

# Evaluación nutricional para rumiantes de la burlanda de sorgo húmeda obtenida de la producción de etanol de ALUR Paysandú

NOTA TÉCNICA

María Bruni\*, Ana Inés Trujillo\*\*, Lucia Facchin\*\*\*, Luciana Saragó\*\*\*, y Pablo Chilibroste\*

## INTRODUCCIÓN

El Uruguay, al igual que otros países, realiza la transformación de grano de sorgo en etanol desde hace varios años, pero es a partir del 2010 cuando la producción de etanol carburante (bioetanol) participa de manera importante en la producción de biocombustibles del país. Este agregado de valor al grano de sorgo, genera además, residuos o subproductos agro-industriales conocidos con el nombre de “granos de destilería” (por su traducción del inglés “*distillers grains*” y su sigla DG) que pueden ser usados en la alimentación animal.

En Uruguay se producen anualmente 24 millones de litros de bioetanol a partir de biomasa vegetal y un volumen aproximadamente de 30.000 toneladas de subproductos para alimentación animal (Alcoholes del Uruguay S. A. - ALUR). En el corto plazo, se prevé, una expansión de esta industria y la apertura de una nueva planta en Paysandú, lo cual resultará en incrementos de los volúmenes de los subproductos con destino a la alimentación animal. Particularmente, la planta ALUR Paysandú podría llegar a producir anualmente entre 40 y 70 millones de litros de etanol,

a partir de la fermentación del grano de sorgo duplicándose la cantidad de subproductos o residuos de la destilería de este cereal, particularmente los granos de destilería.

El principal subproducto derivado de la producción de etanol a base de cereales lo constituyen los residuos sólidos de la fermentación -y posterior destilación- de los carbohidratos de los granos llamado “granos de destilería”. Se produce también otro tipo de residuo que se denomina “condensados solubles”, “solubles” o “vinaza” constituido por las levaduras utilizadas en el proceso, los nutrientes solubles y las partículas más finas de los granos, este residuo presenta muy bajo contenido de MS (aproximadamente 5%), y se puede combinar o no con el residuo sólido. El cereal utilizado en el proceso define las características nutricionales del subproducto y el nombre del mismo. En el caso del grano de sorgo, al principal subproducto o residuo sólido de la destilería se lo denomina “**burlanda de sorgo**” (BS, la misma no contiene los solubles y puede presentarse húmeda BSH o deshidratada BSS). En la Figura. 1 se presenta el grano de sorgo que da origen a la BSH de la planta de ALUR Paysandú.

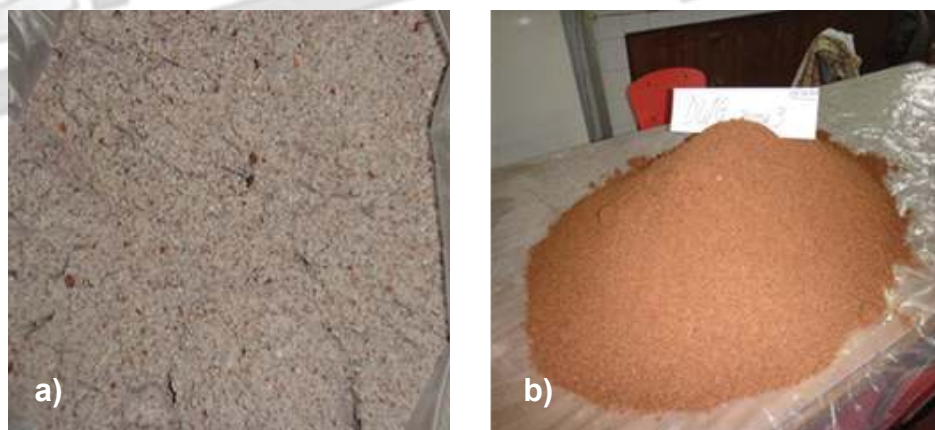


Figura 1. Grano de sorgo molido al ingresar a la cuba de fermentación (a) y burlanda de sorgo húmeda (b)

\* Ings. Agrs., Dpto. Producción Animal y Pasturas. EEMAC.

\*\* Ing. Agr., Dpto. Producción Animal y Pasturas. Montevideo.

\*\*\* Tec. Quím. ANEP-UDELAR

El valor nutritivo de los subproductos de la producción de bioetanol depende de numerosos factores, siendo los más importantes: 1) grano original (variedad, condiciones de manejo y ambientales del cultivo), 2) proceso tecnológico de la planta productora de etanol (tipo de molienda, temperatura, grado de extracción del almidón, aditivos utilizados en el proceso de fermentación tanto para acelerar el proceso como para finalizarlo y características del proceso de destilación, entre otros), 3) tipo de subproducto resultante de la planta (granos de destilería húmedos, o secos, condensados solubles, o mezclas de granos de destilería con condensados solubles), y 4) condiciones de conservación, almacenaje y logística de los subproductos (Belyea *et al.*, 2004).

La presencia de nutrientes residuales y el alto contenido de humedad de los granos de destilería húmedos generan un ambiente que favorece el crecimiento de la actividad microbiana con el consecuente deterioro de su calidad. Esto trae como consecuencia que si los granos de cereales de destilería no se utilizan dentro de los primeros 4 a 8 días de producidos (en verano e invierno, respectivamente) deban ser adecuadamente preservados (García y Kalscheur, 2004).

La información internacional es abundante y consistente en definir en general a los granos de destilería húmedos o secos como subproductos que presentan altos contenidos de proteína cruda (25-35%) y altos valores de energía metabolizable para rumiantes (2,9 Mcal/kg), así como es coincidente en caracterizar a estos subproductos con alta variabilidad en su composición química, fundamentalmente asociada al proceso industrial propio de cada planta productora de etanol (FEDNA, 2012). Sin embargo, a nivel nacional, es muy escasa la caracterización nutricional de los subproductos de la fermentación del grano de sorgo (Marichal *et al.*, 2006) y no se han encontrado reportes relacionados con evaluaciones de estabilidad aeróbicas de la BSH.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar las características microbiológicas, químicas y biológicas de la materia prima original: grano de sorgo y del subproducto que se genera de la producción de bioetanol en la Planta de ALUR Paysandú: burlanda de sorgo húmeda.

Los objetivos específicos fueron:

- Evaluar nutricionalmente el grano de sorgo (GS) y la BSH así como la estabilidad de la BSH.

- Analizar la dinámica de entrega de los principales nutrientes a nivel del tracto gastrointestinal del GS y de la BSH.

- Predecir el aporte energético del GS y de la BSH.

## MATERIALES Y MÉTODOS

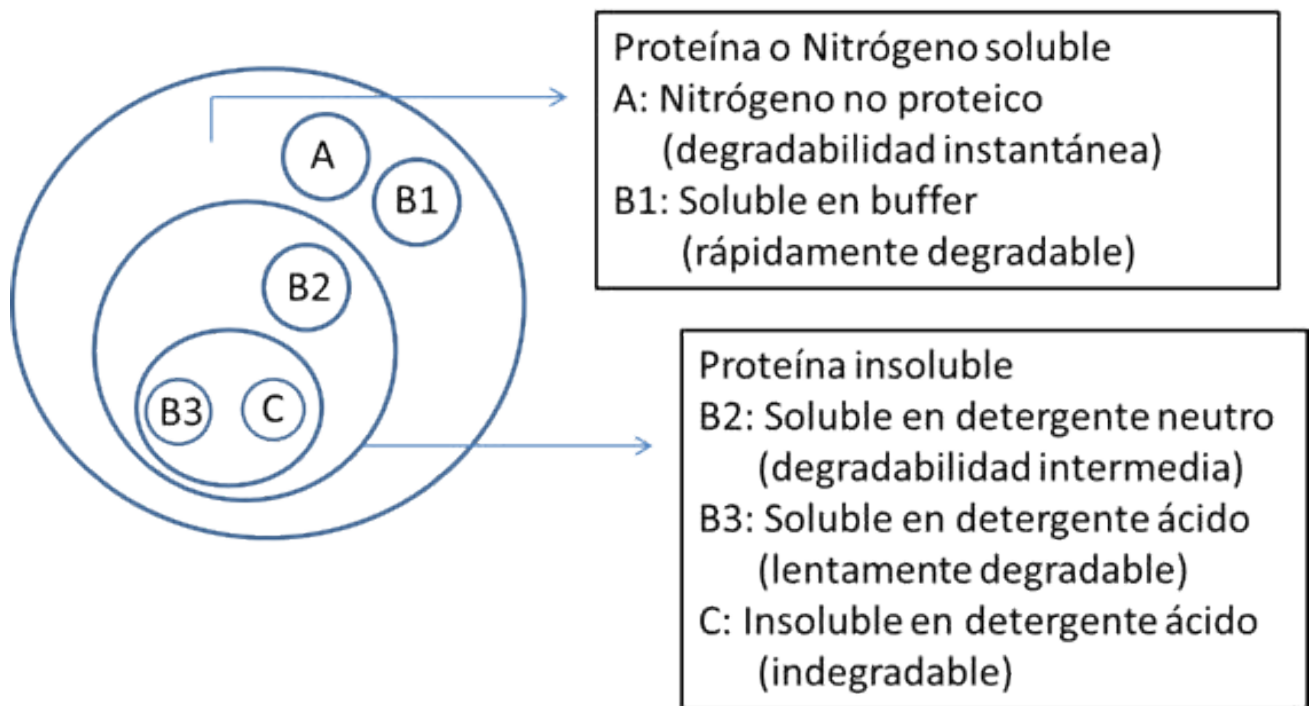
En este experimento se evaluaron 3 partidas de GS y sus respectivas partidas de BSH proporcionadas por la planta de ALUR Paysandú.

La caracterización microbiológica consistió en la determinación del número de microorganismos aerobios mesófilos totales (AMT), de coliformes y de hongos y levaduras (H y L), según medio selectivo de crecimiento (FAO 2013) y el contenido de micotoxinas se determinó con métodos inmuno-químicos enzimáticos.

La estabilidad aeróbica de la BSH se evaluó en términos de evolución de temperatura, pH, capacidad buffer (CB) y acidez total (AT) según Playne y McDonald (1966), nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) (Bremmer, 1960), y carga microbiana de AMT y número de H y L.

La caracterización química al momento de llegada de las partidas de GS y BSH consistió en la determinación del contenido de MS, pH, AT y CB. Posteriormente se determinó el contenido de cenizas (C, para estimar materia orgánica -MO), extracto al éter (EE) y proteína cruda (PC), según AOAC (1990). La fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y lignina ácido sulfúrico (Ligsa) fueron determinadas según procedimiento de Van Soest *et al.* (1991). La proteína insoluble en detergente neutro (PCIDN) y en detergente ácido (PCIDA) fueron determinadas en los residuos de FDN y FDA, respectivamente. La proteína soluble en buffer y el nitrógeno no proteico (NNP) fueron determinados según Licitra *et al.* (1996). La PC total fue fraccionada en fracción A (NNP) y fracción B (proteína verdadera); a su vez la proteína verdadera fue sub-fraccionada en B1, B2, B3 y C de acuerdo al Sistema de Cornell de fraccionamiento proteico y de carbohidratos (CPCNS, Sniffen *et al.*, 1992, ver esquema en Figura 2). Adicionalmente, se determinó el contenido de taninos utilizando el método vainillina en ácido clorhídrico de Maxson y Rooney (1972) modificado, y los carbohidratos no fibrosos (CNF) fue-

ron estimados por diferencia entre la MS y las restantes fracciones determinadas (NRC, 2001).



**Figura 2.** Fraccionamiento de la proteína según Sistema de Cornell (CPCNS, Sniffen *et al.*, 1992).

Las características de disponibilidad de nutrientes del GS y de la BSH a nivel ruminal (MS, MO, PC y FDN) se evaluaron utilizando un procedimiento biológico (técnica *in situ*, Orskov *et al.*, 1980) en el cual los alimentos se incuban durante diferentes tiempos y

se mide la dinámica de desaparición de la MS y/o del nutriente estudiado (Figura 3). La estimación de la digestibilidad intestinal de la proteína no degradada en rumen de la BSH fue determinada por el procedimiento *in vitro* modificado de Gargallo *et al.* (2006).



**Figura 3.** Imágenes secuenciales de la técnica *in situ*. Pre-incubación (a), incubación (b), y extracción (c), de las bolsas conteniendo los alimentos a evaluar

Las estimaciones del contenido de energía metabolizable (EM) del GS y de la BSH fueron realizadas usando diferentes ecuaciones: 1) a partir de la ecuación sumativa (Weiss *et al.*, 1992, NRC 2001), “enfoque químico”, y 2) a partir de ecuación sumativa con coeficientes provenientes de nutrientes desaparecidos 48 h in situ (Nuez-Ortín *et al.*, 2011), “enfoque biológico”.

Las variables que caracterizan al GS y BSH fueron analizadas usando un diseño aleatorizado con 3 réplicas por tratamiento.

## RESULTADOS

El análisis estadístico de las variables físico-químicas y biológicas, no mostró diferencias entre partidas en ninguno de los materiales evaluados, por lo

tanto se reportan los valores promedios del material original (GS) y del subproducto (BSH).

### *Características intrínsecas y estabilidad de la burlanda de sorgo húmeda*

El color marrón oscuro, característico de la BSH, es producto del color de las cubiertas del GS y del proceso de calentamiento durante la cocción (Figura 1).

En el Cuadro 1, se presentan las características intrínsecas del GS y de la BSH expresadas como promedios y desvío estándar. Las características del proceso de obtención de etanol le confieren al subproducto un menor contenido de MS, menor pH, mayor AT y similar CB respecto al grano que le dio origen. Posiblemente la mayor AT y el menor pH sean debido al agregado de ácido durante el proceso industrial.

**Cuadro 1.** Promedios y desvíos estándar de las características intrínsecas de grano de sorgo y de la burlanda de sorgo húmeda.

	Grano de sorgo	Burlanda de sorgo húmeda
<b>Características Físico – Químicas</b>		
Materia seca, %	89,39 ( $\pm 0,41$ ) a	33,31 ( $\pm 2,59$ ) b
pH	6,54 ( $\pm 0,13$ ) a	3,93 ( $\pm 0,02$ ) b
Capacidad Buffer, meq/kg MS	16,50 ( $\pm 5,63$ )	62,36 ( $\pm 17,42$ )
Acidez Total, meq/kg MS	4,50 ( $\pm 0,34$ ) b	325,53 ( $\pm 61,86$ ) a

Letras diferentes en una misma fila indican diferencias entre medias  $P < 0,05$ .

La carga microbiana inicial depende de las condiciones de crecimiento y cosecha del cultivo de GS y del proceso de obtención del subproducto BSH. Cuando la concentración de microorganismos es alta en el grano que da origen al subproducto, es de esperar que éstos o sus toxinas estén presentes en el subproducto. El elevado contenido de humedad y la concentración de nutrientes presentes en la BSH es un ambiente propicio para el crecimiento y desarrollo de los microorganismos. La carga de microorganismos aerobios totales, hongos y levaduras fue entre 2 y 10 veces superior en la BSH que en el GS. A medida que el almidón del grano es fermentado a etanol, la concentración del resto de los nutrientes, microorganismos y/o toxinas en los granos de destilería aumenta, al menos proporcionalmente. Las concentraciones de fumonisina, aflatoxinas totales y

deoxinivalenol estuvieron por debajo de los límites detectables por los tests realizados en esta caracterización. Sin embargo, la zearalenona pasó de 195,77  $\mu\text{g}/\text{kg MS}$  en el GS a 378,12  $\mu\text{g}/\text{kg MS}$  en la BSH, significando un aumento de 94% ( $P < 0,01$ ) en esta última. Cabe destacar que los aumentos y los valores absolutos encontrados en nutrientes y micotoxinas son similares a los reportados por otros autores.

**La gran variabilidad encontrada en la carga microbiana de la BSH, hace que sea necesaria la valoración de la presencia de micotoxinas antes de incluir este subproducto en la alimentación de los animales.**

La BSH expuesta a condiciones ambientales se mantuvo en condiciones de ser utilizada por un período de hasta cinco días, posteriormente aumentó la temperatura, pH, concentración de amoníaco, y

registró elevado crecimiento de hongos y levaduras, que demuestran que a partir de ese momento es un material inestable. Estos cambios son explicados básicamente por la actividad microbiana que se desarrolló en BSH.

**Es necesario encontrar alternativas para la conservación de la BSH si va ser estoqueada por más de cinco días. El bajo pH y capacidad buffer que presenta al momento de obtención de la misma permite afirmar que tiene buena aptitud para ser ensilada, sola, con aditivos o en combinación con otros alimentos.**

### *Caracterización nutricional*

La composición química de la BSH muestra un alto contenido de proteína cruda, fibra y lípidos siendo estos dos últimos los principales nutrientes capaces de entregar energía (Cuadro 2). Los valores de PC y EE (31,4% y 11,0%, respectivamente) se encuentran dentro de los rangos reportados en la literatura, definiendo a este subproducto como un alimento rico en PC, fibra y contenido lipídico.

La concentración de nutrientes de la BSH -con excepción de los carbohidratos fermentables que disminuyen- se multiplicó por 3,5 a 8 veces con respecto al GS que le dio origen. Uno de los factores que explica parte de este comportamiento es el consumo de los carbohidratos no fibrosos durante el proceso de fermentación para la obtención de etanol; mientras que en el GS representan el 77,8% de la materia seca en la BSH sólo alcanzan el 5,4%. El elevado contenido de FDN de la BSH se encuentra en los límites superiores reportados por la bibliografía internacional. Los valores de FDN observados en la BSH incluyen altos valores de PC asociada a la pared celular (19,25% PCIDN), siendo la totalidad de la pared celular y los componentes de ésta (FDA, Ligna y taninos) las fracciones que más se incrementaron comparándolos con el grano original. La mayor concentración de compuestos secundarios -lignina y taninos- en la BSH podría provocar interferencias con el aprovechamiento de otras fracciones como la fibra y la proteína (Van Soest, 1994).

**Cuadro 2.** Caracterización química de grano de sorgo y burlanda de sorgo húmeda.

	<b>Grano de Sorgo</b>	<b>Burlanda de sorgo húmeda</b>
<b>Parámetro<sup>1</sup></b>		
Materia seca, %	89,39 (±0,41) a	33,31 (±2,59) b
Materia orgánica, %	98,60 (±0,01)	98,67 (±0,17)
Proteína Cruda, %	6,84 (±0,23) b	31,36 (±0,69) a
Extracto Etéreo, %	3,37 (±0,27) b	11,01 (±0,68) a
<b>Carbohidratos y otros componentes de la pared celular</b>		
Fibra detergente neutro, %	12,98 (±0,43) b	70,17* (±2,21) a
Fibra detergente ácido, %	4,24 (±0,18) b	28,29 (±0,28) a
Carbohidratos no fibrosos, %	77,82 (±0,79) a	5,38 (±2,70) b
Lignina, %	1,37 (±0,21) b	10,90 (±0,24) a
Taninos, %	0,27 (±0,58) b	1,47 (±0,29) a

<sup>1</sup> Valores expresados en base seca. Entre paréntesis se presenta el Desvío estándar; Letras diferentes en una misma fila indican diferencias entre medias.

### *Utilización de la Fibra*

Como se afirmó anteriormente, uno de los principales nutrientes que es responsable de la entrega de energía de la BSH, es la fibra. En rumiantes, la utilización de ésta depende exclusivamente de las

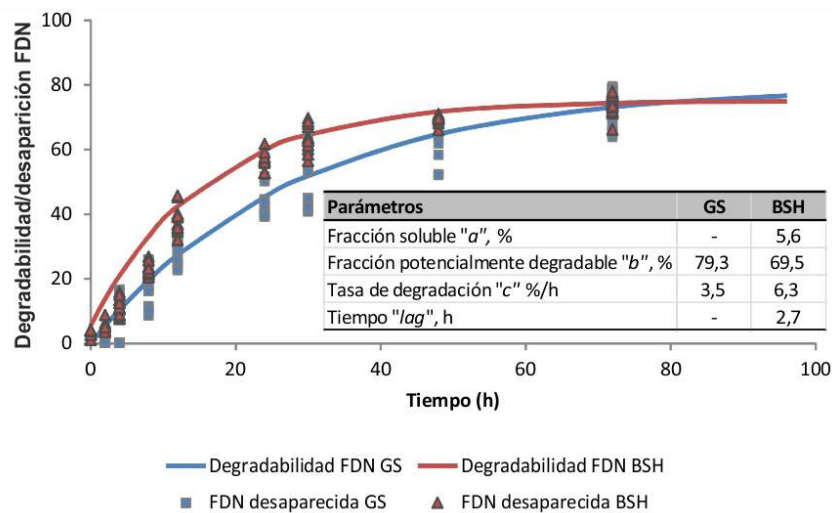
enzimas producidas por la población microbiana del rumen.

Las cinéticas de degradación y desaparición de la FDN en el rumen de ambos alimentos se presentan en la Figura 4. Tanto en GS como en BSH, los valores

de las fracciones, se corresponden con el tipo y cantidad de la fracción que se está analizando. La FDN del GS no presentó fracción soluble ni tiempo retardo en la colonización del alimento por parte de los microorganismos ruminales; en tanto la FDN de la BSH, presentó una pequeña proporción soluble ("a") y, comparando GS con BSH, presentó similar fracción degradable ("a"+"b") soluble y potencialmente degradable) y menor tasa de degradación ("c"). La FDN de la BSH tiene un muy buen potencial de utilización a nivel ruminal, a pesar de haberse incremen-

tado las fracciones más refractarias que la componen (Ligsa y FDA). La utilización de ácidos y enzimas en el proceso de obtención de etanol, seguramente hayan solubilizado y/o modificado la estructura de la pared celular dejándola con mayor facilidad de ataque por la población microbiana que habita en el rumen.

**Al ser la pared celular el constituyente más importante de la BSH, ésta será uno de los principales determinantes de la entrega de energía de este subproducto.**



**Figura 4.** Cinética de degradación de la fibra (FDN) de grano de sorgo (GS) y de la burlanda de sorgo húmeda (BSH).

### Utilización de la Proteína Cruda

Un capítulo aparte merece el contenido y el fraccionamiento de la proteína cruda ya que de esto depende la utilización de la misma. El incremento en la proporción de PC transforma a este subproducto en un potencial suplemento proteico, pero su comportamiento como tal, depende de la entrega efectiva de proteína, más específicamente, de la disponibilidad de aminoácidos a nivel del tracto gastrointestinal del animal. En rumiantes, esta utilización depende de las enzimas que produce el animal y de las que producen los microorganismos ruminales. Como se describió anteriormente, comparando el GS con la BSH, las fracciones de PC ligadas a la pared celular (FDN y FDA) son las que más aumentaron, la PCIDN multiplicó su valor por 8 (pasó de 2,4% a 19,3% de la PC), mientras que la PCIDA lo multiplicó por 7 (pasó de 1,5 a 10,6% de la PC) (Cuadro 2). Se ha reportado que los contenidos de PCIDA de los alimentos son muy variables y pueden llegar a valores de 40% de la PC en los subproductos que fueron sometidos a temperatura, particularmente en los granos de destilería (Weiss *et al.*, 1989; Chase, 1991). Estas características, notorias en cuanto a sus contenidos de fracciones

fibrosas y a los contenidos de PC asociadas a éstas, pueden estar estrechamente relacionadas al proceso tecnológico utilizado en la obtención de alcohol de la planta, particularmente, a las temperaturas imperantes (130 °C) durante el proceso. Asimismo, si las proteínas sufren daño térmico probablemente esto se vea reflejado en un menor aprovechamiento digestivo de las mismas.

En el Cuadro 3, se presenta el fraccionamiento químico y los parámetros de la cinética de degradación ruminal de la PC del GS y de la BSH.

El fraccionamiento químico de la proteína asociado a las tasas de degradación en el rumen (CNCPS, Sniffen *et al.*, 1992) aporta información de disponibilidad de la proteína a nivel ruminal complementaria a la aportada por la cinética definida por el procedimiento in situ. En términos generales, en este trabajo los valores aportados por ambos procedimientos se corresponden. La fracción soluble "a" presente en el GS (18%) es superior a la proteína soluble estimada químicamente (4,2%) debido fundamentalmente a las pérdidas de partículas en bolsa de nylon, pero es coincidente con datos de granos de cereales reportados en la literatura (Nuez-Ortín y Yu, 2009). El valor

**Cuadro 3.** Fraccionamiento de la proteína cruda, parámetros de la cinética de degradación, degradabilidades efectivas y proteína no degradada de grano de sorgo y burlanda de sorgo húmeda.

Item	Grano de Sorgo	Burlanda de Sorgo húmeda
Proteína Cruda, %	6,84 (±0.23) b	31,36 (±0.69) a
<i>Fraccionamiento químico (% PC)<sup>1</sup></i>		
Fracción A (NNP)(degradabilidad instantánea)	1,3(±0,08)a	0,7(±0,17)b
Fracción B1 (rápidamente degradable)	2,9(±0,20)a	1,63(±0,18)b
Fracción B2 (degradabilidad intermedia)	60,5(±0,39)a	36,3(±2,88)b
Fracción B3 (lentamente degradable)	13,2(±5,89)b	27,7(±2,79)a
Fracción C (indegradable)	22,1(±5,86)b	33,7(±1,59)a
<i>Parámetros de cinética degradación in situ</i>		
Fracción soluble "a", % PC	18,2 (±2,15) a	0,0 (±0,36)b
Fracción potencialmente degradable "b", % PC	71,7 (±4,83)	71,0 (±0,0)
Tasa de degradación "c", %/h	1,9 (±0,42) a	1,1 (±0,10)b
Degradabilidad efectiva, % PC <sup>2</sup>	52,8(±0,95) a	25,5 (±1,76)b
Proteína no degradada en rumen, PNDR2, % PC	47,2	74,5

<sup>1</sup> Fraccionamiento según CNCPS (Sniffen et al., 1992).

<sup>2</sup> Estimada con tasa de pasaje (Kp) = 2%/h. Correspondiente a consumos a nivel de mantenimiento. Si el alimento formara parte de dietas de animales en producción se deben modificar los valores (ajustes por niveles de consumo superiores deprimen la entrega de nutrientes).

de proteína soluble (A+B1= 2,3%) de la BSH evaluada es cercano al valor "a" que estima el modelo de degradación *in situ*. Este comportamiento particular puede explicarse básicamente por 2 fenómenos: 1) proteína soluble existente pero que al ser alterada por el tratamiento térmico sufrido durante el proceso industrial se haya tornado insoluble, y/o 2) proteína soluble existente pero que no haya sido retenida en el subproducto debido al tamaño de la criba (4mm) utilizada en el proceso de retención del subproducto. Si bien la fracción potencialmente degradable "b" del GS y de la BSH son similares (70%), las distintas sub-fracciones que la componen presentan diferencias, en el GS prima la fracción de degradabilidad intermedia (B2), mientras que en la BSH lo hace la fracción de lenta degradabilidad (B3). Este comportamiento se asocia a la alta proporción de PC ligada a la pared celular (PCIDN equivalente al 60% de la PC y PCIDA equivalente al 30% de la PC) de la BSH y explicaría también la menor tasa de degradación "c" de la BSH comparada con el GS.

La combinación de los parámetros de la cinética de desaparición con una tasa de pasaje a nivel de consumo de mantenimiento (Kp = 2%/h), por ejemplo, estima un valor del orden del 25% de degradabilidad efectiva en rumen y por lo tanto "escapa" del mismo una proporción relativamente alta de proteína no de-

gradada en rumen o de sobrepaso (PNDR) -75% de PC- (Cuadro 3). Al igual que en esta evaluación, la bibliografía es consistente en describir a los granos de destilería en general como buena fuentes de proteína no degradable y con un aprovechamiento digestivo posterior elevado que dependerá fundamentalmente del proceso particular de cada planta industrial (Mustafa *et al.*, 2000). En este trabajo, la digestibilidad intestinal de la PNDR de la BSH fue 51,1% estimada mediante la técnica *in vitro* (Gargallo *et al.*, 2006), mientras que la digestibilidad en la totalidad del tracto digestivo calculada fue de 63,6% no habiéndose encontrado diferencias entre partidas (Cuadro 4). El valor promedio de digestibilidad de la PNDR se encuentra en los límites inferiores de los reportados en la literatura. Harty *et al.* (1998), reportan, además de una alta variabilidad de este indicador, que la variación estuvo más asociada al proceso industrial que a la especie del cereal. Otros estudios han mostrado que la disponibilidad de la PC a nivel intestinal está además relacionada con estructura químicas intrínsecas de las proteínas (Yu y Nuez-Ortin, 2010; Azarfar *et al.*, 2013). En el caso de la BSH, es posible que el tratamiento sufrido durante el proceso de obtención de etanol, -calentamiento, tratamiento con enzimas y ácidos- haya modificado la estructura de la proteína dejándola menos disponible para ser digerida en el

**Cuadro. 4.** Digestibilidad intestinal de la proteína no degradada en rumen y digestibilidad de la PC en la totalidad del tracto de la burlanda de sorgo húmeda.

Parámetro	Burlanda de sorgo húmeda
Proteína no degradada en rumen, % PC <sup>1</sup>	74,5
Digestibilidad intestinal de la proteína no degradada, % PNDR	51,1
Proteína no degradada digestible en intestino, % PC	38,1
Digestibilidad en la totalidad del tracto, % <sup>2</sup>	63,6

<sup>1</sup> Estimada según  $k_p = 2\%/h$ . <sup>2</sup> Digestibilidad de la PC en la totalidad del TGI: Degradabilidad de la PC + proteína no degradada digestible en intestino.

tracto gastrointestinal.

**La BSH es un subproducto con alto contenido de PC pero con un potencial moderado de proteína disponible a ser absorbida a nivel del tracto gastrointestinal.**

#### ***Relación entre energía y proteína disponibles a nivel ruminal***

La cantidad de proteína que llega al intestino del rumiante proviene básicamente de dos fuentes: la del alimento que no fue degradada o de sobrepaso y la sintetizada por los microorganismos (proteína microbiana). La proteína microbiana puede representar entre 40-100% de la proteína metabolizable disminuyendo al aumentar el contenido de proteína no degradable en la dieta (Van Soest, 1994). La eficiencia de síntesis de la proteína microbiana depende, entre otros factores, de la cantidad de energía y de nitrógeno (N) disponibles en el rumen. Así, la producción de proteína microbiana ruminal puede verse afectada por desbalances entre N y energía; la sincronización entre ambos es un factor importante en la optimización de la síntesis de proteína microbiana (Herrera-Saldana *et al.*, 1990). En dietas con N rápidamente disponible y fuentes de energía de liberación lenta, habrá un exceso de N que no será incorporado a la síntesis microbiana, disminuyendo la eficiencia de utilización del N. Por otro lado, con dietas que aporten elevada energía rápidamente disponible puede haber problemas de sincronización si no se dispone de fuentes nitrogenadas rápidamente degradables, disipando energía en otros procesos no relacionados con el crecimiento microbiano y disminuyendo también la eficiencia de síntesis microbiana.

En el presente trabajo se estimaron relaciones entre las cantidades disponibles de N y de MO a nivel ruminal para el GS y la BSH, utilizando la información obtenida de los ensayos *in situ*. Los valores ob-

tenidos fueron 8,4g de N efectivamente degradado/kg MO efectivamente degradada en el GS, mientras que en la BSH este valor ascendió a 29,4. La literatura reporta valores entre 23-47g de N/kg de MO fermentable a nivel de rumen para optimizar la eficiencia de síntesis de proteína microbiana (Hespell y Byant, 1979; ARC, 1984; INRA, 1988).

**La BSH presenta una relación de N efectivamente degradado en rumen respecto a la MO que se utiliza en rumen adecuada para la síntesis microbiana. Trabajos focalizados en el estudio de interacciones entre nutrientes y entre alimentos en dietas complejas podrían complementar estos estudios aportando información muy valiosa para la formulación de raciones.**

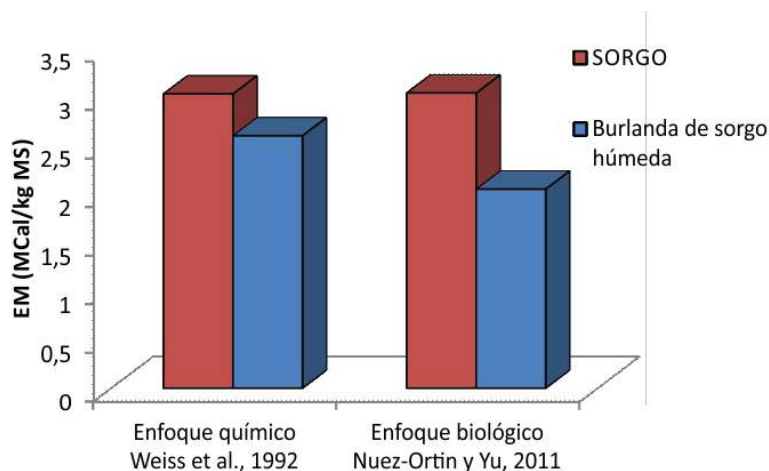
#### ***Estimación del aporte de energía***

El contenido de energía digestible, metabolizable y neta de los alimentos no se puede determinar por técnicas analíticas de laboratorio. Uno de los métodos más utilizados para estimar el contenido de energía utilizable de los alimentos, a diferentes niveles, es el uso de ecuaciones de predicción basadas en la composición química y/o en evaluaciones biológicas. Weiss *et al.* (1992), desarrollaron un modelo mecanístico para predecir valores de energía utilizando información de una gran variedad de alimentos. El modelo toma en cuenta la composición química e incorpora coeficientes empíricos para la digestibilidad de los diferentes nutrientes (CNF, PC, EE y FDN). “enfoque químico”. Resulta discutible si dichas ecuaciones estiman correctamente los valores energéticos para cualquier “condición de alimento”, particularmente para subproductos que se originan de procesos industriales poco estandarizados. Otros métodos utilizados para estimar los contenidos energéticos toman en cuenta el modelo sumativo de Weiss *et al.* (1992), pero, en lugar de incluir coeficientes

técnicos empíricos, estiman las digestibilidades verdaderas de los nutrientes a través de ensayos biológicos “enfoque biológico”. El método preferido por algunos investigadores y también sugerido por NRC (2001), por la similitud con las mediciones *in vivo*, es la estimación de los nutrientes desaparecidos luego de las 48 h de incubación *in situ*. Este enfoque mejora la estimación de la digestibilidad y consecuentemente del valor energético (Tamminga *et al.*, 1994; Yu, 2006). En la Figura 5, se presentan los valores estimados de EM del GS y de la BSH con el enfoque “químico” y “biológico”. En el GS se observa poca diferencia entre el enfoque químico y el biológico en los valores estimados (3,03 vs 3,04), mientras que

en la BSH se observa una mayor diferencia (2,6 vs 2,1). Esta diferencia se explica por la estimación de las digestibilidades de las fracciones PC y FDN; en el enfoque químico se sobrestima la digestibilidad de la PC y se subestima la de la FDN. Esto reafirma la importancia de la utilización de métodos biológicos en condiciones locales de evaluación, principalmente en subproductos como la BSH.

**Desde el punto de vista de la concentración energética, la BSH presenta un valor de EM de 2 Mcal/Kg de MS que puede ser equivalente a la del afrechillo de trigo o a la de una “pastura de buena calidad”.**



**Figura 5.** Estimación de valores energéticos según enfoque químico y biológico para grano de sorgo y burlanda de sorgo húmeda.

## CONSIDERACIONES FINALES

La evaluación del principal subproducto de la producción de etanol de la Planta de ALUR Paysandú (evaluado como único alimento y no como componente de una dieta) permitió generar coeficientes técnicos de entrega efectiva de nutrientes. A pesar de que existe poca información internacional sobre este subproducto en particular, la información generada fue consistente en algunos aspectos con la literatura mientras que en otros aspectos se destacaron características propias de este subproducto.

- La homogeneidad de las características nutricionales de las partidas de BSH sugieren que el proceso industrial es estable y controlado.
- El contenido de humedad de la BSH con que sale de la planta industrial condiciona la actividad biológica que se desarrolla posteriormente.
- La variabilidad de la carga microbiana inicial y la inestabilidad de la BSH requiere realizar control

del contenido de micotoxinas al ingreso a planta de los granos con los cuales se va a producir el etanol, así como también tener presente este elemento cuando los granos de destilería se utilicen en las dietas de animales domésticos, por los posibles efectos adversos sobre la productividad, salud animal y la inocuidad alimentaria.

- La BSH evaluada se presenta como un material inestable, no pudiéndose utilizar después de los 5 días de estoqueado (desde el momento que se obtiene en planta). Es recomendable pensar en la conservación de este material bajo forma de ensilado, sólo, con el agregado de aditivos o en mezcla con otros alimentos.
- La BSH es un subproducto con alto contenido de humedad, fibra y proteína cruda. Su contenido promedio de MS es 33% y su composición en nutrientes -en base seca- es: 30% de PC, 11% de EE y 70% de FDN (este último valor incluye 19% de PC ligada a la FDN). El valor medio estimado de energía

metabolizable para rumiantes es 2 Mcal/kg MS.

- El potencial de entrega de energía a nivel ruminal que presenta la BSH a partir de la MO es el 65% de la que es capaz de dar el GS, siendo diferentes los precursores de esta energía (almidón en GS vs fibra en BSH). Los elevados valores de fibra, degradabilidad potencial y de las tasas de fermentación de la misma aseguran, que a nivel ruminal, el potencial energético de la BSH proviene de la fibra.

- La cinética de utilización ruminal de la PC define una entrega de nitrógeno lenta y constante que le imprime como característica sobresaliente una proporción de proteína no degradada de intermedia a alta en función del tránsito digestivo. La utilización digestiva en el tracto posterior de esta proteína de sobrepaso, a su vez, presenta un valor moderado (52% del valor de la digestibilidad intestinal de harina de soja) que termina definiendo una buena utilización digestiva de la PC en la totalidad del tracto: 63,6%.

Sería recomendable evaluar alternativas tecnoló-

gicas para la conservación de la BSH e incorporar evaluaciones con animales que permitan valorar niveles de inclusión en diferentes tipos de dietas. Esto último resulta relevante dado el alto contenido lipídico que podría interferir con la utilización de otros nutrientes y/o alterar la calidad de producto final animal. Asimismo, los estudios con animales permitirán definir el “rol” de este subproducto como ingrediente en dietas para animales.

En el marco de un cambio en las condiciones de la matriz energética de nuestro país, y promoviendo el concepto de “nada se tira, todo se aprovecha”, la oportunidad de uso en forma directa o indirecta de este subproducto mediante industrias pecuarias y/o agroalimentarias derivadas, es central para lograr mayor movimiento económico y una agroindustria sostenible. Asimismo, se podría agregar valor al subproducto, por ejemplo, a través de la reducción de su contenido de humedad y/o de aceite convirtiéndolo en un subproducto menos perecedero.

## BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. 1990.** Official Methods of Analysis, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- ARC. AUSTRALIAN RESEARCH COUNCIL. 1984.** The nutrient requirements of ruminant livestock. Supp. No. 1. Commonwealth Agricultural Bureaux, London, UK.
- AZARFAR, A.; JONKER, A.; YU, P. 2013.** Protein structures among bio-ethanol co-products and its relationships with ruminal and intestinal availability of protein in dairy cattle. *Int. J. Mol. Sci* 14: 16802-16816.
- BELYEA, R. L.; RAUSCH, K. D.; TUMBLESONET, M. E. 2004** Composition of corn and distillers dried grains with soluble from dry grind ethanol processing. *Bio-resource Technology* 94: 293-298.
- BREMMER. 1960.** In *Methods of soil analysis - Chemical and Microbiological properties*. Eds. Black, C.A.; Evans, D.D.; Evans, J.L.; Ensminger L.E. Clark F.E. and Dinamuer R.C. American Society of agronomy, Inc.
- CHASE, L.E. 1991.** Feeding distillers grains and hominy feed. *Proc. Alternative Feeds for Dairy and Beef Cattle, Nad. Invit. Symp.*, St. Louis, MO (Jordan, E.R., Ed.). 15 - 19 p. Columbia, MO: Coop. Ext., Univ. of Missouri.
- FAO. 2013.** Quality assurance for microbiology in feed analysis laboratories. Ed. Harinder P.S. Makkar. *FAO Animal Production and Health Manual No. 16*. Rome.
- FEDNA. 2012.** Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. <http://www.uco.es/servicios/nirs/fedna/tablas/subpce realTEX.pdf>.
- GARCÍA, A. D.; KALSCHUR, K. F. 2004.** Ensiling wet distillers' grains with other feeds. *SDSU Extension Extra 4029*. May 2004.
- GARGALLO, S.; CALSAMIGLIA, S.; FERRET, A. 2006.** Technical note: A modified three-step in vitro procedure to determine intestinal digestion of proteins. *J. Anim. Sci.* 84:2163-2167.
- HARTY, S. R.; AKAYEZU, J. M.; LINN, J. G.; CASSADY, J. M. 1998.** Nutrient composition of distillers grains with added soluble (abstract). *J. Dairy Sci.* 81:1201.
- HERRERA-SALDANA, R.; GOMEZ-ALARCON, R.; TORABI, M.; HUBER, T. 1990.** Influence of synchronizing protein and starch degradation in the rumen on nutrient utilization and microbial protein Synthesis. *J. Dairy Sci.* 73: 142-148.
- HESPELL, R. B.; BRYANT, M. P. 1979.** Efficiency of rumen microbial growth: influence of some theoretical and experimental factors on YATP. *J. of Anim. Sci.* 49: 1640-1659.
- INRA. 1988.** Alimentation des bovins, ovins et caprins. INRA Editions. 471 p.
- LICITRA, G.; HERNANDEZ, T. M.; VAN SOEST, P. J. 1996.** Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. and Tech.* 57:347-358.
- MARICHAL, M. J.; TRUJILLO, A. I.; CARRIQUIRY, M. 2006.** Intestinal digestibility of ADIN in grazed forages and agro-industrial by-products. *J. Anim. Sci.* Vol 84. Suppl. 1. 370 p.
- MAXSON, E. D.; ROONEY, L. W. 1972** Evaluation of Methods for Tannin Analysis in Sorghum Grain. *Cereal Chemistry* 49: 719-729.
- MUSTAFA, A. F.; MCKINNON, J. J.; INGLEDEW, M. W.; CHRISTENSEN, D. A. 2000.** The nutritive value for ruminants of thin stillage and distillers' grains derived from wheat, rye, triticale and barley. *J. Sci. Food Agric.* 80:607-613.
- NRC. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 2001.** Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Rev. Ed. National Academy Press, Washington, DC.
- NUEZ-ORTIN, W.; YU, P. 2011.** Using the NRC chemical summary and biological approaches to predict energy values of new co-product from bio-ethanol production for dairy cows. *Anim. Feed Sci. and Tech.* 170: 165-170.
- NUEZ-ORTIN, W. G.; YU, P. 2009.** Nutrient variation and availability of wheat DDGS, corn DDGS and blend DDGS from bioethanol plants. *J. Sci. Food Agric.* 89:1754-1761.
- ORSKOV, E. R.; DE, B.; HOVELL, F. D.; MOULD, F. 1980.** The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Trop. Anim. Prod.* 5: 195-213.

- PLAYNE, M. J.; MCDONALD, P. 1966.** The buffering constituents of herbage and of silage. *J. Sci. Food Agric.* 17: 264-268.
- SNIFFEN, C. J.; O'CONNOR, J. D.; VAN SOEST, P. J.; FOX, D. G.; RUSSELL, J. B. 1992.** A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability. *J. of Anim. Sci.* 70:3562-3577.
- TAMMINGA, S.; STRAALLEN, W. M.; SUBNEL A. P. J.; MEIJER, R. G. M.; STEG, A.; WEVER, J. G.; BLOCK, M. C. 1994.** The Dutch protein evaluation system: the DVE/OEB-system. *Livest. Prod. Sci.* 40:139-155.
- VAN SOEST, P. J. 1994.** Nutritional ecology of the ruminant. 2nd Ed, Cornell University Press, Ithaca, NY. pp 436.
- VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. 1991.** Methods for dietary fiber neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.
- WEISS, W. P.; CONRAD, H. R.; PIERRE, N. R. S. T. 1992.** A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates, *Anim. Feed Sci. and Tech.* 39: 95-110.
- WEISS, W. P.; ERICKSON, D. O.; ERICKSON, G. M.; FISHER, G. R. 1989.** Barley distiller's grains as a protein supplement for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72, 980-987.
- YU, P.; NUEZ-ORTIN, W. 2010.** Relationship of protein molecular structure to metabolisable proteins in different types of dried distillers grains with solubles: A novel approach. *Br. J. Nutr.* 104: 1429-1437.
- YU, P., 2006.** Using chemical and biological approaches to predict energy values of selected forages affected by variety and maturity stage. *Asian Austral. J. Anim. Sci.* 17: 228-236.



CANQUE