad, pero, de todos modos, es el tratamiento que tuvo, a nivel de tendencia, peor respuesta productiva, aún utilizado sustituyendo 50% del maíz, lo que lleva a poner en duda la conveniencia de su utilización como componente de dietas para cerdos en engorde. Contrariamente, dietas con sorgo AT presentado como grano seco molido, en sustitución del 50% del maíz, permite obtener resultados similares a la dieta testigo. D'Alessandro *et al.* (1997) y Garín *et al.* (2007) observaron que cuando se utiliza el sorgo AT como único cereal en la dieta de cerdos, el aporte nutritivo se ve reducido con respecto al maíz, lo que les permitió concluir que no es conveniente su sustitución total.

El costo de alimentación por kg producido, que se presenta en la Gráfica IV.1.1, muestra que con las dietas en base a grano de sorgo BT se logra un mejor resultado económico que cuando se utiliza al maíz como cereal de base de la dieta, presentando el menor costo de alimentación la alternativa de dietas basadas en silo de grano húmedo. Por otra parte, el silo de grano húmedo de sorgo AT, se presenta como la opción menos conveniente del punto de vista del costo de alimentación. Finalmente, cuando se sustituye al 50% del maíz por grano de sorgo AT seco molido, el costo de

**Gráfica IV.1.1:** Costo de alimentación por tratamiento

alimentación no difiere de las dietas que utilizan sorgo BT presentado como grano seco molido, por lo que esta opción de alimentación representa una alternativa válida para aplicar en los sistemas productivos.

## CONCLUSIONES DEL ENSAYO

- No se presentaron diferencias en la respuesta productiva de cerdos cuando el grano de maíz fue sustituido por sorgo BT, tanto en forma de grano seco como de silo grano húmedo.
- La sustitución del 50% del maíz por sorgo AT, en forma de grano seco o ensilado grano húmedo en dietas para cerdos en engorde no afectó la respuesta productiva.
- Las diferencias entre dietas se manifiestan en términos de los costos de alimentación por kg producido, dado el diferente precio de mercado de las materias primas.
- El costo de alimentación de los cerdos recibiendo dietas en base a sorgo BT, presentado como grano seco o como ensilado grano húmedo es inferior al de los que reciben la dieta basada en grano de maíz.
- El silo de grano húmedo de sorgo AT, sustituyendo al 50 % del maíz presentó la peor respuesta del punto de vista económico.

## IV.2.- RESPUESTA DE CERDOS EN ENGORDE A DIETAS CON SORGO BT Y EXPELLER DE CANOLA+ARVEJA SUSTITUYENDO EL MAÍZ Y LA SOJA

### MATERIALES Y METODOS

Se evaluaron 6 tratamientos, consistentes en dietas isoproteicas e isoenergéticas para cerdos en engorde donde el maíz y la harina de soja fueron parcial o totalmente remplazados por grano seco molido de sorgo bajo en taninos condensados y una mezcla de arveja forrajera y expeller de canola:

**T1:** maíz molido + harina de soja

**T2:** 50% de harina de soja de T1 + (arveja/expeller de canola)

**T3:** maíz molido + (arveja/expeller de canola)

**T4:** Sorgo BT + harina de soja

**T5:** 50 % de harina de soja de T4 + (arveja/expeller de canola)

**T6:** sorgo BT + (arveja/expeller de canola)

### Animales

Se utilizaron 36 cerdos machos castrados de tipo genético y edad uniformes, provenientes de

un criadero comercial, asignados al azar en 6 repeticiones por tratamiento, que fueron evaluados en el período 35 – 105 kg de PV.

### Alojamiento

Los animales fueron alojados durante todo el período experimental en bretes individuales, disponiendo de agua potable a voluntad mediante bebederos automáticos, mientras que el alimento fue ofrecido en bateas de hormigón.

### Alimentación

Se utilizaron 2 tipos de raciones experimentales por tratamiento: recría, durante el periodo de 35 a 65 kg, y terminación de 65 a 105 kg. Las raciones fueron formuladas para cubrir los requerimientos establecidos en las tablas NRC (2012) para las categorías correspondientes, teniendo en cuenta los aportes nutricionales de los alimentos en estudio, determinados en la prueba de digestibilidad realizada en el marco de este proyecto, presentados en el punto III, y sus análisis químicos actuales. Las características de los alimentos y la composición porcentual de las dietas utilizadas se presentan en los Cuadros IV.2.1; IV.2.2 y IV.2.3. Las raciones fueron elaboradas en su totalidad al comienzo de cada período a los efectos de mantener la uniformidad de composición durante el ensayo. Se realizó alimentación a voluntad, llevando registro de cantidades ofrecidas y rechazadas.

**Cuadro IV.2.1.** Composición química de los alimentos utilizados (Base seca)

%	MAIZ	SORGO BT	ARVEJA	EXPELLER CANOLA	HARINA DE SOJA
MATERIA SECA (*)	87,92	85,58	88.08	90.02	88.81
CENIZAS (*)	1,85	1,79	3.02	7.37	6,07
PROTEINA CRUDA (*)	8,38	8,27	21.03	37.74	47.22
FIBRA DETERGENTE NEUTRO (*)	15,20	17,71	20.65	36.81	21.98
EXTRACTO AL ETER (*)	4,03	2,65	2.75	3.62	2.40
ENERGIA BRUTA(Mcal/kg) (**)	4,44	4,37	4.51	4.60	4,73
TANINOS CONDENSADOS (***)	-----	0,2	-----	-----	-----
(*) Análisis realizado en el laboratorio de Nutrición Animal de Facultad de Agronomía (**) EB estimada a partir de composición química y calor de combustión de las fracciones (***) Análisis realizado en el laboratorio de Calidad de Granos de INIA La Estanzuela					

**Cuadro IV.2.2.-** Composición de la ración de recría

<b>Ingredientes % base fresca</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>
Maíz	67,00	57,00	48,00	-----	-----	-----
Sorgo Bajo Tanino	-----	-----	-----	66,00	56,00	47,00
Harina de soja	30,00	15,00	-----	31,00	15,00	-----
Arveja forrajera	-----	12,50	24,50	-----	13,00	25,00
Expeller de canola	-----	12,50	24,50	-----	13,00	25,00
Núcleo concentrado	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
<b>Composición química, base seca (*)</b>						
Materia seca %	88.93	88.85	89.72	87.98	87.61	89.09
Cenizas %	5.47	4.71	5.81	5.76	6.09	5.77
Proteína Cruda %	20.70	20.57	20.24	20.69	19.99	19.92
Fibra Detergente Neutro %	13.72	18.24	23.27	12.47	18.61	21.25
Extracto al Eter %	4.51	4.73	5.31	3.05	3.31	4.24
Energía Bruta Mcal/kg MS (**)	4.49	4.53	4.45	4.40	4.34	4.45
Energía Digestible Mcal/kg MS (***)	3.28	3.17	2.92	3.22	2.93	2.97
(*) Análisis realizado en el laboratorio de Nutrición Animal de Facultad de Agronomía (**) EB estimada a partir de composición química y calor de combustión de las fracciones (***) ED estimada a partir de la ecuación de Noblet (1992) $ED \text{ Kcal/kg MS} = 949 + 0,789 * EB - 43 * C - 41 * FDN$						
Costo de alimentos (\$/kg)	8,40	8,10	8,00	7,80	7,20	6,90

**Cuadro IV.2.3.-** Composición de la ración de terminación

<b>Ingredientes % base fresca</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>
Maíz	75,00	68,00	61,00	-----	-----	-----
Sorgo Bajo Tanino	-----	-----	-----	73,80	66,60	59,50
Harina de soja	22,50	11,50	-----	23,70	11,50	-----
Arveja forrajera	-----	9,00	18,25	-----	9,70	19,00
Expeller de canola	-----	9,00	18,25	-----	9,70	19,00
Núcleo concentrado	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
<b>Composición química base seca (*)</b>						
Materia seca %	87.15	87.40	85.39	86.67	85.20	86.48
Cenizas %	5.60	5.73	6.06	5.29	5.54	6.17
Proteína Cruda %	18.52	18.45	18.37	18.31	18.58	18.48
Fibra Detergente Neutro %	17.98	20.79	22.68	16.78	18.91	22.37
Extracto al Eter %	2.49	2.10	2.20	2.40	1.81	2.00
Energía Bruta Mcal/kg MS (**)	4.35	4.32	4.31	4.35	4.32	4.30
Energía Digestible Mcal/kgMS (***)	3.40	3.26	3.16	3.46	3.34	3.16
(*) Análisis realizado en el laboratorio de Nutrición Animal de Facultad de Agronomía (**) EB estimada a partir de composición química y calor de combustión de las fracciones (***) ED estimada a partir de la ecuación de Noblet (1992) $ED \text{ Kcal/kg MS} = 949 + 0,789 * EB - 43 * C - 41 * FDN$						
Costo de alimentos (\$/kg)	8,10	7,50	7,20	7,20	6,90	6,60



### Controles realizados

La ración fue suministrada diariamente ad libitum, llevando control semanal de ofrecidos y rechazos. Semanalmente se realizó control de peso vivo de los animales, a primera hora de la mañana, antes del racionamiento. Simultáneamente se realizó el control de alimento consumido, mediante pesada del alimento ofrecido y rechazado durante el periodo semanal.

### Parámetros evaluados

Para cada etapa del periodo experimental y para el total del mismo se determinó:

- tiempo para alcanzar peso de faena en días;
- velocidad de crecimiento en gramos/día;
- consumo de alimento total y promedio diario de consumo de alimento fresco
- índice de conversión del alimento: cantidad de alimento consumido por kg de ganancia de peso;
- costo de alimentación por kg producido: calculado a partir de la composición porcentual de cada ración experimental en base fresca, el costo de los alimentos determinado por sus valores publicados en el Boletín de Precios de la Cámara Mercantil de Productos del País (2016) y el índice de conversión en base fresca para cada tratamiento.

### Diseño experimental y análisis estadístico de los resultados

Se aplicó un diseño de parcelas al azar. La unidad experimental estuvo constituida por un animal alojado individualmente. El modelo corresponde a una variable aleatoria con distribución normal, con la siguiente fórmula general:

$$Y_i = \mu + D_i + \epsilon_{in}$$

siendo  $Y_i$  la variable de respuesta;  $\mu$  la media poblacional;  $D_i$  el efecto del  $i$ ésimo tratamiento;  $\epsilon_{in}$  el error experimental. Los resultados para cada

uno de los parámetros en estudio y para cada etapa del período experimental fueron analizados estadísticamente mediante prueba F con nivel de precisión del 1 y del 5%, realizando, en los casos de encontrar diferencias significativas, la comparación de medias mediante la prueba de mínimas diferencias significativas (MDS) a los mismos niveles de significación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el período de recría (cuadro IV.2.4) no se observaron diferencias significativas en el consumo diario de alimento entre tratamientos. Se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en el índice de conversión del alimento. Las dietas cuyo suplemento proteico fue la harina de soja presentaron los mejores índices de conversión, sin diferencias entre tipos de cereal de base. Se reafirma que el aporte nutritivo del sorgo de bajo tanino es similar al grano de maíz, aspecto que permite la sustitución entre cereales en función de la disponibilidad y los precios relativos entre ambos granos. Las dietas conteniendo expeller de canola y arveja, sustituyendo la mitad o la totalidad de la harina de soja, fueron menos eficientes que cuando se utilizó únicamente harina de soja, no presentando diferencias entre los valores de eficiencia de utilización del alimento entre ambos niveles de sustitución.

Con respecto a la velocidad de crecimiento, resultado del efecto conjunto del consumo de alimento y su eficiencia de utilización, se observaron diferencias entre tratamientos, siendo las dietas en base maíz/soja o sorgo/soja las que presentaron mayores ganancias de peso, sin diferencias entre ellas ( $p \leq 0,01$ ). Por otra parte, se observa una tendencia a menor ganancia de peso a medida que se incrementa la sustitución de harina de soja por la mezcla de expeller de canola y arveja, independientemente del cereal utilizado. En este sentido, la dieta en base a sorgo BT, con 50% de sustitución de la harina de soja, presenta valores de ganancia intermedios, no diferenciándose del resto de los tratamientos ( $p \leq 0,05$ ). De acuerdo con estos resultados, la mezcla de sorgo BT con expeller de canola/arveja remplazando la mitad de la harina de soja, es factible, sin afectar la ganancia de peso.

**Cuadro IV.2.4.-** Resultados de crecimiento en el período de recría (35 – 65 kg)

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Consumo diario (kg)	2,58 ± 0,29 Aa	2,64 ± 0,18 Aa	2,43 ± 0,19 Aa	2,60 ± 0,12 Aa	2,62 ± 0,31 Aa	2,66 ± 0,20 Aa
Ganancia diaria (g)	820 ± 72 ABab	713 ± 85 Bc	687 ± 93 Bc	853 ± 67 Aa	756 ± 87A Bbc	719 ± 38 Bc
Índice de Conversión	3,09 ± 0,32 Aa	3,50 ± 0,23 Ab	3,45 ± 0,54 Ab	3,06 ± 0,31 Aa	3,35 ± 0,48 Aab	3,61 ± 0,21 Ab

Aa: medias en la misma fila seguidas de igual subíndice no difieren estadísticamente ( $p \leq 0.01$  y  $0,05$  respectivamente)

En el período de terminación (Cuadro IV.2.5) no se observaron diferencias en el consumo diario de alimento entre tratamientos. El índice de conversión de las dietas cuyo suplemento proteico fue la harina de soja fue mejor ( $p \leq 0,05$ ) que aquellas donde hubo sustitución, parcial o total de la soja por la mezcla de arveja/canola. Con respecto a la velocidad de crecimiento, las dietas

con maíz o sorgo BT, suplementadas con harina de soja fueron superiores ( $p \leq 0,01$ ) a aquellas en que la mezcla arveja/canola la reemplazó en su totalidad. En el caso de la sustitución del 50% de la harina de soja por arveja/canola, los valores fueron intermedios, observando una mayor depresión de la ganancia en el caso que el cereal de base fue el sorgo BT.

**Cuadro IV.2.5.-** Resultados de crecimiento en el período de terminación (65 – 105 kg)

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Consumo diario (kg)	3,47 ± 0,28 Aa	3,49 ± 0,14 Aa	3,21 ± 0,10 Aa	3,48 ± 0,31 Aa	3,33 ± 0,12 Aa	3,50 ± 0,15 Aa
Ganancia diaria (g)	917 ± 86 Aa	824 ± 81 ABbc	749 ± 76 Bc	879 ± 40 Aab	779 ± 60 Bc	760 ± 60 Bc
Índice de Conversión	3,64 ± 0,31 Aa	4,01 ± 0,09 ABb	3,97 ± 0,27 ABab	3,71 ± 0,20 ABa	3,98 ± 0,27 ABab	4,13 ± 0,39 Bb

Aa: medias en la misma fila seguidas de igual subíndice no difieren estadísticamente ( $p \leq 0.01$  y  $0,05$  respectivamente)

**Cuadro IV.2.6.-** Resultados de crecimiento en el período total (35 – 105 kg)

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Consumo diario (kg)	3,07 ± 0,26 Aa	3,10 ± 0,12 Aa	2,85 ± 0,07 Aa	3,10 ± 0,26 Aa	2,95 ± 0,31 Aa	3,11 ± 0,31 Aa
Ganancia diaria (g)	876 ± 70 Aa	768 ± 84 ABb	718 ± 79 Bb	855 ± 62 ABb	757 ± 57 Bb	738 ± 45 Bb
Índice de Conversión	3,44 ± 0,24 Aa	3,81 ± 0,11 Ab	3,90 ± 0,37 Ab	3,47 ± 0,28 Aa	3,64 ± 0,33 Aab	3,86 ± 0,18 Ab

Aa: medias en la misma fila seguidas de igual subíndice no difieren estadísticamente ( $p \leq 0.01$  y  $0,05$  respectivamente)

En el período total de engorde (Cuadro IV.2.6), no se observaron diferencias entre tratamientos en el consumo diario de alimento, lo que es coherente con lo observado en cada uno de los períodos. La inclusión de expeller de canola no tuvo el efecto depresor del consumo mencionado por algunos autores, quienes lo atribuyen al gusto amargo provocado por los GLS (Seneviratne *et al.* 2010; Maupertuis *et al.* 2011; Okrouhla *et al.* 2012; Smith *et al.* 2014). En este caso, es posible que el tipo de canola utilizado en este ensayo, con muy reducido contenido de GLS no tuviera el sabor astringente que mencionan estos autores. Con respecto a la inclusión de arvejas, existían antecedentes de trabajos donde su inclusión en la dieta de cerdos no tenía efecto sobre el consumo (Hickling *et al.* 2003; Mathé *et al.* 2003; Bauza *et al.* 2013). Con respecto al consumo de las dietas con maíz o sorgo de bajo tanino, ya se había demostrado la inexistencia de diferencias entre ambos granos, al no existir el efecto de los taninos condensados (Goodband y Tokach, 2016).

Con respecto al Índice de Conversión, los tratamientos donde fue sustituida la harina de soja, total o parcialmente por la mezcla de arveja/canola presentaron diferencias ( $p \leq 0,05$ ) con respecto a las dietas basadas en grano/harina de soja, independientemente que éste sea maíz o sorgo BT, excepto en el caso del T5, cuya eficiencia fue similar a la combinación soja/cereal. Este efecto podría estar determinado por el menor aporte en Energía Neta del expeller de canola, como lo señalan Okrouhla *et al.* (2012), Smith *et al.* (2014) y Mejicanos *et al.* (2016), que sin embargo no se reflejó en un aumento del consumo como sería esperable. La otra causa posible es que el balance de la proteína dietética no alcanzó a cubrir el nivel de lisina disponible requerido por los cerdos en recría. Si bien el contenido de lisina

total de las dietas fue similar entre tratamientos, no se dispone de los niveles de disponibilidad de este aminoácido, que puede ser afectado por el procesamiento de los alimentos o por interacciones entre nutrientes, particularmente con la fibra, como lo mencionan Trindade Neto *et al.* (2012) y Maison y Stein (2014). Vistos estos resultados se plantea la conveniencia de evaluar dietas suplementadas con lisina sintética cuando se sustituye la totalidad de la harina de soja por expeller de canola.

La velocidad de crecimiento de las dietas donde se sustituyó completamente la harina de soja por la mezcla arveja/canola fue significativamente inferior ( $p \leq 0,01$ ) a las dietas con harina de soja, sin diferencias entre los cereales utilizados. En el caso de la sustitución del 50% de la harina de soja, los resultados de ganancia de peso fueron intermedios, pero significativamente inferiores ( $p \leq 0,05$ ) a las dietas en base cereal/soja. Las diferencias están directamente asociadas a la eficiencia de utilización de las dietas, ya que no hubo diferencias en el consumo. Estos resultados pueden deberse a diferencias en la digestibilidad o en la metabolicidad de las dietas. Con respecto a la digestibilidad, Seneviratne *et al.* (2010) y Trindade Neto *et al.* (2012) no observaron efectos negativos del expeller de canola hasta niveles de 15% de inclusión en la dieta. Existe información que indica que la calidad de la proteína del expeller de canola, fundamentalmente su menor contenido en lisina sea el determinante de las menores performances (Mejicanos *et al.* 2016), ya que la arveja forrajera no presentó limitaciones en su inclusión en las dietas de cerdos (Bauza *et al.* 2013). La interacción entre nutrientes es otra posible causa que estaría afectando la disponibilidad de la lisina y como consecuencia los resultados, como lo plantean Rojo Gómez *et al.* (2001), Maupertuis *et al.* (2011), Grageola *et al.* (2013) y Torres-Pitarch *et al.* (2014).

**Cuadro IV.2.7.-** Costo de alimentación por kg de ganancia (\$/kg)

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Recría	25,80±2,70 Aa	28,50±1,80 Aa	25,80±3,90 Aa	24,00±2,40 Aa	24,00±3,60 Aa	24,90±1,50 Aa
Terminación	29,40±2,40 Aab	30,00±0,60 Aa	28,50±1,80 Aabc	26,70±1,50 Ac	27,30±1,80 Abc	27,30±2,70 Abc
Período total	27,90±2,10 ABabc	29,70±0,90 Aab	28,20±2,70 ABab	26,10±2,10 Bbcd	25,20±2,40 Bd	25,50±1,20 Bcd

Aa: medias en la misma fila seguidas de igual subíndice no difieren estadísticamente ( $p \leq 0.01$  y 0,05 respectivamente)

Con respecto al costo de alimentación por kg de ganancia de peso, en el cuadro IV.2.7 se observa que considerando el período total del engorde las dietas incluyendo sorgo BT como cereal de base fueron significativamente menores ( $p \leq 0,01$ ) que las basadas en maíz, sin diferencias entre ellas. Se aprecia que el menor costo del sorgo BT se refleja en el resultado económico final, justificando la sustitución del maíz por este cereal. Del punto de vista del costo productivo, el menor costo de las raciones incluyendo expeller de canola y arveja compensa la menor eficiencia observada en esas dietas, resultando la mejor opción las raciones en base a sorgo BT y expeller de canola/arveja.

### CONCLUSIONES DEL ENSAYO

- Se confirma que el sorgo de bajo tanino presenta un valor nutritivo similar al del grano de maíz como alimento para cerdos en engorde.
- La sustitución de la mitad o la totalidad de la harina de soja por una mezcla de arveja/expeller de canola, provoca un efecto depresor de la respuesta productiva de los cerdos, tanto en su índice de conversión como en la velocidad de crecimiento.
- Los menores costos de los alimentos sustitutivos hacen que el costo de producción se vea significativamente reducido cuando se reemplaza al maíz por sorgo BT y a la harina de soja por arveja/canola, a pesar de la menor respuesta productiva obtenida cuando se sustituye a la harina de soja.
- Se sugiere continuar con la realización de ensayos evaluando dietas incluyendo aminoácidos sintéticos para ajustar el balance de la proteína dietética cuando se emplea expeller de canola en sustitución de harina de soja.

## **V.- CALIDAD DE CARCASA Y GRASA DE CERDOS RECIBIENDO DIETAS CON SORGO BT/ EXPELLER DE CANOLA SUSTITUYENDO AL MAÍZ/ HARINA DE SOJA**

**Bauza, Roberto; Barreto, Roberto; Silva, Dalei; Bratschi, Cecilia**

El objetivo general de este trabajo fue determinar el efecto de la sustitución del maíz y la harina de soja por sorgo y expeller de canola, respectivamente, en las dietas de cerdos sobre las características de la calidad del producto obtenido.

### **MATERIALES Y METODOS**

Se evaluaron las carcasas provenientes de cerdos recibiendo durante el período de engorde las siguientes dietas experimentales:

**T1:** Maíz/harina de soja (testigo)

**T2:** Grano de sorgo BT/harina de soja

**T3:** Silo de grano húmedo de sorgo BT/ harina de soja

**T4:** Maíz/silo grano húmedo de sorgo AT/harina de soja

**T5:** Maíz/grano de sorgo AT/harina de soja

**T6:** Maíz/ (expeller de canola/arveja)

**T7:** Grano de sorgo BT/ (expeller de canola/arveja)

### **Animales**

Se evaluaron las carcasas de 42 cerdos, asignados a razón de 6 animales por tratamiento, que habían recibido las dietas experimentales en el período de los 35 a 105 kg de peso vivo. Los cerdos eran de tipo genético uniforme, productos de un cruzamiento terminal conformado por el apareamiento de madres cruza Large White x Landrace por verracos cruza Landrace x Pietrain. Estos animales estuvieron alojados individualmente en los bretes de la Estación de Prueba de Porcinos de la Granja de Sayago de Facultad de Agronomía, mientras recibían la alimentación experimental.

### **Alimentación experimental**

Las dietas fueron formuladas de acuerdo a las recomendaciones del NRC (2012) para las categorías de engorde. En los cuadros V.1 y V.2 se presentan, respectivamente, la composición porcentual y química y el contenido de lípidos y la composición lipídica de las dietas utilizadas en el período de terminación. Las raciones fueron suministradas a voluntad durante todo el período experimental y se continuó con la misma dieta hasta el momento de traslado de los animales a faena.

**Cuadro V.1.-** Composición de las raciones experimentales

Ingredientes % base fresca	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Maíz grano molido	76,00	----	----	34,00	38,00	61,00	----
Sorgo BT grano molido	----	75,00	----	----	----	----	59,50
Sorgo AT grano molido	----	----	----	----	38,00	----	----
Sorgo BT silo grano húmedo	----	----	81,45	----	----	----	----
Sorgo AT silo grano húmedo	----	----	----	46,20	----	----	----
Harina de soja	21,50	22,50	16,55	17,80	21,50	----	----
Expeller de canola	----	----	----	----	----	18,25	19,00
Arveja grano molido	----	----	----	----	----	18,25	19,00
Concentrado Vit Min	2,50	2,50	2,00	2,00	2,50	2,50	2,50
Composición química base seca (*)							
Materia seca %	88,38	86,32	73,26	78,78	86,90	85,39	86,48
Cenizas %	5,79	6,16	5,15	6,34	5,51	6,06	6,17
Proteína Cruda %	19,89	19,40	19,30	19,37	19,10	19,24	19,58
Fibra Detergente Neutro %	11,63	12,12	12,95	11,23	11,56	22,68	23,25
Extracto al Eter %	3,52	2,96	2,55	3,21	2,98	3,53	3,24
Energía Bruta Mcal/kg MS (**)	4,41	4,36	4,38	4,37	4,39	4,39	4,38
Energía Digestible Mcal/kg MS (***)	3,70	3,67	3,57	3,66	3,69	3,20	3,27
(*)Análisis realizado en el laboratorio de Nutrición Animal de Facultad de Agronomía							
(**) EB estimada a partir de composición química y calor de combustión de las fracciones							
(***) ED estimada a partir de la ecuación de Noblet (1992) $ED \text{ Kcal/kg MS} = 949 + 0,789 * EB - 43 * C - 41 * FDN$							

**Cuadro V.2.-** Perfil lipídico de las raciones experimentales, % del total de ácidos grasos (\*)

Ácido graso	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
16:0 (palmítico)	12,25	13,26	13,81	13,71	14,16	10,15	10,30
16:1 n-7 (palmitoleico)	0,13	0,46	0,47	0,67	0,32	0,30	0,80
17:0 (margarico)	0,10	0,10	----	0,10	0,12	----	----
18:0 (esteárico)	2,47	1,97	1,64	2,74	2,44	1,80	2,20
18:1 trans (eláidico)	----	0,29	----	1,51	0,26	----	----
18:1 n-9 (oleico)	30,97	30,26	29,48	33,99	29,50	31,50	36,60
18:1 n-7 (vaccénico)	0,16	0,95	1,07	1,22	0,76	----	----
18:2 n-6 (linoleico)	50,65	47,41	49,87	41,95	46,86	48,00	36,70
18:3 n-3 ( $\alpha$ -linolénico)	1,72	2,09	2,34	2,01	1,76	4,27	4,70
20:0 (araquídico)	0,44	0,16	0,32	0,37	0,32	0,50	0,30
20:1 n-9 (eicosenoico)	0,19	0,16	0,15	0,17	0,18	0,30	0,30
% Ácidos grasos saturados (AGS)	16,13	17,37	16,01	17,47	19,21	13,20	13,20
% Ácidos grasos monoinsaturados (AGMI)	31,45	32,14	31,17	37,56	31,02	34,90	43,60
% Ácidos grasos poliinsaturados (AGPI)	52,37	49,50	52,21	43,96	48,62	50,20	41,40
Relación AGPI:AGS	3,25	2,85	3,26	2,52	2,53	3,80	3,14
Relación $\omega$ 6/ $\omega$ 3	29,45	22,68	21,31	20,87	26,63	11,15	7,81
(*) Análisis realizado en el Laboratorio de Grasas y Aceites de Facultad de Química							

### Faena y evaluación de carcasas:

Luego que los animales alcanzaron el peso de finalización de la prueba de comportamiento (105 kg de peso vivo) fueron trasladados en grupos de 10 animales por vez y faenados en Matadero ARDISTAR, ubicado en La Tablada, Montevideo. El peso promedio de faena fue de  $108,51 \pm 2,34$  kg.

### Mediciones y muestreos en planta de faena

Al final de la línea de faena, previo al ingreso a la cámara de frío, sobre la media res izquierda, colgada se midió con cinta métrica el largo de res (desde el borde anterior de la primer costilla al centro de la sínfisis pubiana); espesor de grasa dorsal (promedio de las mediciones sobre la línea media dorsal a la altura de los puntos correspondientes a última costilla y músculo Gluteus medius).

Se realizó un corte transversal sobre la media res izquierda a nivel de la última costilla, incluyendo el ojo del lomo, hueso y grasa subcutánea comprendidos en el bife o "costilla de cerdo" según su definición comercial. Sobre este corte se realizó calcado del área expuesta a fin de su posterior determinación de área.

Se retiraron muestras de grasa subcutánea sobre la línea dorsal de la media res izquierda, a nivel de la última costilla, siendo congeladas y enviadas al Laboratorio de Grasas y Aceites de Facultad de Química para determinación de perfil lipídico. Se retiraron muestras de músculo longissimus dorsii, que fueron congeladas y enviadas al Laboratorio de Grasas y Aceites de Facultad de Química, para determinar su contenido de grasa intramuscular.



Figura V.1.- Carcasas de cerdos evaluadas al acceso a la cámara de frío

### Características de calidad de carne

Mediante escaneado de las áreas calcadas en planta de faena y aplicando programa de determinación de áreas se establecieron las siguientes superficies: área del ojo del lomo (músculo longissimus dorsi), área correspondiente a la grasa subcutánea incluida en el bife y relación carne/grasa en el bife.

Se determinó el contenido de grasa intramuscular de las muestras de músculo Longissimus dorsi extraídas en planta de faena. Fue realizado en el Laboratorio de Grasas y Aceites de Facultad de Química, mediante extracción cuantitativa de los lípidos intramusculares de las carnes por Método de Folch (Hara y Radin, 1978).

### Determinaciones de perfil lipídico

Fueron realizadas en el Laboratorio de Grasas y Aceites de Facultad de Química mediante cromatografía de gases. La extracción de los lípidos se hizo a temperatura ambiente con hexano:isopropanol en proporción 3:2. La materia grasa extraída se derivatizó según la técnica IUPAC 2.301 para obtener los ésteres metílicos y luego se realizó el análisis por cromatografía de gases (según técnica AOCS Ce 1c-89, AOCS Ce 1f-96). Se utilizó un equipo marca Shimadzu modelo 14B, provisto con una columna capilar Supelco SP-2560.

A partir de los análisis de las muestras de grasa dorsal se evaluaron las relaciones entre ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados, expresados como porcentaje del total de ácidos grasos; y se estudió la concentración de los ácidos grasos esteárico, oleico, linoleico y linolénico para cada uno de los sistemas de alimentación evaluados

### Parámetros evaluados:

Con los datos de faena se evaluaron datos de caracterización de carcasas:

- largo de res (cm)
- espesor de grasa dorsal (mm)
- área del ojo del lomo (cm<sup>2</sup>)
- relación carne/grasa en el bife (%)

A partir de los perfiles lipídicos de las muestras de grasa dorsal se evaluaron:

- % ácidos grasos saturados (AGS)
- % ácidos grasos monoinsaturados (AGMI)
- % ácidos grasos poliinsaturados (AGPI)
- Relación AGPI:AGS
- Concentración de los ácidos grasos esteárico, oleico, linoleico y linolénico expresados como % del total de ácidos grasos
- Concentración de  $\omega 6$  y  $\omega 3$
- Relación  $\omega 6/\omega 3$

### Modelo y análisis estadístico

Se aplicó un diseño de parcelas al azar, siendo la unidad de observación cada animal o canal. El modelo ajustado corresponde a una variable aleatoria con distribución normal, con la siguiente fórmula general:  $y_{in} = \mu + D_i + \epsilon_{in}$  siendo:  $y_{in}$  la variable de respuesta;  $D_i$  el efecto del subproducto de soja utilizado;  $\epsilon_{in}$  el error experimental. Los resultados fueron analizados mediante la prueba F con nivel de precisión del 1 y del 5 %, realizando, en los casos de encontrar diferencias significativas, la comparación de medias mediante la prueba de mínimas diferencias significativas (MDS) a los mismos niveles de significación.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Características de carcasa

Las carcasas correspondientes al tratamiento 5 (sustitución del 50% del maíz por grano seco molido de sorgo de alto tanino) no pudieron ser evaluadas por razones asociadas a la logística del ensayo, sin embargo, se pudieron obtener y analizar las muestras de grasa dorsal de este tratamiento, por lo que se mantiene su inclusión en la descripción del trabajo.

En el cuadro V.3 se presentan los resultados obtenidos de características de las carcasas estudiadas. No se observaron diferencias significativas en el largo de las reses cuando el maíz fue sustituido por sorgo de bajo tanino, presentado como grano molido o como silo de grano húmedo, utilizando la harina de soja como único suplemento proteico. El mismo resultado se dio cuando se sustituyó al 50% del maíz por silo de grano húmedo de sorgo de alto tanino. Cuando se sustituye la totalidad de la harina de soja de la dieta por una combinación de expeller de canola y arveja, cuando el cereal fue sorgo de bajo tanino, no hubo diferencias en el largo con respecto al resto de las dietas; sin embargo cuando se utiliza



el maíz en combinación con expeller de canola y arveja las reses fueron significativamente más cortas que las provenientes del T1. Este resultado difiere de lo observado por Maupertuis *et al.* (2011) y Chrenková *et al.* (2011) y en este caso no puede atribuirse a diferencias en el potencial genético de los animales, como menciona Campion (2013) ya que todos son de la misma procedencia y época; la posible explicación es que los animales de este tratamiento tuvieron un mayor período de adaptación para iniciar un consumo regular de alimento, aspecto que pudo afectar el desarrollo inicial, lo que se tradujo finalmente en animales más cortos.

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos en el espesor de grasa dorsal. Los valores observados son mayores, en todos los tratamientos, con respecto a los obtenidos por otros autores como Braun *et al.* (2000) y Silva *et al.* (2006) en Argentina o Bauza *et al.* (2013) en Uruguay, quienes mencionan valores en el rango de 20 a 26 mm. El sistema de alimentación a voluntad utilizado en este ensayo y aspectos asociados al potencial genético de los animales utilizados pueden ser el origen de este mayor contenido de grasa observado, que sin embargo es menor a los valores mencionados por Barlocco *et al.* (2007) en animales con cruce Pampa o por Dobao *et al.* (1987) para cerdos ibéricos; estando muy próximos a los valores reportados por Petrocelli *et al.* (2003) en su trabajo de caracterización de las carcasas recibidas en las plantas de faena de Uruguay.

El área del ojo del lomo fue significativamente menor ( $p \leq 0.01$ ) en las carcasas provenientes de cerdos alimentados con silo de grano húmedo de sorgo de alto tanino en sustitución del 50% del maíz suplementado con harina de soja, seguido por las provenientes de dietas en base a sorgo bajo tanino, suplementado con expeller de canola y arveja. En valores absolutos, los mejores resultados de área del ojo del lomo provienen de las carcasas obtenidas con la dieta testigo en base a maíz y harina de soja. Este parámetro tiene gran importancia en el valor de las carcasas cuando son destinadas a consumo fresco, ya que se correlaciona negativamente con el contenido de grasa subcutánea, considerado como indeseable y determina el % útil aprovechable de la "costilla de cerdo", como se observa en el cuadro V.3. Tal como lo señala Hurnik (2004) el área del ojo del lomo está determinado por el potencial genético de los animales y a su vez su expresión depende del

balance proteico de las dietas, fundamentalmente el contenido en lisina disponible. Los resultados obtenidos de área de ojo del lomo de las carcasas provenientes del T1 se ubican en los valores mencionados en la bibliografía como normales para los cerdos mejorados genéticamente (Hurnik, 2004; Campion, 2013). Los menores valores de área del lomo obtenidos con dietas en base a silo de sorgo de alto tanino estarían asociado al menor contenido de proteína digestible de esta dieta. En el mismo sentido observamos que todas las dietas conteniendo grano de sorgo en sustitución del maíz presentan menor área del ojo del lomo, aspecto que se relacionaría con el menor contenido en lisina biodisponible de este cereal (Ward y

Souther, 1995; Tokach *et al.* 2012). La sustitución de la harina de soja por la mezcla de expeller de canola y arveja no afectó el área del lomo en la dieta en base a maíz, mientras que en la combinación con sorgo BT el resultado fue inferior, lo que nos permite inferir que el efecto se debió al cereal y no a la sustitución de la harina de soja.

Con respecto a los valores de área de grasa y contenido porcentual de carne en el bife, los valores siguen las mismas tendencias que el área de ojo del lomo. La importancia de resaltar estos valores se debe a que se considera que los mismos son los que determinan el rendimiento al consumidor "en el plato".

El contenido de grasa intramuscular fue significativamente mayor ( $\leq 0,01$ ) en las reses provenientes de las dietas T4 y T6. El valor observado para el tratamiento T4 está por encima del valor máximo admitido para su utilización por parte de Fernández *et al.* (1999). En el resto de los tratamientos el contenido de grasa intramuscular se ubica en el rango considerado deseable tanto para el consumo fresco como para su industrialización por Echenique (2007) y Campion (2013). El alto contenido de grasa intramuscular observado en el T4, se puede asociar al desbalance en la relación energía digestible/proteína digestible, dada la menor utilización de la proteína del sorgo de alto tanino.

### Perfil lipídico

En el cuadro V.4 se presentan los resultados de perfil lipídico de la grasa dorsal de las reses provenientes de los distintos tratamientos. Como se observa en dicho cuadro, no se detectaron

**Cuadro V.3.-** Características de carcasas y carne

	T1 = maíz/soja	T2 = grano sorgo BT/soja	T3= SGH sorgo BT/soja	T4 = maíz/SGH sorgo AT/soja	T5	T6 = maíz/ex. canola+arveja	T7 = sorgo BT /ex. canola+arveja
Largo de res (cm)	80,17 ± 2,32 Aa	78,50 ± 2,07 ABab	78,83 ± 1,33 ABa	79,83 ± 2,04 Aa	s/d	76,00 ± 2,76 Bb	78,58 ± 1,80 ABab
Espesor grasa dorsal (mm)	30,08 ± 2,85 Aa	27,95 ± 3,44 Aa	27,83 ± 2,44 Aa	31,42 ± 3,40 Aa	s/d	29,58 ± 2,08 Aa	26,13 ± 3,10 Aa
Area del ojo del lomo (cm <sup>2</sup> )	59,55 ± 5,41 Aa	51,84 ± 6,62 ABbc	52,06 ± 4,68 ABbc	45,40 ± 2,38 Cd	s/d	55,25 ± 6,56 Aab	50,02 ± 5,29 Bc
Area de grasa en el bife (cm <sup>2</sup> )	37,64 ± 2,16 Aa	39,71 ± 2,60 Aab	46,31 ± 3,84 ABb	47,58 ± 4,92 Bc	s/d		40,05 ± 3,28 Aab
42,16 ± 3,89 ABb							
% de carne en el bife	60,02 ± 4,24 Aa	57,45 ± 3,75 Aa	53,46 ± 3,58 Ab	51,08 ± 4,87 Bb	s/d	58,17 ± 4,52 Aa	57,09 ± 3,87 Aa
% de grasa intramuscular	2,94 ± 0,61 Bb	3,33 ± 0,53 Bb	2,77 ± 0,64 Bb	4,42 ± 0,32 Aa	s/d	3,51 ± 0,66 Aa	3,02 ± 0,49 Bb
Aa: medias en la misma fila seguidas de igual subíndice no difieren estadísticamente (p≤0.01 y 0,05 respectivamente)							

diferencias entre tratamientos en el contenido de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados.

Se observaron diferencias ( $P \leq 0.01$ ) entre tratamientos en el contenido de los ácidos grasos de la serie  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6. Las dietas con expeller de canola dieron origen a lípidos con mayor contenido en  $\omega$ 3, reflejando la concentración de ácido linoleico de las mismas. Este resultado coincide

con las observaciones de Bertol *et al.* (2013). Por otra parte, las concentraciones de  $\omega$ 6, tomadas en valores absolutos, son muy similares entre tratamientos, también reflejando la composición lipídica de la dieta de origen. Considerando la relación  $\omega$ 6/ $\omega$ 3, de mayor interés del punto de vista de la salud del consumidor, como lo establecen Bañón *et al.* (2000) y Apple *et al.* (2009) se observa que los mejores valores se obtienen a partir de las dietas incluyendo expeller de canola.

**Cuadro V.4.-** Perfil lipídico de la grasa dorsal

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
% de saturados	39,87 ± 2,39 Aa	39,55 ± 0,72 Aa	39,10 ± 1,59 Aa	39,51 ± 1,92 Aa	40,89 ± 1,60 Aa	39,95 ± 3,00 Aa	38,00 ± 3,98 Aa
% de monoinsaturados	49,28 ± 2,43 Aa	49,22 ± 0,67 Aa	49,96 ± 0,93 Aa	48,99 ± 1,33 Aa	46,36 ± 2,27 Aa	47,78 ± 1,66 Aa	50,18 ± 2,73 Aa
% de poliinsaturados	9,29 ± 0,71 Aa	9,47 ± 0,27 Aa	9,00 ± 1,48 Aa	9,71 ± 1,59 Aa	9,63 ± 1,62 Aa	10,83 ± 3,44 Aa	10,35 ± 4,32 Aa
Relación PUFA:SFA	0,23 ± 0,02 Aa	0,24 ± 0,01 Aa	0,23 ± 0,05 Aa	0,25 ± 0,05 Aa	0,24 ± 0,04 Aa	0,28 ± 0,11 Aa	0,28 ± 0,15 Aa
% de ácido esteárico (18:0)	13,02 ± 2,09 Aa	12,93 ± 0,78 Aa	12,43 ± 0,47 Aa	12,68 ± 0,75 Aa	14,30 ± 1,15 Aa	13,98 ± 2,10 Aa	13,50 ± 2,42 Aa
% de ácido palmítico (16:0)	24,97 ± 0,71 Aa	24,82 ± 0,23 Aa	24,78 ± 1,25 Aa	24,96 ± 1,42 Aa	24,73 ± 0,48 Aa	24,18 ± 0,98 Aa	22,83 ± 2,14 Aa
% de ácido oleico (18:1 n-9)	43,82 ± 2,06 Aa	43,55 ± 0,14 Aa	43,59 ± 0,89 Aa	43,04 ± 1,23 Aa	41,38 ± 2,58 Aa	42,45 ± 1,43 Aa	44,60 ± 2,09 Aa
% de ácido linoleico (18:2 n-6)	8,85 ± 0,41 AB b	8,73 ± 0,22 B b	8,08 ± 0,90 B b	8,73 ± 1,11 B b	8,93 ± 0,88 AB b	8,43 ± 0,88 B b	9,18 ± 3,90 A a
% de ácido linolénico (18:3 n-3)	0,45 ± 0,06 Aa	0,55 ± 0,06 ABC ab	0,53 ± 0,05 ABC ab	0,50 ± 0,08 ABC a	0,48 ± 0,10 AB a	0,63 ± 0,10 BC bc	0,68 ± 0,10 C c
Relación ω6/ω3	19,83 ± 1,65 Aa	15,93 ± 1,50 Bb	15,42 ± 1,60 Bb	21,46 ± 1,80 Aa	19,08 ± 1,94 ABa	13,60 ± 1,28 Bb	15,62 ± 1,44 Bb
Aa: medias en la misma fila seguidas de igual subíndice no difieren estadísticamente ( $p \leq 0.01$ y $0,05$ respectivamente)							

## CONCLUSIONES DEL ENSAYO

- La sustitución del maíz por sorgo de bajo tanino presentado como grano seco o silo grano húmedo en dietas para cerdos en engorde no provoca cambios en la composición de las canales ni en el perfil lipídico de la grasa dorsal

- La inclusión de silo de grano húmedo de sorgo de alto tanino en sustitución del 50% del grano de maíz afecta el contenido muscular de las carcasas, que se refleja en menor área del ojo del lomo y provoca un aumento en el contenido de grasa intramuscular.

- La sustitución de la harina de soja por una mezcla de expeller de canola y arveja forrajera en combinación con grano de maíz o grano de sorgo de bajo tanino no afecta las características de las carcasas de cerdos.

- El perfil lipídico de la grasa dorsal de cerdos recibiendo dietas donde se sustituye la harina de soja por una mezcla de expeller de canola y arveja forrajera en combinación con grano de maíz o grano de sorgo de bajo tanino presenta mayor contenido de ácidos grasos ω3, disminuyendo la relación ω6/ω3 con respecto a las dietas con harina de soja, aspecto considerado favorable a la salud cardiovascular de los consumidores.

## VI.- EVALUACION DE DIETAS CON ALIMENTOS ALTERNATIVOS AL MAIZ Y LA HARINA DE SOJA EN PREDIOS DE PRODUCTORES

**Bauza, Roberto; Silva, Dalel; Barreto, Roberto; Cardozo, Ana; Bollazzi, Ivanna; Rosas, Federico**

Se realizaron 4 ensayos en predios de productores ubicados en los departamentos de Rocha, Canelones, Salto y Tacuarembó con el objetivo general de validar los resultados obtenidos a nivel de estación experimental, evaluando alimentos alternativos al maíz (sorgo de bajo tanino o sorgo alto tanino extrusado) y a la harina de soja (expeller de canola suplementado con lisina sintética) en dietas para cerdos de engorde.

### MATERIALES Y METODOS

Las pruebas fueron realizadas en dos etapas: entre setiembre y diciembre de 2016, en predios ubicados en las proximidades de las localidades de Castillos y San Jacinto (etapa I); y entre abril y agosto de 2017 en predios de zonas próximas a las ciudades de Salto y Tacuarembó (etapa II). En todos los casos se trabajó con productores y técnicos vinculados a las respectivas Sociedades de Fomento Rural

#### Tratamientos

En ambas etapas se estudiaron 3 dietas para cerdos en recría-terminación.

#### ETAPA I

T1: testigo, dieta a base de maíz/harina de soja

T2: Sorgo BT / harina de soja

T3: Sorgo BT / harina de soja / expeller de canola/ lisina

#### ETAPA II

T1: testigo, dieta a base de maíz/harina de soja

T2: Sorgo BT / harina de soja/ expeller de canola/ lisina

T3: Sorgo extrusado / harina de soja

#### Animales

En cada ensayo se trabajó con 36 cerdos pertenecientes al productor, evaluados en el período de recría-terminación (35 – 105 kg), a razón de 12 animales por tratamiento. Los cerdos machos fueron castrados previo a su ingreso al período experimental. Todos los animales fueron identificados con caravana numerada.

#### Alojamiento

En todos los casos se utilizaron locales pertenecientes al productor acondicionados especialmente para cumplir las condiciones requeridas en este ensayo. Se utilizaron 12 bretes, cada uno disponía de un comedero batea y bebedero automático tipo chupete. En Castillos, San Jacinto y Tacuarembó se utilizaron locales de tipo semiabierto con solarío de piso de hormigón y área techada con piso de madera. En Salto se utilizó un galpón de engorde, con piso en cama profunda, techo de chapa y laterales con cortinas de plastillera, de altura regulable. En el interior de este galpón se realizaron divisiones de tablas para conformar los bretes requeridos. Los cerdos fueron alojados en lotes de 4 animales de peso uniforme por brete, a fin de disminuir la competencia. Por cada tratamiento fueron asignados al azar 3 bretes, siendo ésta la unidad experimental.



Foto VI.1: Castillos



Foto VI.2: San Jacinto



Foto IV.3: Salto



Foto VI.4: Tacuarembó

### Alimentación

Los cerdos fueron alimentados con ración de recría I desde su ubicación en los Bretes hasta el inicio del período experimental. Cuando los cerdos de un brete alcanzaron un peso promedio de 35 kg se dio comienzo a la etapa experimental, recibiendo la dieta asignada en función del tratamiento. Se dividió el periodo experimental en dos etapas: recría (de 35 a 65 kg) y terminación (de 65 a 105

kg), utilizando un tipo de ración para cada una. Las raciones fueron formuladas para ajustarse a los requerimientos nutricionales de la categoría, utilizando la mezcla de los alimentos indicados para cada tratamiento. Las respectivas composiciones porcentuales se presentan en los cuadros 1 y 2. La alimentación fue a voluntad, los cerdos dispusieron de ración durante todo el tiempo, evitando los sobrantes excesivos que impliquen alteraciones de su calidad nutricional.

**Cuadro VI.1.-** Composición de las raciones de recría

Ingredientes % base fresca	ETAPA I			ETAPA II		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Maíz	67,00	-----	-----	67,00	-----	-----
Sorgo Bajo Tanino	-----	66,00	63,70	-----	63,70	-----
Sorgo Alto Tanino Extrusado	-----	-----	-----	-----	-----	68,00
Harina de soja	30,00	31,00	15,50	30,00	15,50	29,00
Expeller de canola	-----	-----	17,60	-----	17,60	-----
Núcleo concentrado	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Lisina	-----	-----	0,20	-----	0,20	-----
Costo de alimentos (\$/kg)	7,72	7,09	6,93	7,72	6,93	8,66

**Cuadro VI.2.-** Composición de las raciones de terminación

Ingredientes % base fresca	ETAPA I			ETAPA II		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Maíz	75,00	-----	-----	75,00	-----	-----
Sorgo Bajo Tanino	-----	74,00	72,40	-----	72,40	-----
Sorgo Alto Tanino Extrusado	-----	-----	-----	-----	-----	75,50
Harina de soja	22,50	23,50	12,50	22,50	12,50	22,00
Expeller de canola	-----	-----	12,50	-----	12,50	-----
Núcleo concentrado	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Lisina	-----	-----	0,10	-----	0,10	-----
Costo de alimentos (\$/kg)	7,22	6,51	6,36	7,22	6,36	8,29

### Controles realizados

Los técnicos a cargo del proyecto realizaron visitas al predio cada 2 semanas. En esas visitas se realizó pesada individual de todos los animales y control de consumo de ración. El inicio del período experimental y de cada etapa, fue determinado por el peso promedio del lote de animales alojado en un mismo brete. El control de consumo de alimento se realizó en forma grupal, mediante pesada de la cantidad de ración ofrecida a cada lote de 4 animales y del sobrante luego de transcurrido un período de 14 días.

### Parámetros evaluados

A partir de la información recogida se calcularon, para cada etapa del ensayo (recría y terminación) y para el total del mismo

**Velocidad de crecimiento individual y grupal** (expresada en g/día), calculada por la diferencia

entre peso final y peso inicial, dividida por el número de días transcurridos.

**Consumo de alimento**, por lote de 4 animales, expresado en kg: promedio diario y total por período.

**Índice de conversión del alimento**, expresado en kg de alimento por kg de ganancia: relación entre el peso total ganado y la cantidad de ración necesaria para esa ganancia. Se determina el índice de conversión por lote de animales.

**Costo de alimentación por kg de cerdo producido**, calculado a partir de los costos de cada ración y su correspondiente índice de conversión.

La información correspondiente a cada brete fue agrupada y promediada por tratamiento, obteniendo un valor final por tratamiento para cada indicador.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los cuadros VI.3, VI.4 y VI.5 se presentan los resultados obtenidos en cada uno de los predios estudiados, para las etapas de recría, terminación y durante todo el periodo de engorde

**Cuadro VI.3.-** Resultados en etapa de recría

ETAPA I						
INDICADOR	PREDIO DE CASTILLOS			PREDIO DE SAN JACINTO		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Ganancia diaria (g)	967	857	879	545	532	529
Indice de conversión (kg/kg)	2,69	3,15	3,25	4,01	4,44	3,94
ETAPA II						
INDICADOR	PREDIO DE SALTO			PREDIO DE TACUAREMBO		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Ganancia diaria (g)	930	926	963	680	678	586
Indice de conversión (kg/kg)	2,78	2,83	2,56	4,34	4,79	4,99

**Cuadro VI.4.-** Resultados en terminación

ETAPA I						
INDICADOR	PREDIO DE CASTILLOS			PREDIO DE SAN JACINTO		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Ganancia diaria (g)	952	1014	963	595	588	567
Indice de conversión (kg/kg)	4,04	4,02	3,52	5,65	5,11	5,58
ETAPA II						
INDICADOR	PREDIO DE SALTO			PREDIO DE TACUAREMBO		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Ganancia diaria(g)	979	994	1029	620	620	648
Indice de conversión (kg/kg)	3,11	3,22	3,29	6,48	5,98	6,39

**Cuadro VI.5.-** Resultado periodo total

ETAPA I						
INDICADOR	PREDIO DE CASTILLOS			PREDIO DE SAN JACINTO		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Ganancia diaria (g)	968	951	923	572	558	539
Indice de conversión (kg/kg)	3,33	3,57	3,43	4,78	4,80	4,73
Costo alimento/kg ganado (\$)	24,75	24,13	22,64	35,51	32,48	31,22
ETAPA II						
INDICADOR	PREDIO DE SALTO			PREDIO DE TACUAREMBO		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Ganancia diaria (g)	950	957	993	654	646	619
Indice de conversión (kg/kg)	2,97	3,02	2,91	5,58	5,62	5,93
Costo alimento/kg ganado (\$)	22,08	19,94	24,58	41,47	37,10	50,11

Para cada uno de los predios y en ambas etapas no existieron diferencias en las performances biológicas entre los tres tratamientos estudiados, lo que nos permite reafirmar que del punto de vista biológico el sorgo de bajo tanino o el sorgo de alto tanino extrusado pueden sustituir al grano de maíz sin afectar el resultado productivo de cerdos en engorde. Por otra parte también se comprueba que es posible sustituir sin inconvenientes el 50% de la harina de soja por expeller de canola suplementado con lisina sintética.

Del punto de vista de respuesta económica, el menor costo relativo del sorgo de bajo tanino con respecto al maíz, así como del expeller de canola con respecto a la harina de soja, hace que las raciones con estos alimentos resulten económicamente más convenientes. Por su parte, el proceso de extrusado del sorgo con alto tanino, si bien biológicamente lo mejora sustancialmente en su aporte nutritivo, implica un aumento en su costo (al menos en las condiciones de la realización del ensayo) que encarecen su resultado productivo por encima del tratamiento testigo.

En los cuadros de resultados se observan importantes diferencias entre predios, no atribuibles a las raciones utilizadas, sino al resto de los componentes del sistema productivo: potencial genético de los animales, condiciones sanitarias y de crecimiento en el período previo al ensayo; así como aspectos asociados al manejo diario de los animales durante el ensayo. Otro punto a

señalar como fuente de diferencias entre predios es la eficiencia en el sistema de suministro de alimento: cuando existe pérdida de comida de las bateas por algún problema de diseño, la misma pasa a engrosar el costo de alimentación, independientemente de si fue o no consumida por los animales

## CONCLUSIONES DEL TRABAJO

- Se confirman a nivel de predio los resultados obtenidos en prueba de estación
- El sorgo de bajo tanino es un buen sustituto potencial para el grano de maíz
- El tratamiento de extrusado del sorgo de alto tanino mejora su valor nutritivo permitiendo obtener niveles de respuesta productiva similares al maíz
- El costo del proceso de extrusado puede ser una limitante a su empleo
- El expeller de canola suplementado con lisina sintética puede reemplazar hasta el 50 % de la harina de soja sin modificar la respuesta productiva, disminuyendo el costo de alimentación.
- La respuesta a la alimentación, siendo un importante elemento del costo de producción, está condicionada por el resto de los factores que componen el sistema productivo



## VII.- CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES DEL PROYECTO

Se comprueba que existen disponibles en Uruguay alimentos potencialmente sustitutivos del maíz y de la harina de soja, cuya utilización en la práctica estará condicionada por la relación de precios en el momento de formular las raciones.

El sorgo de bajo tanino, presentado como grano seco molido o como silo de grano húmedo puede reemplazar eficientemente la totalidad del grano de maíz en raciones para cerdos en engorde, sin que se afecten los indicadores productivos ni la calidad de la carcasa.

Se debe tener en cuenta que actualmente en las plantas de silos no se diferencian los tipos de sorgos almacenados, siendo mezclados indiscriminadamente granos con diferentes contenidos de taninos y, por lo tanto, con distinto valor nutritivo. Por lo tanto para que un productor de cerdos pueda acceder al sorgo de bajo tanino lo deberá adquirir directamente en chacra, al momento de la cosecha o realizar algún acuerdo de abastecimiento con un productor.

El ensilado de grano húmedo de sorgo, de alto o bajo tanino se presenta como una forma de procesamiento y almacenamiento con gran potencial en la producción porcina, en la medida que los silos sean realizados en el predio del criadero, para facilitar su accesibilidad al momento de elaborar las raciones. Se debe ser muy cuidadoso en el respeto de las condiciones para lograr un ensilado de calidad nutritiva y capacidad de conservación.

La elaboración de ensilados de grano húmedo requiere contar con un equipamiento adecuado para ello, lo que no es posible en todos los puntos del país, siendo particularmente accesible en las zonas con alto número de productores lecheros, donde la utilización de este alimento es una técnica corriente e implantada.

El proceso de extrusado en húmedo del grano de sorgo de alto tanino permite mejorar su valor nutritivo, que se iguala al del grano de maíz. Se trata de un proceso que implica un alto costo

energético y que en Uruguay aún se realiza en muy pequeña escala, por lo que se vuelve un producto relativamente caro y cuyo resultado de utilización en condiciones de producción no resulta económicamente ventajosa, a pesar de los buenos resultados productivos logrados.

El expeller de canola disponible en Uruguay tiene un valor nutritivo para cerdos en engorde ligeramente inferior al de la harina de soja, dado por su mayor contenido en fibra que afecta su digestibilidad y el menor contenido en lisina, que reduce su valor proteico. Teniendo en cuenta estas limitantes se recomienda no sustituir más del 50% de la harina de soja por expeller de canola y suplementar las raciones con lisina sintética para igualar los aportes en este aminoácido.

La utilización del expeller de canola en las condiciones indicadas permite reducir el costo de alimentación de los cerdos en el período de engorde.

Las dietas conteniendo expeller de canola permiten obtener carcasas con mayor valor nutritivo para el consumo fresco, al modificar el perfil lipídico, con una mejor relación en los ácidos grasos  $\omega 6/\omega 3$ . Se confirma que la arveja forrajera es un alimento con alto potencial nutritivo, siendo un buen complemento nutricional para el expeller de canola en dietas para cerdos en engorde, pudiendo sustituir hasta el 70% de la harina de soja sin que se vean afectadas las performances.

El cultivo de arveja forrajera no se ha desarrollado comercialmente en nuestro país debido a algunas limitantes del punto de vista agronómico asociadas a las características del suelo requeridas.

La evaluación de las dietas en condiciones de campo, en predios de productores confirma los resultados obtenidos en estación, en cuanto al valor nutritivo de las combinaciones de alimentos evaluados.

Se debe resaltar que el resultado productivo y económico final es determinado por el sistema de producción en su conjunto, siendo la alimentación un componente más del mismo, que muchas veces resulta sobrevaluado en su incidencia.

## VIII.- BIBLIOGRAFIA

**Acurero G, Alvarado L, Alvarez R, Capó E, Garbati S.** 1991.- Determinación de los coeficientes de digestibilidad in vivo de las harinas de batata y de yuca y del sorgo en cerdos. *Zootecnia Tropical*, 9(2): 145 – 163.

**Aguerre M, Cajarville C, Repetto JL.** - 2015.- Impact of water addition, germination, ensiling and their association on sorghum grain nutritive value. *Animal Feed Science and Technologie* 205, 75–81.

**Al-Rabadi GJ, Torley PJ, Williams BA, Bryden WL, Gidley MJ,** 2011. Effect of extrusion temperature and pre-extrusion particle size on starch digestion kinetics in barley and sorghum grain extrudates. *Animal Feed Science and Technologie*. 168, 267–279.

**Albar J, Chauvel J, Granier R.**- 2001.- Incidence du taux de tourteau de colza sur les performances de post-sevrage et d'engraissement. *Journées de la Recherche Porcine*. 33: 197 – 203.

**Alonso R, Grant G, Dewey P, Marzo I.**- 2000.- Nutritional assesment *in vitro* and in vivo of raw and extruded peas (*Pisum sativum*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48: 2286 – 2290.-

**Apple JK, Maxwell CV, Galloway DL, Hutchison S, Hamilton CR.** - 2009. - Interactive effects of dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine: I. Growth performance and longissimus muscle fatty acid composition. *Journal of Animal Science* 87:1407-1422.

**Araiza-Piña A, Cervantes-Ramirez M, Morales-Maldonado A, Espinoza-Santana S, Torrentera-Olivera N.**- 2003.- Digestibilidad ileal aparente de aminoácidos en sorgo, maíz y trigo en dietas para cerdos en crecimiento. *Agrociencia*. 37:221-229.

**Arcari MA, Martins CMMR, Tomazi T, dos Santos MV** -2016.- Effect of the ensiling time of hydrated ground corn on silage composition and in situ starch degradability. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, São Paulo, 53-1: 60-71.

**Association of Official Analytical Chemists (AOAC).**- 1997.- *Methods of Analysis*, Gaithersburg, MD, USA, 16th ed, 3rd revision. Bauer, Bach Knudsen KE, Hedemann MS, Lærke HN. -2012.- The role of carbohydrates in intestinal health of pigs. *Animal Feed Science and Technologie*. 173 (2012) 41– 53.

**Bañón S; Granados M V; Cayuela J M; Gil M D; Costa E; Garrido M D.**- 2000.- Calidad de la grasa obtenida a partir de cerdos magros. *Anales Veterinarios (Murcia)*. 16: 77 – 88.

**Barcellos L C, Furlan A C, Murakami A E, da Silva M A A, da Silva R M.** -2006.- Avaliação nutricional da silagem de grãos úmidos de sorgo de alto ou de baixo conteúdo de tanino para frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 35:104-112.

**Bariffi H.**- (2002).- Consideraciones generales sobre el cultivo de arveja proteica. *INTA. Balcarce*. 2p.

**Barlocco N, Carballo C, Vadell A.**- 2007.- Rasgos de comportamiento productivo y características de canal de tres biotipos de cerdos en condiciones de producción a campo. *Agrociencia Uruguay. Volumen Especial, IX Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos*: 35 – 38.-

**Barros F, Awika JM, Rooney LW.**- 2012. Interaction of tannins and other sorghum phenolic compounds with starch and effects on *in vitro* starch digestibility. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 0:11609–11617.

**Bauer E, Williams BA, Voigt C, Mosenthin R, Verstegen MWA.**- 2001.- Microbial activities of faeces from unweaned and adult pigs, in relation to selected fermentable carbohydrates. *Animal Sciences*. 73, 313–322.

**Bauzá R, Barreto R, Bratschi C, Silva D, Tejero B.**- 2016.- Digestibilidad fecal aparente de partidas de sorgo con diferentes contenidos de taninos, sometidos a distintas tecnologías de procesamiento en cerdos. *Agrociencia Uruguay*, 20, 1:79-89.

**Bauza R, Capra G, Brastchi C.**- 2013.- Evaluación de la arveja forrajera como alimento para cerdos en engorde. *Agrociencia uruguay*.17 (2) 91-98.-

- Bell J M.**- 1984.- Nutrients and toxicans en rapeseed meal: A review. *J. Anim. Sci.* 59: 996 – 1010.-
- Berti A.** - 2009.- La harina de colza ¿Nueva alternativa para la alimentación animal en Uruguay? *Almanaque Banco de Seguros del Estado.*- 178 -181.-
- Bertol TM, De Campos RML, Ludke JV, Terra NN, De Figueiredo EAP, Coldebello A, Dos Santos JI, Kawski VL, Lehr NM.**- 2013.- Effects of genotype and dietary oil supplementation on performance, carcass traits, pork quality and fatty acids composition of backfat and intramuscular fat. *Meat Science.* 93: 507-516.
- Bhat TK, Kannan A, Birbal Singh, Sharma OP.**- 2013.- Value addition of feed and fodder by alleviating the antinutritional effects of tannins. *Agricultural Research.* 2:189-206.
- Bourdon D, Aumaitre A.**- 1990.- Low-glucosinolate rapeseeds and rapeseeds meals: effect of technological treatments on chemical composition, digestible energy content and feeding value for growing pigs. *Animal Feed Science and Technology,* 30: 175 - 191
- Bourdon D, Perez JM.**- 1982.- Premiers résultats sur la valeur énergétique et azotée des pois proteagineux de printemps. *Journées de la Recherche Porcine.*Journées de la Recherche Porcine.14:261-266.
- Brambillasca S, Zunino P, Cajarville C.**- 2015.- Addition of inulin, alfalfa and citrus pulp in diets for piglets: Influence on nutritional and faecal parameters, intestinal organs, and colonic fermentation and bacterial populations. *Animal Feed Science and Technologie.* 178: 243-250.
- Braun RO.**- 2001.-Utilización del grano de sorgo tratado por procesos hidrotérmicos en dietas destinadas al crecimiento y engorde de cerdos. XVII Congreso Latinoamericano de Producción Animal (ALPA) y VI Encuentro Regional de Nutrición y Producción de Especies Monogástricas. Vol. 9, Supl. 1: 1521-1525. La Habana. 2001.
- Braun RO, Cervellini JE, Esteves Leyte R.**- 2000.- Calidad de las reses de cerdos mejorados alojados en pistas al aire libre. *Revista Facultad de Agronomía UNLPam.* 11 (1): 43 – 48.-
- Braun RO, Pataccini GE, Scoles GE, Cervellini JE.**- 2007.- Productividad y calidad de grasa corporal en cerdos alimentados con cereales crudos y extruídos. *Archivos de Zootecnia.* 56 (215): 299 – 308.
- Braun RO, Pataccini, GE.**- 2013.- Evaluación de ácidos grasos en las carcasas de cerdo alimentados con sorgo termoprocesado durante el crecimiento y la terminación. [En línea] En: *Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam.* 28 (1): 25-35. Consultado en agosto 2017. Disponible en <http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pubpdf/rev-agro/v23n1a03braun.pdf>-
- Caine WR; Aalhus JL; Dugan MER; Lien KA; Larsen IL; Costello F; McAllister TA; Stanford K; Sharma R.**- 2007.- Growth performance, carcass characteristic and pork quality fo pigs fed diets containing meal from conventional or glyphosate-tolerant canola. *Canadian Journal of Animal Science.* 87: 517-526.-
- Cámara Mercantil de Productos del País.** [En línea] En: *Boletines semanales de precios.* <http://www.camaramercantil.com.uy/softis/documentos/dl/boletines/Se>
- Canibe N, Eggum B.**- 1997.- Digestibility of dried and toasted peas in pigs. 2: Ileal and total tract digestibility of amino acids, protein and other nutrients. *Animal Feed Science and Technology.* 64: 311 – 325.-
- Campion D S.**- 2013.- Calidad de la carne porcina según el sistema de producción. Trabajo final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. En línea: Disponible en <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/calidad-carne-porcina-produccion.pdf>. Consulta julio 2017.

**Capra G, Salle L, Cozzano S, Nardo D, Martínez Borche R, Márquez R, Luzardo S, Brito G, De Souza G, Costas G.**- 2017.- Valor nutritivo de la carne de cerdo producido en Uruguay. En línea. Disponible en: <https://www.engormix.com/porcicultura/articulos/valor-nutritivo-carne-cerdo-t41156.htm>. Consulta en agosto 2017

**Carrasco P.** -1990.- Sorgo. Cátedra de cereales y cultivos industriales. Rep. N° 530. EEMAC-Facultad de Agronomía, UdelaR, Uruguay.

**Castell AG, Guenter W, Igbasan .A.**- 1996.- Nutritive value of peas for non-ruminant diets. *Animal Feed Science and Technology*. 60: 209 – 227.

**Chalking D, Brasesco R.**- 2003.- Ensilaje de grano húmedo: una alternativa promisorio. [En línea] En: Sitio Argentino de producción Animal. Consultado en diciembre 2014. Disponible en [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)

**Chessa A.**- 2015.- El lugar actual y futuro del sorgo granífero en la producción de la gran zona agrícola de Argentina. 8pp

**Chicarelli D.**-2012.- Uso de sorgo en alimentación porcina. En Simposio de sorgo de AIANBA. [En línea] En: sitio CIAP. Consultado en noviembre 2014. Disponible en: <http://www.ciap.org.ar/ciap/Sitio/Materiales/Produccion/Aspectos%20Nutricionales/Alimentacion%20de%20cerdos%20con%20sorgo%20granifero.pdf>.

**Chrenková M, Formelová Z, Chrastinová L, Feak P, Ceresňáková R, Lahucky R, Poláčíková M, Bahelka I.**- 2011.- Influence of diets containing raw or extruded peas instead of soybean meal on meat quality characteristics in growing-finishing pigs. *Czech. J Anim. Sci.* 56 (3): 119-126. En línea. Disponible en: <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/36594.pdf>. Consulta en Agosto 2017.-

**Classen HL, Ebsim S, Newkirk RW.**- 2010.- Use of canola and pea in animal feeding: a Canadian perspective. In: XXVI curso de especialización FEDNA. Madrid. Pp 1 – 10.-

**Cohen RS, Tanksley TD.**- 1973.- Energy and protein digestibility of sorghum grains with different endosperm textures and starch types by growing swine. *Journal of Animal Science*. 37: 931 – 935.-

**Cone JW, Jongbloed AW, Van Gelder AH, de Lange L.**- 2005.- Estimation of protein fermentation in the large intestine of pigs using a gas production technique. *Animal Feed Science and Technology*. 123–124, 463–472.

**Cousins BW, Tanksley TD, Hnabe DA, Zebrowska T.** - 1981. - Nutrient digestibility and performance of pigs fed sorghums varying in tannin concentration. *Journal of Animal Science*. 53: 1524 - 1537.-

**Crenshaw JD, Peo ER, Lewis AJ, Schneider NR.**- 1986.- The effects of sorbic acid in high moisture sorghum grain diets on performance of weanling swine. *Journal of Animal Science*. 63: 831 – 837.

**Creveu-Gabriel I.** - 1999.- Digestion des protéines végétales chez les monogastriques. Exemple des protéines de pois. *INRA Productions Animales*. 12 (2): 147 – 161.-

**Cuitiño MJ, Vera M.**- 2016.- Efecto de los taninos condensados en el rendimiento de sorgo granífero. *Revista INIA-Uruguay*. 44: 20-24.-

**Curbelo A.**- 2010.- Ensilaje de granos de sorgo con diferente contenido en taninos: efecto sobre la composición química, degradabilidad ruminal, digestibilidad intestinal y fermentescibilidad. MSc Tesis. Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. 99p.

**D'Alessandro J, Barlocco N, Peinado MR, Garin D.**- 1997.- Digestibilidad, balance nitrogenado y energía de granos de sorgo alto y bajo en taninos en cerdos. *Revista Argentina de Producción Animal* Vol. 17, Sup. 1.

**De Haer LCM, De Vvries AG.** 1993. Feed intake patterns of and feed digestibility in growing pigs housed individually or in groups. *Livestock Production Science*, 33(1-3): 277 – 292.

**DIEA.** 2016. Anuario estadístico agropecuario 2016. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Dirección de Estadísticas Agropecuarias, Uruguay. En línea. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/unidad-ejecutora/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/publicaciones/anuarios-diea/anuario2016> (fecha de consulta: 1/7/017)

- Dobao MT, Rodrigáñez J, Sillio L, Toro MA, de Pedro E, García de Siles JL.**- 1987.- Crecimiento y características de canal en cerdos ibéricos, Duroc-Jersey x Ibérico y Jiaying x Ibérico. Anales INIA 1987: Investigación Agraria: Producción y Sanidad Animal 2(1): 9 – 23. En línea. Disponible en [http://www.uco.es/ispg/archivos/documentos/Documentos/Ficha%2003%20AnalesINIA%201987%20r\(1\).pdf](http://www.uco.es/ispg/archivos/documentos/Documentos/Ficha%2003%20AnalesINIA%201987%20r(1).pdf) Consulta en Setiembre 2017.
- Domanski C, Giorda LM, Feresin O.** - 1997.- Composición y calidad del grano de sorgo. EEA INTA Manfredi. Cuaderno de Actualización no. 7:78-50.
- Dransfield E, Nute GR, Mottram D, Rowan T, Lawrance T.**- 1985.- Pork quality from pigs fed low glucosinolate rapeseed meal: influence of level in the diet, sex and ultimate pH. Journal of Sciences of Food and Agriculture. 36: 546 – 556.-
- Echenique A.**- 2007.- Efecto de la alimentación sobre la calidad de la carne y la grasa del cerdo. Memorias del IX Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos. Montevideo, Uruguay: 55 – 63.
- Eckert TE, Allee GH.**- 1974.- Limiting amino acids in milo for the growing pig. Journal of Animal Science. 39: 694-698.
- Eklund M, Caine WR, Sauer WC, Huang GS, Diebold G, Schollenberger M.**- 2012.- True and standardized ileal digestibilities and specific ileal endogenous recoveries of crude protein and amino acid in soybean meal, rapeseed meal and peas fed to growing pigs.- 2012. [En línea] En Livestock Science 145 (1-3): 174–182. Consultado en octubre 2015. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2012.01.016>
- Errea E, Souto G, Ruiz M.**-2013. Cadena Porcina: análisis de competitividad y temas tecnológicos prioritarios. Informe de Consultoría. INIA Las Brujas.
- Englyst HN, Kingman SM, Cummings J H.**- 1992.- Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. European Journal of Clinical Nutrition. 46:33-50.
- Etuk EB, Ifeduba AV, Okata UE, Chiaka I, Okoli CI, Okeudo NJ, Esonu BO, Udedibie ABI, Moreki JC.**- 2012.- Nutrient Composition and Feeding Value of Sorghum for Livestock and Poultry: a Review. Journal of Animal Science Adv. 2(6):510-524
- Evers A D, Blakeney A B, Brien L O.**- 1999.- Cereal structure composition. Australian Journal of Agricultural Research. 50: 629-650
- FEDNA.**- 2010.- Tablas Fedna Composición de alimentos. [En línea] En: Valor nutritivo. Consultado en noviembre 2014. Disponible en: [http://www.fundacionfedna.org/ingredientes\\_para\\_piensos/sorgo-blanco-bajo-en-taninos.-](http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/sorgo-blanco-bajo-en-taninos.-)
- FEDNA.** 2010. Tablas Fedna Composición de alimentos. Valor nutritivo. [En línea] En: Sorgo blanco procesado por calor. Consultado en noviembre 2014. Disponible en: [http://www.fundacionfedna.org/ingredientes\\_para\\_piensos/sorgo-blanco-procesado-por-calor.-](http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/sorgo-blanco-procesado-por-calor.-)
- Fekete J, Castaing J.**- 1987.- Utilisation de sorgos a diferentes teneurs en tannins par le porcelet sevre. Journées de la Recherche Porcine.19: 327-332.
- Garín D, Barlocco N, D’Alessandro J.**- 2007.- Digestibilidad de granos de cereales en cerdos en terminación. Agrociencia. Volumen Especial IX Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos, Montevideo, 2007: 93 -95.-
- Gaviria Retrepo JC.**- 2008.- Importancia del tratamiento de las materias primas. [En línea]. En Agroterra. Consultado en setiembre 2014. Disponible en: <http://www.agroterra.com/blog/profesionales/75774>.
- Giuberti G, Gallo A, Cerioli C, Masoero F.**-2012.- *In vitro* starch digestion and predicted glycemic index of cereal grains commonly utilized in pig nutrition. Animal Feed Science and Technologie. 174:163-173.
- Giuberti G, Gallo A, Masoero F.**- 2011.- Plasma glucose response and glycemic indices in pigs fed diets differing in *in vitro* hydrolysis indices. Animal. 6:1068-1076.

- Giuberti G, Gallo A, Masoero F, Ferraretto LF, Hoffman PC, Shaver RD.**- 2014.- Factors affecting starch utilization in large animal food production system: A review. *Starch*. 66:72–90.
- Gollcher AM R, de Freitas Lima ET, de Lima R R.**- 2010.- Nutritional value of high and low tannin high-moisture sorghum grain silage in horses. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 39:1246-1251.
- Gómez-Soto JG, Aguilera A, Escobar García K, Mariscal-Landín G, Reis de Souza T.**- 2015.- Efecto del nivel de taninos del sorgo y del día postdestete sobre algunas características morfofisiológicas del aparato digestivo de lechones.- *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 23 (2): 63-70.-
- González-García UA, Corona L, Castrejón-Pineda F, Balcells J, Castelan O, Gonzalez-Ronquillo M.**- 2016.- A comparison of processed sorghum grain using different digestion techniques. *Journal of Applied Animal Research*. 46: 1-9.
- González-Vega JC, Steina HH.**- 2012.- Amino acid digestibility in canola, cottonseed and sunflower products fed to finishing pogs. *Journal of Animal Science*. 90: 4391 - 4400.-
- Goñi I, Garcia-Alonso A, Saura-Calixto F.**- 1997.- A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*. 17, 427–437
- Goodband B, Tokach M.**- 2016. Feed value benefits of sorghum for swine. [En línea] En: *Swine Feeding Guide*. Consulta febrero 2016. Disponible en [http://www.sorghumcheckoff.com/assets/media/pdfs/2016\\_09\\_02\\_SwineFeedingGuide.pdf](http://www.sorghumcheckoff.com/assets/media/pdfs/2016_09_02_SwineFeedingGuide.pdf)
- Grageola F, Landero JL, Beltranena E, Cervantes M.**- 2013.- Energy and amino acid digestibility of expeller-pressed canola meal and cold-pressed cake in ileal-cannulaed finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 186: 169-176.-
- Grosjean F, Castaing J.**- 1984.- Comparaison de sorgos français a différents teneurs en tannins dans l'alimentation du porc charcutier. *Journées de la Recherche Porcine*. 18: 301 – 306.-
- Grosjean F, Williate-Hazouard I, Jondreville C, Peyronnet C.**- 1998.- Variabilité de la valeur alimentaire du pois pour les porcs, en liaison avec le milieu de production et les techniques culturales. *Journées de la Recherche Porcine*.30: 231-237.
- Hamaker BR, Mohamed AA, Habben JE, Huang CP, Larkins BA.**- 1995.- Efficient procedure for extracting maize and sorghum kernel proteins reveals higher prolamin contents than the conventional method. *Cereal Chemistry*. 72:583–588.
- Hancock JD, Hines RH, Gugle TL.**- 1992.- Extrusion of sorghum soybean meal and whole soybean improves growth performance and nutrient digestibility in finishing pigs. *Journal of Animal Science*. 70, 64.
- Hara A, Radin NS.**- 1978.- Lipid extraction of tissues with a low-toxicity solvent. *Annals of Biochemistry*.90(1):420-6.
- Healy B J, Hancock J D, Kennedy G A, Bramel-Cox P J, Behnke K C, Hines R H.**- 1994. Optimum particle size of corn and hard and soft sorghum for nursery pigs. *Journal of Animal Science*.72:2227-2236.
- Hickling D.**- 2001.- Pasta de canola. Guía para la industria del pienso. Ed. Canadá Council, Canada.
- Hickling D.**- 2003.- Guía de la arveja canadiense para la industria forrajera. Ed. Pulse Canadá, Winnipeg, Manitoba. 35p
- Hill TM, Schmidt SP, Russell RW, Thomas EE, Wolfe DF.**- 1991.- Comparison of urea treatment with established methods of sorghum grain preservation and processing on site and extent of starch digestion by cattle *Journal of Animal Science*. 69:4570-4576.
- Hoffman PC, Esser NM, Shaver RD, Coblenz WK, Scott MP, Bodnar AL, Schmidt RJ, Charley RC.**- 2011.- Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-protein matrix in high-moisture corn. *Journal of Dairy Science*. 94-5: 2465-2474.
- Htoo JK, Meng X, Patience JF, Dugan M, Zijlstra R.**- 2008.- Effects of coextrusion of flaxseed and field pea on the digestibility of energy, ether extract, fatty acids, protein and amino-acids in grower-finisher pigs. *Journal of Animal Science*. 86: 2942 - 2951.-

- Hurnik D.**- 2004.- Loin eye size and what factors drive it?. The pig site. En línea. Disponible en: <http://www.thepigsite.com/articles/1110/loin-eye-size-and-what-factors-drive-it/> Consulta en setiembre 2017.-
- Huntington GB.**- 1997.- Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *Journal of Animal Science*.75:852-867.
- INIA/INASSE.**- 2012. Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de sorgo granífero. [En línea] En: Instituto Nacional de Semillas, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Consultado en octubre 2013. Disponible en: [http://www.inia.org.uy/convenio\\_inase\\_inia/Evaluacion\\_CV/Ano2011/PubSorgoGraniferoPeriodo2011.pdf](http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_CV/Ano2011/PubSorgoGraniferoPeriodo2011.pdf)
- INRA (2004).**-Tables of composition and nutritional value of feed materials. 2nd Edition. Sauvant, Perez and Tran. 304pp.
- Jezierny, D.; Mosenthin, E.; Bauer, E.** 2010.- The use of grain legumes as a protein source in pig nutrition: A review.- *Animal Feed Science and Technology*. 157: 111 – 128.
- Jha R, Bindelle J, Rossnagel B, Van Kessel A, Letermen P.**- 2011.- *In vitro* evaluation of the fermentation characteristics of the carbohydrate fractions of hulless barley and other cereals in the gastrointestinal tract of pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 163:185-193.
- Jenkins DJA, Wolever TMS, Taylor RH, Barker H, Fielden H, Baldwin JM.**- 1981.- Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *American Journal of Clinical Nutrition*. 34, 362–366.
- Kemm EH, Brand .S.**- 1996.- Grain sorghum as an energy source for growing pigs. *Pig News and Information*. 17 (3): 87N – 89N.
- Kiarie E, Nyachoti CM.** - 2007.- Ileal digestibility of aminoacids in co-extruded peas and full fat canola for growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*.139139139: 40 – 51.51.51.-
- Kim IH, Cao H, Hancock J D, Park J, Li D F.**- 2000. Effects of processing and genetics on the nutritional value of sorghum in chicks and pigs - Review-. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 13:1337-1344.
- Knabe DA, Tanksley TD.** - 1982. - Organic acid-preserved high moisture sorghum for growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*. 55: 745 – 751.-
- Kraler M, Schedele K, Domig KJ, Heine D, Michimay, H, Kneifer W.**- 2014.- Effects of fermented and extruded wheat bran on total tract apparent digestibility of nutrients, minerals and energy in growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*.197: 121-129.
- Kulps K, Ponts JJr.** - 2000. - Handbook of cereal Science and Technology. Second Edition.
- Jezierny D, Mosenthin E, Bauer E.** - 2010.- The use of grain legumes as a protein source in pig nutrition: A review.- *Animal Feed Science and Technology*. 157: 111 – 128.
- Landero JJ, Beltranena E, Cervantes M, Araiza AB, Zijlstra RT.**- 2012.-The effect of feeding expeller -pressed canola meal on growth performance and diet nutrient digestibility in weaned pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 171:240 – 245.-
- Latorre SJ, Calderon CA.** – 1998.- Evaluación fisiológica y nutricional del efecto de los taninos en los principales sorgos graníferos (*Sorghum bicolor* (L) moench) cultivados en Colombia. [En línea] En: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Regional 7: 170 pp. Consultado en noviembre 2014. Disponible en <http://www.corpomail.corpoica.org.co/BACFILES/BACDIGITAL/59439/59439.pdf>.
- Lawton JW.**- 2002.- Zein: a history of processing and use. *Cereal Chemistry*. 79-1:1-18.
- Le Gall M, Quillien L, Sève B, Guéguen J, Lallés JP.**- 2007.- Weaned piglets display low intestinal digedigestion of peas (*Pisum sativum* L), lectin and pea albumin. *Journal of Animal Science*, 85: 2972- 2981.-

**Lemlioglu-Austin D, Turner ND, McDonough CM, Rooney LW.**- 2012.- Effects of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] crude extracts on starch digestibility, estimated glycemic index (EGI), and resistant starch (RS) contents of porridges. *Molecules*. 17:11124-11138.

**Lin FD, Knabe JA, Tanksley TD.**- 1987.- Apparent digestibility of amino acids, gross energy and starch in corn, sorghum, wheat, barley, oat groats and wheat middlings for growing pigs. *Journal of Animal Science*. 62: 1655-1665.

**Little K.**- 2014.- The effects of feeding canola meal from high protein or conventional varieties of canola seeds on pork quality. [En línea] En: Thesis for the degree of master of science in animal sciences in the Graduate College of University of Illinois at Urbana. Consultado en Agosto 2017. Disponible en <https://www.ideals.illinois.edu/handle/2142/50645>.

**Liu S, Fox G, Khoddami A, Neilson K, Truong, Moss A, Selle P.**- 2015.- Grain Sorghum: A Conundrum for Chicken-Meat Production. *Agriculture*, 5, 1224-1251.

**Liu Y, Selle PH, Cowieson AJ.**- 2013.- Strategies to enhance the performance of pigs and poultry on sorghum-based diets, Review.- *Animal Feed Science and Technology*. 181: 1-14.

**Liu Y, Song M, Maison T, HH.**- 2014.- Effects of protein concentration and heat treatment on concentration of digestible and metabolizable energy and on amino acid digestibility in four sources of canola meal fed to growing pigs. *Journal of Animal Science*. 92: 4466.4477.-

**Lon Wo E.** 2007. Procesos tecnológicos para elevar el valor nutritivo de los alimentos [En línea]. En: Curso Pre-evento al IX Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos; 2007; Montevideo, Uruguay. pp. 41 – 48. Consultado 12 abril 2016. Disponible en: <http://www.upc.edu.uy/index.php/ixe/category/20-curso-pre-evento-i>.

**Lopes, ABRC, Tse MLP, da Silva AMR, Neto MAT, Pereira CS, Saleh MAD, Berto DA.**- 2017.- High-moisture sorghum grain silage with low- and high-tannin contents for weanling piglets. *Ciencia Rural*, 47:4.

**Louis GF, Lewis AJ, Peo E.Jr.** - 1991. - Feeding value of grain sorghum for the lactating sow. *Journal of Animal Science*. 69: 223-229.

**Lund S, Håkansson J.** - 1986. - Nutritional and growth studies with pea-crop meals and peas for growing-finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 16: 119 – 128.-

**Macías M, Díaz C, Martínez O.** 2012. Digestibilidad y flujo de digesta ileal en cerdos alimentados con granos de sorgo rojo en la dieta. [En línea]. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 13 (6): 1-7. Consultado octubre 2015. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63624434003>.

**Mahasukhonthachat K, Sopade PA, Gidley MJ.** -2010.- Kinetics of starch digestion in sorghum as affected by particle size. *Journal of Food Engineering*. 96:18-28.

**Maison T, Stein HH.**- 2014.- Digestibility by growing pigs of amino acids in canola meal from North America and 00-rapeseed meal and 00-rapeseed expellers from Europa. *Journal of Animal Journal of Animal Journal of Animal Journal of Animal Journal of Animal Journal of Animal Journal of Animal Journal of Animal Journal of Animal Journal of Animal Journal of Animal Journal of Animal Journal of Animal Science*. 92: 3502350235023502-3514351435143514.-

**Makkar HPS.** -1988.- Do tannins affect only protein utilization? *Indian Dairyman*. 41:135-156.

**Makkar HPS.**- 2000. -Quantification of Tannins in Tree Foliage. FAO/IAEA Working Document. IAEA, Vienna, Austria.

**Maksinchuk De Lima, DA.**- 2004.- Evaluación del ensilado de sorgo granífero y la influencia del contenido de taninos sobre la producción de leche. Tesis grado. Montevideo. UY. Facultad Agronomía. 58 p.

**Mariscal-Landin G, Reis de Souza TC, Parra JE, Aguilera Mar S.**- 2008.- Ileal digestibility of protein and amino acids from canola meal in weaned piglets. *Livestock Science*. 116, (1-3): 53-62.-



- Martínez O, Macías M, Díaz C.** 2012. Digestibilidad y flujo de digesta ileal en cerdos alimentados con harina de granos de sorgo en la dieta. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 19(3): 158 – 160.
- Mathé D, Monéger R, Gillou D.** 2003.- Effet du pois proteagineux sur les performances et le comportement du porc lors des transitions alimentaires. *Journées de la Recherche Porcine*. 35: 127 – 132.
- Maupert F, Quiniou N, Royer E, Guibert J, Quinsac A, Peyronnetuis C.** 2011.- Effets d'une utilisation continue et du mode de distribution du tourteau colza sur les performances des porcs charcutiers. *Journées de la Recherche Porcine*. 43: 67 – 72.
- Mauricio RM, Mould FL, Dhanoa MS, Owen ., Channa KS, Theodorou MK.** 1999.- A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. *Animal Feed Science and Technology*. 79:321-330.
- Mejicanos G, Sanjanayan N, Kim IH, Nyachoti M.** 2016.-Recent advances in canola meal in swines nutrition. *Journal of Animal Science and Technology*. 58:7p
- Menoyo D, Serrano MP, Barrios V, Valencia DG, Lázaro R, Argente J, Mateos GG.** 2011.- Cereal type and heat processing of cereal affect nutrient digestibility and dynamics of serum insulin and ghrelin in weanling pigs. *Journal of Animal Sciences*. 89, 2793–2800.
- Mertens DR.** 2002. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fibre in feeds with refluxing beakers or crucibles: collaborative study. *Journal of AOAC International*. 85, 1217–1240.
- Messerschmidt U, Eklund M, Sauer N, Rist VTS, Rosenfelder P, Spindler HK, Htoo JK, Schöne F, Mosenthin Schöne F, Mosenthin R.** 2014.- Chemical composition and standardized ileal amino acid digestibility in rapeseed meals sourced from German oil mills for growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 187: 68-76.
- Methol M.** 2013.- Maíz y sorgo: situación y perspectivas. [En línea] En: Anuario OPYPA 2013. Consultado en noviembre de 2014. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/opypa/ANUARIOS/Anuario2013/material/pdf/09.pdf>.
- Methol M.** 2017.- Maíz y sorgo: situación y perspectivas. Anuario OPYPA 2016. Montevideo. MGAP: 179 – 191.-
- Mills .G, Hines .H.** – 1993.-Extrusion of sorghum grain and soybeans for lactating sows. [En línea] En: Kansas State Research and Extension, Swine day 1993: 13 – 16. Consultado en octubre 2014. Disponible en: <http://www.ksre.ksu.edu/historicpublications/pubs/srp695.pdf>.
- Mitaru BN, Reichert RD, Blair R.** - 1984. - Nutritive value of reconstituted sorghum grains for weanling pigs. *Journal of Animal Science*. 58 (5): 1211-1215.
- Montiel MD, Depetris G.** 2007.- Silos de grano húmedo de sorgo. [En línea] En: Sitio Argentino de producción Animal. Consultado en diciembre 2014. Disponible en: <http://www.produccion-animal.com.ar>.
- Montiel MD, Elizalde JC, Santini F, Giorda L.** 2012. Desactivación de taninos en grano húmedo de sorgo con polietilenglicol o urea. *Archivos de Zootecnia*, 61: 235 - 234.
- Montoya CA, Leterme P.** - 2009. -Determination of the digestible energy and prediction of the net content of toasted and non-toasted canola meals for Brassica juncea and Brassica napus in growing pigs by the total faecal collection and indigestible marker methods. *Canadian Journal of Animal Science*. 89: 481-487
- Montoya CA, Leterme P.** 2011. - Effect of particle size on the digestible energy content of field pea (*Pisum sativum* L.) in growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 169:1131 -120.
- Moreira FRC, Costa AN, Martin, TDD, Silva JHV, Cruz GRB, Pascoal LAF.** 2013.- Substitucao parcial do milho por sorgo granifero na alimentacao de matrizes suinas primiparas no periodos de puberdade e gestacao.- *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinaria e Zootecnia*. 65 (3): 902 - 908.

**Moter V, Stein HH.** 2004. Effect of feed intake on endogenous losses and amino acid and energy digestibility by growing pigs. *Journal of Animal Science*, 82(12): 3518 – 3525.

**Mushandu J, Chimonyo M, Dzama K, Makuza SM, Mhlanga FN.**-2005.- Influence of sorghum inclusion level on performance of growing local Mukota, Large White and their F1 crossbred pigs in Zimbabwe. *Animal Feed Science and Technology*.122: 321 – 329.

**Myer RO, Gorbert DW.** - 1985. - Waxy and normal grain sorghums with varying tannin contents in diets for young pigs. *Animal Feed Science and Technology* 12: 179 – 186.

**Myer RO, Gorbert DW, Combs GE.** - 1986. - Nutritive value of high and low- tannin grain sorghums harvested and stored in the high-moisture state for growing-finishing swine. *Journal of Animal Science*. 62: 1290 – 1297.-

**Newkirk R W, Classen HL, Scott T A, Edney M J.** - 2003. -The digestibility and content of amino acids in toasted and non-toasted canola meals. *Canadian Journal of Animal Science*. 83 (1): 131-139.

**Noblet, J.; Shi, X.S.**- 1993.- Comparative digestibility of energy and nutrients in growing pigs fed ad libitum and adult sows fed at maintenance. *Livestock Production Science*, 34: 137 - 152.

**Nozella FE.**- 2001.- Determinacao de taninos em plantas com potencial forrageiro para ruminantes. [En línea] En: Dissertacao mestrado, Centro de Energia Nuclear para Agricultura. Piracicaba. 58p. Consultado enero de 2015. Disponible en: <http://www.file:///C:/Users/Usuario/Downloads/DissertacaoEduardo.pdf>.

**NRC.** - (1998). - Nutrient Requirements of Swine. 10th Rev. Ed. National Academic Press, Washington DC.

**NRC.** - 2012.- Nutrient Requirements of Swine. 11th Rev. Edn. The National Academy Press, Washington DC. USA. 400p

**Nyannor EJ, Adedokun SA, Hamaker BR, Ejeta G, Adeola O.**- 2007.- Nutritional evaluation of high-digestible sorghum for pigs and broiler chicks. *Journal of Animal Science*. 85: 196 – 203.-

**Okrouhla MR, Stupka J, Citek M, Sprysl L, Brzobohaty R, Kluzakova E.**- 2012.- The effect of replacing soybean meal with rapeseed meal on the production performance and meat chemical composition in pigs. [En línea] En: *Research Pig Breeding*. 6 (1). Consultado en agosto 2017. Disponible en: <http://www.respigbreed.cz/2012/1/8.pdf>.-

**Owsley WF, Knabe DA, Tanksley TD.**- 1981.- Effect of sorghum particle size on digestibility of nutrient at the terminal ileum and over the total digestive tract of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*. 52: 557 – 566.-

**Pan L, Li P, Ma X, Xu Y, Tian Q, Liu L, Li D, Piao X.** - 2016.- Tannin is a key factor in the determination and prediction of energy content in sorghum grains fed to growing pigs. *Journal of Animal Science*. 94: 2879-2889.

**Patricio V M, Furlan AC, Moreira I, Martins EN, Jobim C C, Costa C.**- 2006. Avaliação nutricional da silagem de grãos úmidos de sorgo de alto ou de baixo conteúdo de taninos para leitões na fase de creche. [En línea], En: *Revista Brasileira de Zootecnia*. 35:1406-1415. Consultado en octubre 2014. Disponible en: [http://www.maizar.org.ar/documentos/287\\_elcolordelsorgogranferoysurelacinconelvalordecomercializacinyconsuvalornutritivo..pdf](http://www.maizar.org.ar/documentos/287_elcolordelsorgogranferoysurelacinconelvalordecomercializacinyconsuvalornutritivo..pdf).

**Perrot C.**- 1995.- Les protéines de pois: de leur fonction dans la graine a leur utilisation en alimentation animale. *INRA, Productions Animales*. 8 (3): 151 – 164.

**Peñuela LM, Moreira I, De Oliveira PL, Gomez A, Diaz LM, De Lima Costa C.**- 2016.- Desempenho e características quantitativas e qualitativas de carcasa de suínos alimentados com farelo de canola. [En línea]. En: *Revista Caatinga*. 29 (3). Consultado en julio 2017. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n325rc>.

**Petrocelli H, Costas G, Urbín G, Puig A.**- 2003.- Caracterización de las plantas de faena y los cerdos destinados a la faena. En: *Evaluación Bioeconómica de sistemas de producción de cerdos FPTA* 130. Edición Especial INIA: 11 – 30.-

- Pieper R, Hackl W, Korn U, Zeyner A, Souffrant WB, Pieper B.**- 2011.- Effect of ensiling triticale, barley and wheat grains at different moisture content and addition of *Lactobacillus plantarum* (DSMZ 8866 and 8862) on fermentation characteristics and nutrient digestibility in pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 164:96-105.
- Price M L, Steve V S, Butler L C.**- 1978.- A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 26:1214-1218.
- Porter K.**- 1995.- El color del sorgo granífero y su relación con el valor de comercialización y con su valor nutritivo. [En línea]. En: (traducción Ing, Agr. A. Chessa). Consultado en octubre 2014. Disponible en: [http://www.maizar.org.ar/documentos/287\\_elcolor\\_delsorgo\\_granifero\\_y\\_su\\_relacion\\_con\\_el\\_valor\\_de\\_comercializacion\\_y\\_con\\_su\\_valor\\_nutritivo.pdf](http://www.maizar.org.ar/documentos/287_elcolor_delsorgo_granifero_y_su_relacion_con_el_valor_de_comercializacion_y_con_su_valor_nutritivo.pdf). Quéméré P.-1990.- Synthèse des essais français et étrangers sur l'utilisation du pois protéagineux par les porcins (porcelets, porcs charcutiers, truies). *Journées de la Recherche Porcine*, 22: 133-150.
- Racz VJ, Bell JM.** - 1999. - Feeding peas to swine. [En línea] En: Government of Saskatchewan. Agriculture. Consultado en marzo 2016. Disponible en: <http://www.agriculture.gov.sk.ca>.
- Reed J.D.**- 1995. -Nutritional Toxicology of Tannins and Related Polyphenols in Forage Legumes. *Journal of Animal Sciences*. 73: 1516-1528.
- Regmi PR, Metzler-Zebeli BU, Ganzle MG, Van Kempen TA, Zijlstra RT.**- 2011.- Starch with high amylose content and low *in vitro* digestibility increases intestinal nutrient flow and microbial fermentation and selectively promotes bifidobacteria in pigs. *Journal of Nutrition*. 19, 1-8.
- Repetto J L, Curbelo A, Melognio E, Ortiz R, Cajarville C.**- 2005. -Ruminal degradation of different genotypes of sorghum grain harvested with high or low moisture. *Congresso Brasileiro de Buiatria*. Búzios, Brasil.
- Rojó Gómez A, Pérez Mendoza V, Bayardo Uribe A, Correa Cardona H, Cuaron Ibarquengoytia J. 2001.- Pasta de canola como suplemento proteico en dietas para la finalización de cerdos. *Técnica Pecuaria en México*, 39 (3): 179-192.
- Rooney LW, Pflugfelder R, L.**- 1986.- Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *Journal of Animal Sciences*. 63:1607-1623.
- Rostagno HS, Albino LF, Donzele JL, Gomez PC, de Oliveira F, Lopes DC, Ferreira AS, Barreto SL.**- 2005.- Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 2 ed. Viçosa, MG: UFV 186 p.
- Rovira, P.; Velazco, J.** 2012 *Ensilaje de grano húmedo de sorgo: Guía práctica para su uso en la alimentación de ganado en regiones ganaderas*. INIA. Boletín de divulgación n° 101. 64 p
- Royer E, Chauvel J, Courboulay V, Granier R, Albar J.** - 2004.- Grain legumes, rapeseed meal and oil seeds for weaned piglets and growing/finishing pigs. [En línea] En: Proc. 55th Ann. Meet. EAAP, Sept. 5-9, 2004. Bled, Slovenia, NCS5, Alternative protein sources. Consultado en marzo 2017. Disponible en <http://www.wifip.asso.fr/sites/default/files/pdf-documentations/55theaap2004royer.pdf>
- Royer E, Gaudre D, Lebas N, Granier R, Quinsac A.** -2011.- Impact du tourteau de colza tourteau de colza incorporé à 15 % dans l'aliment de 2ème âge et du degré de compétition sur les performances en post-sevrage, *Journées Recherche Porcine*. 43: 145-146.
- Russell RW, Lolley JR.**- 1989.- Deactivation of tannin in high tannin milo by treatment with urea. *Journal of Dairy Science*. 72: 2427-2430.
- Sauer WC, Cichon R, Misir R.** - 1982.-Amino acid availability and protein quality of canola and rapeseed meal for pigs and rats. *Journal of Animal Science*. 54 (2): 292-301.
- Scarpitta N.**-2008.- ¿Qué necesitamos conocer sobre el silo de grano húmedo de sorgo? *Revista Plan Agropecuario*. 126: 48 – 54.
- Seneviratne RW, Toung MG, Beltranena E, Goonerwardene A, Newkirk RW, Zijlstra RT.**- 2010.- The nutritional value of expeller pressed canola meal for grower-finishing pigs. *Journal of Animal Science*. 88: 2073- 2083.-

**Shelton JL, Hemann MD, Strode R M, Brashear GL, Ellis M, McKeith FK, Bidner TD, Southern LL.**- 2001.- Effect of different protein sources on growth and carcass traits in growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*. 79 (9): 2428-2435.

**Siljander-Rasi H, Valaja J, Alaviuhkola T, Rantamaki P, Tupasela T.** - 1996.- Replacing soybean meal with heat-treated low glucosinolate rapeseed meal does not affect the performance of growing finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 60 (1-2): 1-12.

**Silva PS, Campagna DA, Maiztegui L, Somenzini D, García P, Font MT, Di Masso RJ.**- 2006.- Espesor y composición de la grasa dorsal en cerdos a campo restringidos en días alternos en dos épocas del año.-*Revista Argentina de Producción Animal*. 26: 181 – 191.

**Smit MN, Senevinaratne RW, Young MG, Lanz G, Zijlstra RT, Beltranena E.**- 2014.-Feeding increasing inclusions of canola meal with distillers dried grains and soluble to growing-finishing barrows and gilts. *Animal Feed Science and Technology*. 189: 107-116.-

**Solà-Oriol D, Van Kempen T, Torrallardona D.**- 2010.- Relationship between glycemic index and digesta passage of cereal-based diets in pigs. *Livestock Science*. 134, 41–43.

**Souto G, Rava C.** - 2017. - Oleaginosos y derivados: situación y perspectivas. Anuario OPYPA 2016. Montevideo. MGAP: 157 – 178.-

**Stein H.** - 2008. - Digestibility to swine of energy and nutrients in field beans. [En línea]. Consultado en abril 2016. Disponible en <http://nutrition.ansci.illinois.edu/sites/default/files/Proc2ndJtMtgMPAofNDandNDPC2.pdf>

**Stein H.** - 2010. - Energy and nutrient concentration and digestibility in alternative feed ingredients and recommended inclusion rates. [En línea]. Consulta en abril 2016. Disponible en: <http://nutrition.ansci.illinois.edu/sites/default/files/ProcAASV42AnnMtg.pdf>

**Stein H, Bohlke RA.** - 2007. - The effects of thermal treatment of fields peas (*Pisum sativum* L.) on nutrient and energy digestibility by growing pigs. *Journal of Animal Science*. 85: 1424 – 1431.

**Stein HH, Everts AKR, Sweeter KK, Peters DN, Maddock RJ, Wulf DM, Pedersen C.**- 2006.- The influence of dietary fields peas (*Pisum sativum* L.) on pig performance, carcass quality, and palatability of pork. *Journal of Animal Science*. 84:3110-3117.-

**Stevnebø A, Sahlström S, Svihus B.**- 2006.- Starch structure and degree of starch hydrolysis of small and large starch granules from barley varieties with varying amylose content. *Animal Feed Science and Technology*. 130: 23–38.

**Sun T, Lærke HN, Jørgensen H, Bach Knudsen KE.**- 2006.- The effect of extrusion cooking of different starch sources on the *in vitro* and *in vivo* digestibility in growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 131, 66–85 Thacker PA, Newkirk RW.- 2005. - Performance of growing-finishing pigs fed barley-based diets containing toasted or non-toasted canola meal. *Canadian Journal of Animal Science*. 85 (1): 53-59.

**Tokach M, Goodband B, DeRouchey J.** - 2012. - Sorghum in swine production feeding guide. [En línea] En: Sorghumcheckoff. USA.: 28pp. Consultado en noviembre 2014. Disponible en <http://sorghumcheckoff.com/wp-content/uploads/2012/06/swineguideforweb.pdf>.

**Torres-Pitarch A, Moset V, Ferrer P, Cambra-López M, Hernández P, Coma J, Pascual M, Serrano P, Cerisuelo A.**- 2014.-The inclusion of rapeseed meal in fattening pig diets, as a partial replacer of soybean meal, alters nutrient digestion, faecal composition and biochemical methane potential from faeces. *Animal Feed Science and Technology*. 198: 215-223.-

**Trindade Neto MA, Opepaju FO, Slominski BA, Nyachoti CM.**- 2012.- Ileal amino acid digestibility in canola meal from yellow-and black-seeded Brassica napus and Brassica napus and Brassica juncea fed to growing pigs. *Journal of Animal Science*. 90: 3477-3484.

**Van Kempen T, Pujol S, Tibble S, Belfagon A.**- 2007.- *In vitro* characterization of starch digestion and its implications for pigs. In: Wiseman, J., Varley, M.A., McOrist, S., Kemp, B. (Eds.), *Paradigms in Pig Science*. Nottingham Univ. Press, pp. 515–526.

- Van Kempen T, Regmi PR, Matte JJ, Zijlstra RT.** -2010.- *In vitro* starch digestion kinetics, corrected for estimated gastric emptying, predict portal glucose appearance in pigs. *Journal of Nutrition*. 140:1227-1233.
- Van Soest P J, Robertson J B, Lewis B A.**- 1991.- Method for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relationship to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74:3583-3597.
- Ward TL, Southern LL.** - 1995. - Sorghum amino acid-supplemented diets for the 50 to 100 kilogram pig. *Journal of Animal Science*. 73: 1746 – 1753.
- Weurding RE, Veldman A, Venn WAG, Van der Aar PJ, Verstegen MWA.- 2001.- *In vitro* starch digestion correlates well with rate and extent of starch digestion in broiler chickens. *Journal of Nutrition*. 131, 2336–2342.
- Williams B A, Bosch M W, Boer H, Verstegen MW.A, Tamminga S.** -2005.- An *in vitro* batch culture method to assess potential fermentability of feed ingredients for monogastric diets. *Animal Feed Science and Technology*. 123-124: 445-462.
- Wiseman J.**- 2006.- Variations in starch digestibility in non-ruminants. *Animal Feed Science and Technology*. 130, 66–77.
- Woyengo, T.A.; Kiarie, E.; Nyachoti, C,M.**- 2010.- Energy and amino acid utilization in expeller-extracted canola meal fed to growing pigs. *J. Anim. Sci*. 88: 1433-1441
- Zanotto DL, Ludke JV, Guidoni AL.**- 2009.- Utilization of canola meal in diets of growing and finishing pigs. *Archives Zootechnia*. 58:717–728.

## **IX. - AGRADECIMIENTOS**

### **Comisión Nacional de Fomento Rural**

Luján Banchemo, apoyo administrativo para la ejecución del proyecto

*Técnicos que nos facilitaron los contactos con los productores y apoyaron la organización de jornadas de difusión de resultados:*

Gustavo Cabrera

Marcello Rachetti

Javier Texeira

Gastón Salvo

Nelson Rivas

### **Departamento de Producción Animal y Pasturas de Facultad de Agronomía:**

Laura Astigarraga (Directora del Dpto)

Telmo D Amado (Secretaría del Dpto)

Jorge de Amaya (Secretaría del Dpto)

Laboratorio de Nutrición Animal

### **Estación Experimental de San Antonio de Facultad de Agronomía:**

Carlos Moltini (Director de la Estación)

Personal de la Estación

### **Secciones Intendencia y Transportes de la Granja de Sayago de Facultad de Agronomía:**

Luis Macedo

Raquel Gaitán

Daniel Villabona

### **Técnicos de ALUR:**

Joaquín Iguiniz

María José Ituarte

### **Productores que suministraron animales, alimentos o permitieron el acceso a sus predios:**

Hugo Martiniena

Roberto San Martín y Marta González

Omar Albano y Patricia De Souza

Juan Lanz

Daniello Lecuona

Sonia Valle

Gustavo Fernández

Miguel Sena

### **Empresas que facilitaron la realización de actividades vinculadas al proyecto:**

Edotil SA

Ardistar (Cattivelli Hnos)

El Tezón (Eduardo Forrisi)

IPB Uruguay (Agustín y Pablo Uteda)







Impreso en Julio de 2018  
PRONTOGRAFICA S.A.  
Cerro Largo 850 - Tel.: 2902 3172  
E-mail: [prontografica@prontografica.com.uy](mailto:prontografica@prontografica.com.uy)  
Depósito Legal 374.077

**INIA Dirección Nacional**  
Andes 1365 P. 12  
Montevideo  
Tel.: ++598 2902 0550  
Fax: ++598 2902 3633  
[iniadn@inia.org.uy](mailto:iniadn@inia.org.uy)

**INIA La Estanzuela**  
Ruta 50 Km. 11  
Colonia  
Tel.: ++598 4574 8000  
Fax: ++598 4574 8012  
[iniale@le.inia.org.uy](mailto:iniale@le.inia.org.uy)

**INIA Las Brujas**  
Ruta 48 Km. 10  
Canelones  
Tel.: ++598 2367 7641  
Fax: ++598 2367 7609  
[inia\\_lb@lb.inia.org.uy](mailto:inia_lb@lb.inia.org.uy)

**INIA Salto Grande**  
Camino al Terrible  
Salto  
Tel.: ++598 4733 5156  
Fax: ++598 4732 9624  
[inia\\_sg@sg.inia.org.uy](mailto:inia_sg@sg.inia.org.uy)

**INIA Tacuarembó**  
Ruta 5 Km. 386  
Tacuarembó  
Tel.: ++598 4632 2407  
Fax: ++598 4632 3969  
[iniatbo@tb.inia.org.uy](mailto:iniatbo@tb.inia.org.uy)

**INIA Treinta y Tres**  
Ruta 8 Km. 281  
Treinta y Tres  
Tel.: ++598 4452 2023  
Fax: ++598 4452 5701  
[iniatt@tyt.inia.org.uy](mailto:iniatt@tyt.inia.org.uy)