

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES Y EVALUACIÓN DE LA
ESTABILIDAD BIOANALÍTICA DE GRANOS DE DESTILERÍA**

por

Joaquín IRIÑIZ

**Trabajo final presentado como uno
de los requisitos para obtener el
título de diplomado en Producción
Animal y Agronegocios**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2018**

AGRADECIMIENTOS

A Vale, mi futura esposa, por todo el apoyo y motivación para la concreción y culminación del trabajo.

A la empresa Alcoholes del Uruguay S.A, por el apoyo y permitirme realizar el desarrollo de este trabajo.

Al director de tesis Pablo Chilibroste.

A Ana Inés Trujillo por la colaboración en la corrección y el aporte al trabajo.

A los técnicos Juan Michelena, Dunyesky Rodríguez, Juana Galindo, Rafael Rodríguez y Arabel Hernández, quienes me dieron el impulso para la realización de este estudio.

A Walter Bisio y Fabiana Chialanza por la colaboración en la obtención de datos.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN.....	VI
SUMMARY.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. PROCESO DE OBTENCIÓN DE LOS GRANOS DE DESTILERÍA.....	3
2.1.1. <u>Descripción del proceso de obtención de DDGS Y WDGS en planta bioetanol Paysandú – Uruguay</u>	3
2.1.1.1. Recepción y almacenamiento de materia prima.....	4
2.1.1.2. Molienda.....	4
2.1.1.3. Licuefacción.....	4
2.1.1.4. Sacarificación y fermentación.....	5
2.1.1.5. Destilación.....	5
2.1.1.6. Deshidratación.....	6
2.1.1.7. Centrifugación.....	6
2.1.1.8. Evaporación.....	6
2.1.1.9. Secado	7

2.1.1.10. Pelletizado.....	7
2.2. CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES DE LOS GRANOS DE DESTILERÍA.....	8
2.2.1. <u>Fuentes de granos a partir de los cuales se producen granos de destilería</u>	8
2.2.1.1. Composición nutricional de granos de destilería producidos en Uruguay a partir del sorgo grano.....	13
2.2.2. <u>Valor energético de los granos de destilería</u>	14
2.2.3. <u>Composición y características de la proteína de los granos de destilería</u>	16
2.2.3.1. Contenido de proteína cruda.....	16
2.2.3.2. Degradabilidad de la proteína de los granos de destilería de diferentes cereales.....	17
2.2.3.3. Digestibilidad de diferentes nutrientes de los granos de destilería.....	21
2.2.3.4. Disponibilidad de la proteína de los granos de destilería.....	24
2.2.3.5. Composición de los aminoácidos contenidos en los granos de destilería.....	27
2.2.4. <u>Características nutricionales de la fibra (FDN y FDA)</u>	29
2.2.4.1. Contenido de fibra.....	29
2.2.4.2. Fibra efectiva.....	31
2.2.4.3. Digestibilidad de la FDN y FDA.....	32
2.2.5. <u>Composición de la grasa en los granos de destilería</u>	34
2.2.5.1. Perfil de ácidos grasos.....	37

2.2.6. <u>Contenido de minerales de los granos de destilería</u>	38
2.2.7. <u>Precauciones a tener en cuenta con el uso de los granos de destilería</u>	39
2.2.7.1. Contenido de azufre.....	39
2.2.7.2. Micotoxinas en los granos de destilería.....	41
2.2.7.3. Uso de antibióticos en la producción de los DDGS.....	43
2.3. FORMAS DE CONSERVACIÓN DE LOS GRANOS DE DESTILERÍA.....	45
2.3.1. <u>Proceso de almacenamiento de los granos húmedos de destilería</u>	46
2.3.1.1. Almacenamiento en silo bolsa.....	47
2.3.1.2. Silo bunker o trinchera.....	49
2.3.2. <u>Indicadores de calidad de los silos</u>	49
3. <u>EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD BIOANALÍTICA DE GRANOS DE DESTILERÍA HÚMEDOS</u>	51
3.1. OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS.....	51
3.2. OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN EN ESTABLECIMIENTO O EN LA ZONA.....	51
3.3. CARACTERIZACIÓN ANALÍTICA	52
3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	53
4. <u>CONSIDERACIONES FINALES</u>	54
5. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	56
6. <u>ANEXO</u>	64

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es realizar una revisión bibliográfica, en las características nutricionales de los granos de destilería con énfasis en los obtenidos a partir de grano de sorgo, sus alternativas de almacenamiento y sus potencialidades de ser empleados en la alimentación de vacas lecheras. En el proceso de obtención, el almidón del grano es fermentado para obtener alcohol etílico, los demás componentes del grano, proteína, grasa, minerales, entre otros se concentran por 3 y 3,5 veces del valor del grano original. En los DDGS (granos secos de destilería con solubles) de Sorgo, el contenido de proteína cruda es de 32,5%, extracto etéreo de 10,5 y el contenido de fibra como FDN (fibra detergente neutra) y FDA (fibra detergente ácido), es de 36,5% y de 22,1, respectivamente. Se destaca de la revisión que la composición química DDGS y WDGS (granos húmedos de destilería) de maíz concentran un 9,3% mayor contenido de grasa (promedio DDGS-WDGS) y 3,12 % más de energía (2,97 vs 2,88) que los DDGS y WDGS de sorgo. En cambio los DDGS y WDGS de sorgo concentran 10,5% mayor contenido de proteína, 7% mayor FDN, y 26,2% mayor FDA que los DDGS y WDGS de maíz. La digestibilidad aparente de la materia orgánica, fueron mayores en granos húmedos de destilería en relación a los secos tanto para maíz como para sorgo (SDDDG y MDDGS). La digestibilidad total de la proteína fue mayor en harina de soja (93,9%) en relación a los DDGS. Entre las diferentes fuentes de DDGS, la digestibilidad de la proteína tuvo una variación entre 70,7 y 81,9%. En relación al almacenamiento, la utilización de los granos húmedos de destilería tiene como limitante la vida útil que va de cuatro a siete días en dependencia de la temperatura. Se reporta que una de las opciones viables desde el punto de vista de la conservación, puede ser en silo bolsa o silo trinchera, con la condición de que esté libre de oxígeno para mantener la estabilidad del producto.

Palabras clave: granos de destilería; digestibilidad y almacenamiento.

SUMMARY

NUTRITIONAL CHARACTERISTICS AND EVALUATION OF BIOANALYTIC STABILITY OF DISTILLERY GRAINS

The objective of this work is to carry out a bibliographic review, on the nutritional characteristics of the distillery grains, with an emphasis on those obtained from grain sorghum, its storage alternatives and its potential to be used in dairy cows. In the process of obtaining, the starch of the grain is fermented to obtain ethyl alcohol, the other components of the grain, protein, fat, minerals, among others are concentrated by 3 and 3.5 times of the value of the original grain. In sorghum DDGS (dry distillers grain whit solubles), the crude protein content is 32.5%, ethereal extract of 10.5 and the fiber content as NDF (neutral detergent fiber) and ADF (acid detergent fiber), is 36.5% and 22.1, respectively. It is highlighted from the review that the chemical composition DDGS and WDGS (wet distillers grain whit solubles) of corn concentrate a 9.3% higher fat content (average DDGS-WDGS) and energy (2.9 vs 2.88) than the DDGS and WDGS of sorghum. In contrast, sorghum DDGS and WDGS concentrate 10.5% higher protein content, 7% higher NDF, and 26.2% higher ADF than maize DDGS and WDGS. The apparent digestibility of organic matter was higher in distiller's wet grains in relation to dry ones for both corn and sorghum (SDDGS and MDDGS). The total digestibility of the protein was higher in soybean meal (93.9%) in relation to DDGS. Among the different sources of DDGS, the digestibility of the protein varied between 70.7 and 81.9%. In relation to storage, the use of wet distiller's grains is limited to the useful life that ranges from four to seven days depending on the temperature. It is reported that one of the viable options from the point of view of conservation, can be in silo bag or silo trench, with the condition that it is free of oxygen to maintain the stability of the product.

Keywords: distillery grains; digestibility and storage.

1. INTRODUCCIÓN

En el marco del cumplimiento de la ley de Agrocombustibles N° 18.195 (Uruguay. Poder Legislativo. 2007), ALUR (Alcoholes del Uruguay S.A), empresa dedicada a la producción de biocombustibles, produce Bioetanol a partir de granos de cereales, para ser mezclado en las gasolinás a nivel local o para exportación. A partir de este procesamiento, genera más de 30.000 toneladas anuales de coproductos, como los DDGS (granos secos de destilería con solubles), y WDGS (granos húmedos de destilería con solubles), utilizando como materia prima principal (más de un 80 %) el grano de sorgo.

Los granos de destilería con solubles (DDGS o WDGS), son una importante fuente de alimentos para el ganado y su empleo puede sustituir importantes componentes de la dieta de los rumiantes, como las fuentes de proteínas importadas, y/o fuentes energéticas como los granos de maíz y de sorgo.

Las importaciones de DDGS de maíz desde Argentina viene en aumento desde el 2014, con aproximadamente 35.000 toneladas, en 2015, aproximadamente 47.000 toneladas y en el 2016 se importaron aproximadamente 62.000 toneladas. También se importan fuentes de proteínas como pellet de girasol y algodón que sumaron entre ambas en 2014, 51.000 toneladas, en 2015 aproximadamente de 37.00 toneladas y en 2016, cerca de 26.000 toneladas. En el caso de pellet de soja las importaciones desde el 2014 fueron aproximadamente de 61.000 toneladas, en 2015 en torno a 48.000 toneladas y en 2016, aproximadamente de 32.000 toneladas (Sistema Nacional de Aduana, 2016).

Con la producción nacional de este tipo de coproductos se podría sustituir gran parte de lo importado, logrando mayores beneficios económicos para los productores agropecuarios, debido a que se obtendría

un producto de similares características nutricionales a un menor precio por kilogramo de materia seca (MS) (Ver anexo I).

En la literatura existe mucha información sobre los DDGS de maíz, sin embargo, es limitada la información que se encuentra sobre el valor nutritivo de los DDGS de sorgo y específicamente, su utilización con vacas lecheras.

El siguiente trabajo, tiene como objetivo realizar una revisión bibliográfica, en las características nutricionales de los granos de destilería con énfasis en los obtenidos a partir de grano de sorgo, sus alternativas de almacenamiento, así como describir una metodología para el estudio de vida útil de los granos húmedos de destilería.

La información presentada los granos de destilería de sorgo, fue obtenida por los propios análisis realizados por la empresa en un laboratorio comercial.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. PROCESO DE OBTENCIÓN DE LOS GRANOS DE DESTILERÍA

Los granos de destilería se obtienen del residuo de la obtención de etanol como biocombustible, a partir de diversos granos ricos en almidón (maíz, sorgo, trigo y cebada). En la producción de etanol, el almidón es fermentado para obtener alcohol etílico que será destinado para las mezclas de naftas. Los demás componentes del grano, proteína, grasa, minerales, entre otros, se concentran 3 a 3,5 veces del valor del grano original.

2.1.1. Descripción del proceso de obtención de DDGS Y WDGS en planta bioetanol Paysandú – Uruguay

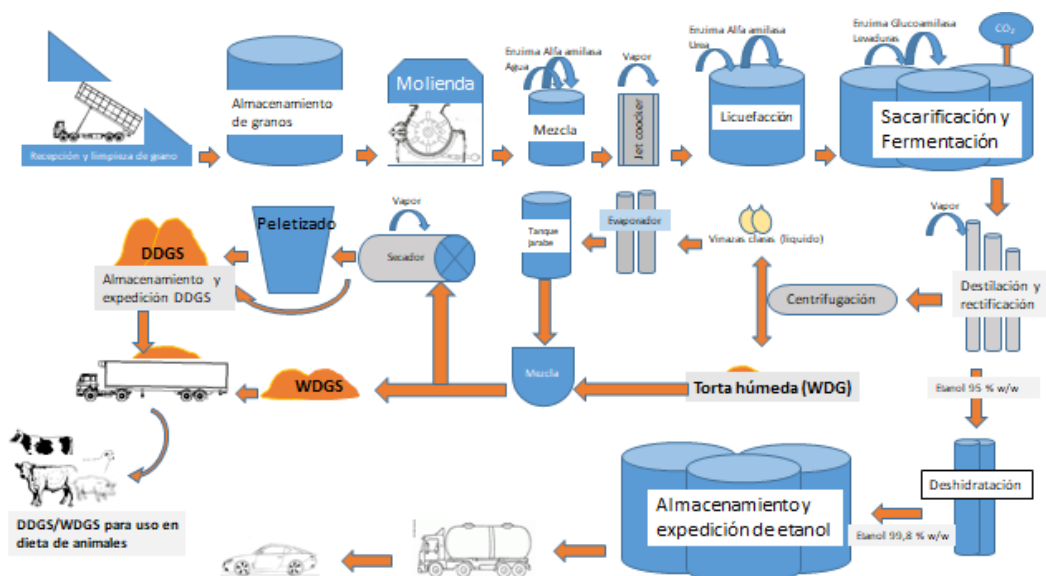


Figura 1. Adaptado de descripción del proceso de alcohol – Planta Bioetanol Paysandú. Fuente: Comunicación personal (F. Chialanza, agosto 2015).

A continuación se describe cada paso dentro del proceso de obtención de DDGS y WDGS:

2.1.1.1. Recepción y almacenamiento de materia prima

Los granos de cereales (sorgo, maíz, trigo o cebada), llegan a planta en camiones y según su condición de humedad (máximo 14%), origen, limpieza, son destinados a los silos de almacenamiento.

2.1.1.2. Molienda

El proceso inicial para la obtención de alcohol y DDGS, comienza con la etapa de limpieza para luego ser sometidos a la molienda, contando con dos molinos martillos para tal fin. El objetivo es que el grado de molienda de la harina sea menor a 1 mm y exponer el almidón del grano para favorecer la hidrólisis en las etapas posteriores al proceso.

2.1.1.3. Licuefacción

La harina obtenida en el proceso anterior, es mezclada con agua y enzimas para obtener una pasta. Esa pasta es sometida a un proceso llamado cocción donde los gránulos de almidón son hidrolizados por la acción conjunta de vapor (jet cooker), presión y posterior flash (consiste en una sola etapa de destilación, simple, de equilibrio), en un tanque para compensar la presión. En esta etapa se adiciona, enzima alfa amilasa y urea. Se procede al enfriamiento de la mezcla de pasta con enzimas y urea (mash) obtenido hasta una temperatura de 32 °C y es enviado al siguiente proceso.

2.1.1.4. Sacarificación y fermentación

El mash es enviado a los fermentadores donde se produce el proceso de sacarificación y fermentación simultáneas mediante la adición de enzimas y levaduras. En este proceso, las cadenas de oligosacáridos existentes terminan de romperse y liberar los monómeros de glucosa. Mientras esta glucosa se va liberando, las levaduras la van convirtiendo en etanol mediante fermentación alcohólica. Los fermentadores se mantienen refrigerados (mediante un sistema de recirculación a través de intercambiadores de calor) durante todo el proceso, para asegurar que la temperatura del mash sea la óptima para las levaduras que se empleen. El proceso completo de llenado, fermentación, vaciado y limpieza de fermentadores abarca 60 horas.

2.1.1.5. Destilación

El mosto fermentado (beer) tiene una concentración de etanol de 10% y es enviado a destilación, donde es concentrado, purificado y posteriormente deshidratado. El sistema de destilación se compone de dos columnas principales: una columna de mosto y una columna de rectificación, capaces de procesar mosto fermentado con un 10% w/w (peso del soluto/peso total de la solución) de contenido de etanol. El beer se carga en las columnas de mosto, en las cuales el material sólido se separa y deposita en el fondo. Este material se conoce como vinaza y se compone de la mayoría de los nutrientes provenientes del grano a excepción del almidón. El producto pesado procedente de la columna de mosto se carga en la rectificadora, para su rectificación y luego se sobrecalienta y pasa a través de un tamiz molecular, para su deshidratación. La columna de rectificación se calienta indirectamente con vapor primario suministrando energía térmica al reboiler (intercambiador de calor) de la columna de mosto.

2.1.1.6. Deshidratación

El sistema de deshidratación se emplea para eliminar agua por encima del punto azeotrópico del alcohol destilado. Se compone de dos tamices moleculares que trabajan en paralelo y de forma alternativa: mientras uno deshidrata, el otro se regenera. La unidad de deshidratación se compone de dos torres de deshidratación paralelas. Después de un tiempo, la alimentación se desvía de la primera a la segunda torre. Las dos torres se alternan entre sí de esta manera, con el fin de ofrecer un producto seco en todo momento.

2.1.1.7. Centrifugación

Las vinazas procedentes de la destilación del mosto de cereal fermentado, se tratan mediante un proceso de decantación, evaporación y secado para producir alimento animal (DDGS o WDGS). El sistema de centrifugación de vinazas separa la misma en dos fases; una fase sólida, denominada torta húmeda (wet cake), y una fase líquida, denominada vinazas claras (thin stillage).

2.1.1.8. Evaporación

Las vinazas claras obtenidas en el proceso anterior se envían a los evaporadores donde se concentran los sólidos suspendidos y disueltos contenidos en las mismas para convertirlos en un jarabe o syrup. Una vez que las vinazas claras se han concentrado en el evaporador, son mezcladas con la torta. Esta mezcla puede comercializarse tanto húmeda (WDGS) en cuyo caso se deriva a carga de camiones; o a obtener un producto seco (DDGS) siguiendo los procesos descritos en 9 y 10.

2.1.1.9. Secado

Este proceso se aplica a la elaboración de DDGS y DDG (granos secos de destilería sin solubles). En el caso de la producción de DDGS, previo al ingreso al equipo de secado, la torta húmeda y el jarabe son mezclados en un mezclador de alta velocidad. Debido a que el contenido de humedad de esta mezcla es muy elevado, éste producto es luego mezclado con producto seco reciclado y así se asegura un contenido homogéneo de la mezcla previa al secado.

Para el secado se utilizará un sistema múltiple de secaderos de vapor rotativos (haz de tubos). Inmediatamente después del secado, el producto pasa por un enfriador para acondicionarlo previo a la entrada a la pelletizadora.

2.1.1.10. Pelletizado

Mediante este proceso se convierte el DDGS en polvo procedente del secado de los residuos de sorgo mezclados con el jarabe en pequeños gránulos cilíndricos (aprox. 8 mm de diámetro).

En todo el proceso de obtención de etanol, por cada tonelada de materia prima ingresada a planta, se producen unos 400 litros de etanol anhidro (99,8 % de pureza), 270 kg de DDGS (90% de MS) y el resto se produce CO₂, que puede ser utilizado como gas en las bebidas gaseosas (comunicación personal, W. Bisio, setiembre 2015).

2.2. CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES DE LOS GRANOS DE DESTILERÍA

2.2.1. Fuentes de granos a partir de los cuales se producen granos de destilería

En los Estados Unidos el principal cereal utilizado para la producción de biocombustible es el grano de maíz. En ciertos estados americanos (Kansas) utilizan sorgo, mientras que, el trigo es utilizado en Canadá y la cebada en los países del norte de Europa. En el caso de España, ha utilizado indistintamente los cuatro cereales (De Blas, et al., 2007).

Considerando que en el Uruguay, la materia prima más utilizada es el grano de sorgo para la producción de etanol, a continuación se va a comparar con el grano que mayormente es utilizado a nivel mundial y sobre el cual existe abundante investigación: el DDGS de maíz, sin descartar las características nutricionales del DDGS de trigo y cebada.

En el cuadro 1, se presenta una recopilación de composición química de diferentes granos de destilería a nivel internacional, reportado por diferentes autores y una recopilación a nivel nacional de las diferentes fuentes de granos de destilería, complementando con información de degradabilidades efectivas y digestibilidades de la MS o materia orgánica (MO) y/o sus principales componentes (continuación cuadro 1).

Más adelante, en el transcurso de la revisión se detalla cada parámetro descripto en el cuadro.

Ver página siguiente (el cuadro se divide en dos por espacios):

Abreviaturas Cuadro 1: MS: Materia seca; FDA: Fibra Detergente Ácida; FDN: Fibra Detergente Neutra; PC: Proteína Cruda; EE: Extracto Etéreo; PCIDA: Proteína Cruda Insoluble Detergente Ácida (%PC); Cen: Cenizas; FB: Fibra Bruta; EM: Energía Metabolizable; ENm: Energía Neta mantenimiento; ENg: Energía Neta ganancia; ENl: Energía Neta lactación; DDGS: Granos Secos de Destilería con Solubles; WDGS: Granos Húmedo de Destilería con Solubles; Aminoácido: Lys: Lisina; Met: Metionina; Thr: Treonina; Ile: Isoleucina; Val: Valina; Arg: Arginina; His: Histidina; Leu: Leucina; Fenil: Fenilalanina; AAE: Aminoácidos Esenciales; C_{16:0}: Ácido Palmítico. C_{18:0}: Ácido esteárico. C_{18:1}: Ácido oleico. C_{18:2}: Ácido α -linolénico. C_{18:3}: Ácido α -linolénico. Ca: Calcio; P: Fosforo; K: Potasio; S: Azufre; Mg: Magnesio; Na: Sodio; Alm: Almidón; DE =Degradabilidad efectiva (%) a = fracción soluble (%). b = fracción potencialmente degradable (%). c = tasa de degradación (%/hora). PNDR: Proteína No Degradable en Rumen; Dig. Int. PNDR: Digestibilidad Intestinal; MO: Materia Orgánica; S/T: Mezcla Sorgo/Trigo; S/M: Mezcla Sorgo/Maíz; M/T: Mezcla Maíz/Trigo.

Cuadro 1. Composición química promedio (base MS) de los granos de destilería a nivel nacional e internacional.

TIPO DE GRANOS DE DESTILERÍA	MS %	PC % MS	EE % MS	FDN % MS	FDA % MS	ADIN % MS	Cen % MS	EM Mcal/kg MS	EN m Mcal/kg MS	EN g Mcal/kg MS	EN l Mcal/kg MS	Ca % MS	P % MS	K % MS	S % MS	Mg % MS	Na % MS	Alm. % MS
DDGS SORGO	91,07 ³	32,48 ⁴	10,50 ⁴	36,45 ⁴	22,10 ⁴		4,70 ¹	2,88 ¹	2,49 ¹	1,73 ¹	2,24 ¹	0,10 ¹	0,78 ¹		0,66 ¹			
WDGS DE SORGO	35,30 ¹	35,10 ²	12,35 ²	41,30 ¹	25,45 ²							0,10 ¹	0,76 ¹	0,99 ¹	0,66 ¹			
DDGS MAIZ	90,54 ⁵	29,23 ⁵	11,45 ⁵	35,82 ⁵	17,13 ⁵	7,45 ²	4,97 ³	2,97 ²	2,21 ³	1,55 ²	2,17 ²	0,16 ²	0,81 ²	1,10 ¹	0,52 ²	0,33 ¹	0,30 ¹	5,00 ¹
WDGS MAIZ	34,45 ²	31,33 ³	13,43 ³	36,90 ²	18,40 ³		5,50 ¹		2,21 ¹			0,06 ²	0,79 ²	0,91 ²	0,59 ²	0,32 ¹	0,17 ¹	
DDGS DE TRIGO		36,10 ²	4,95 ²	36,20 ²	14,50 ²	7,10 ¹	4,50 ¹	2,70 ¹	2,04 ²	1,56 ¹	1,91 ²	0,18 ¹	0,96 ¹		0,44 ¹			3,60 ¹
DDGS DE CEBADA	91,90 ¹	24,80 ²	5,40 ²	47,45 ²	20,75 ²	5,70 ¹	4,20 ¹	2,59 ¹	1,82 ²	1,24 ¹	1,69 ²	0,20 ¹	0,80 ¹					1,10 ¹
GRANOS DE DESTILERÍA URUGUAY																		
DDGS DE SORGO	90,57 ⁴⁵	31,00 ⁴⁵	11,49 ⁴⁵	31,33 ⁴⁵	15,33 ⁴⁵	6,44 ⁴⁵	5,74 ⁴⁵	2,78 ²				0,40 ¹	1,50 ¹		0,10 ¹			
DDGS DE TRIGO	91,30 ¹¹	34,59 ¹¹	5,63 ¹¹	23,82 ¹¹	11,91 ¹¹	2,91 ¹¹	5,13 ¹¹	2,86 ¹										
DDGS DE MAIZ	90,90 ²	30,70 ²	14,95 ²	28,00 ²	12,50 ²	6,15 ²	5,15 ²											
DDGS S/T	91,25 ¹⁶	31,96 ¹⁶	8,89 ¹⁶	30,19 ¹⁶	13,63 ¹⁶	4,36 ¹⁶	5,63 ¹⁶											
DDGS M/T	90,25 ⁴	32,55 ⁴	11,33 ⁴	24,50 ⁴	11,75 ⁴	3,70 ⁴	5,03 ⁴											
DDGS S/M	92,16 ⁹	30,67 ⁹	12,64 ⁹	29,22 ⁹	13,33 ⁹	4,93 ⁹	5,73 ⁹											
	AMINOÁCIDOS										ÁCIDOS GRASOS							
	Lys % PC	Met % PC	Thr % PC	Ile % PC	Val % PC	Arg % PC	Hist % PC	Leu % PC	Fenil % PC	TOTAL AAE	C16:0 (%)	C18:0 (%)	C18:1 (%)	C18:2 (%)	C18:3 (%)			
DDGS SORGO	2,20 ¹	1,70 ¹	3,50 ¹	4,40 ¹	5,40 ¹	3,60 ¹	2,30 ¹	13,60 ¹	5,50 ¹	42,30 ¹	1,20 ¹		2,19 ¹	3,17 ¹	0,21 ¹			
DDGS MAIZ	1,90 ¹	1,70 ¹	3,60 ¹	3,40 ¹	4,50 ¹	4,10 ¹	2,60 ¹	8,60 ¹	4,60 ¹	34,90 ¹	1,06 ¹	0,16 ¹	2,05 ¹	4,33 ¹	0,10 ¹			
DDGS DE TRIGO	2,00 ¹	1,80 ¹	2,70 ¹	2,40 ¹	3,20 ¹	3,70 ¹	1,90 ¹	5,90 ¹	4,30 ¹	27,90 ¹	0,60 ¹	0,05 ¹	0,47 ¹	1,80 ¹	0,16 ¹			
DDGS DE CEBADA	1,10 ¹	0,80 ¹	2,80 ¹	2,40 ¹	3,20 ¹	5,20 ¹	0,90 ¹	6,00 ¹	3,30 ¹	25,80 ¹	0,82 ¹		0,46 ¹	2,00 ¹	0,21 ¹			

Fuentes: Kalscheur et al., (2012); May et al., (2010); FEDNA, (2012); Urriola et al., (2009); Al-Suwaiegh et al., (2002); Datos aportados por laboratorio ALUR, realizados en LAAI (Laboratorio Analítico Agroindustrial); NRC, (2001); Kleinschmit, et al. (2007); Chrenková et al., (2012); Lodge et al., (1997); Wild et al., (2015). Trujillo et al., (2016). Los números en superíndice indican la cantidad de trabajos que hacen el promedio del parámetro.

Continuación Cuadro 1. Composición química promedio (base MS) de los granos de destilería a nivel nacional e internacional.

	DEGRADABILIDAD					DIGESTIBILIDAD					
	MS	PC				PNDR	Dig. Int PNDR	Aparente Materia Orgánica	FDN	Aparente PC	Total Proteína
	(%)	DE, % PC	a (1)	b (2)	c (3)	%PC	% PNDR	%	%	%	%
DDGS SORGO	46,80 ¹					64,50 ¹	37,50 ¹	73,70 ¹	76,30 ¹	74,20 ¹	88,10 ¹
WDGS DE SORGO								80,80 ¹	75,90 ¹	77,30 ¹	89,40 ¹
DDGS MAÍZ	56,60 ¹	47,25 ²	18,40 ¹	75,20 ¹	3,90 ¹	62,28 ⁸	79,82 ²	71,60 ¹	71,70 ¹	65,50 ¹	79,60 ²
WDGS MAÍZ								85,69	77,80	82,80	87,85 ⁴
DDGS DE TRIGO		58,35 ²	27,20 ¹	66,50 ¹	5,60 ¹		88,02 ¹				
DDGS DE CEBADA		52,60 ¹	17,30 ¹	68,50 ¹	6,40 ¹						

En el cuadro 2, se presenta la composición química de los granos de destilería de sorgo y maíz en dos formas de presentación, secas y húmedas, con el propósito de ver las diferencias entre ambos. El promedio de MS para el WDGS de sorgo es de 34,5 % y el WDGS de maíz de 35,3 %. Los DDGS mostraron valores de MS de 90,6 y 91,1 % MS, de maíz y sorgo, respectivamente.

El contenido de proteína promedio para WDGS es de 31,3 y 35,1 para maíz y sorgo, respectivamente. Los DDGS presentan similar contenidos de proteína siendo estos de 29,1 y 32,5% de proteína en MS para maíz y sorgo, respectivamente.

El porcentaje de grasa de los WDGS es de 13,4 y 12,4 % de MS para maíz y sorgo, respectivamente. En los DDGS los valores reportados de grasa, son de 11,7 para maíz y de 10,5 % de MS para sorgo.

La fracción de FDN en promedio para los WDGS, fue de 36,9 para maíz y de 41,3 % de MS para sorgo. En los granos de destilería secos,

DDGS de maíz fue de 35,2 y para de sorgo 36,5 % de MS. La FDA en los WDGS fue de 18,4 y 25,5 % de MS para maíz y sorgo, respectivamente y en los DDGS fue de 16,6 y de 22,1 % de MS, maíz y sorgo, respectivamente.

Cuadro 2. Composición química (base seca) de los granos de destilería (maíz/sorgo) usados en experimentos de ganado de carne y leche según diferentes autores.

Ref.	Tipo	MS (%)	PC (%)	EE (%)	FDN (%)	FDA (%)	EM (Mcal/kgMS)
Al-Suwaiegh et al., 2002	DDGS Maíz	93	28,9	14	42,3	25,5	--
	WDGS Maíz	35,5	30,5	14,5	42,6	25,3	--
	DDGS Sorgo	91,4	32,9	13,3	45,8	28,4	--
	WDGS Sorgo	35,3	31,2	13,3	41,3	28,5	--
Urriola et al., 2009	DDGS Maíz	91,3	28,4	10,1	33,3	11,6	--
	DDGS Sorgo	91,2	32,7	8	34,7	25,3	--
FEDNA, 2012	DDGS Maíz	90,1	26	10,1	26,4	10,3	2,9
	DDGS Sorgo	90,6	30,2	9,4	27	12	2,88
May et al., 2010	WDGS Maíz	--	33,4	13,1	--	14,5	--
	WDGS Sorgo	--	39	11,4	--	22,4	--
Kalscheur et al., 2012	DDGS Maíz	88,1 ± 6,18	31,2 ± 4,3	12,6±3,2	34±4,7	16,8±3,5	2,17*
	WDGS Maíz	33,4 ±12,98	30,1 ± 9,4	12,7±3,8	31,2±8,9	15,4±5,2	2,22*
	DDGS Maíz	--	31,2 ± 1,1	11,9 ± 2,1	40,1 ± 26,1	18,9 ± 7,5	2,38*
	DDGS Sorgo	--	34,1 ± 5,3	11,3 ± 2,1	38,3 ± 10,7	22,7 ± 7,9	2,49*
Media WDGS Maíz		34,5	31,3	13,4	36,9	18,4	
Media WDGS Sorgo		35,3	35,1	12,4	41,3	25,5	
Media DDGS Maíz		90,6	29,7	11,9	35,9	16,8	
Media DDGS Sorgo		91,1	33,3	10,7	37,3	22,7	

*ENm (Mcal/kg MS)

Abreviaturas: MS: Materia seca; PC: Proteína Cruda; FDN: Fibra Detergente Neutra; FDA: Fibra Detergente Ácida; EM: Energía Metabolizable; DDGS: Granos secos de destilería con solubles. WDGS: Granos húmedos de destilería con solubles.

En el cuadro 2, se destaca que la composición química DDGS y WDGS de maíz contienen un 9,2% mayor de grasa que los DDGS y WDGS de sorgo mientras que estos contienen 10,8% mayor contenido de proteína, 7,2% mayor FDN, y 26,8% mayor FDA que los DDGS y WDGS de maíz.

2.2.1.1. Composición nutricional de granos de destilería producidos en Uruguay a partir del sorgo grano

En el cuadro 3, se puede observar la composición química de los granos de destilería producidos a partir del grano de sorgo BT (bajo tanino) en Uruguay en los años 2015 y 2016. Con la recopilación de los resultados, se realizó un análisis incluyendo el coeficiente de variación de los parámetros nutricionales.

Los valores de proteína cruda (PC), grasa (EE) y fibras (FDN y FDA) son muy similares a los reportados en la bibliografía. En el caso de la proteína los valores en Uruguay son en promedio de 30,5 % (MS) en relación a datos internacionales de 32,5 % (MS). Con respecto a la grasa, el promedio en Uruguay es de 11,4 % (MS) en comparación con el 10,5% (MS) de los datos internacionales.

En cuanto al coeficiente de variación, se reporta que el contenido de grasa es menos variable que el de proteína y que a su vez los datos del año 2016, son menos variables para ambos parámetros que el año 2015. Estas diferencias entre años podrían estar atribuidas a la composición del grano por efecto año, o a una mayor estabilidad en los procesos industriales y por ende, una menor variación en el producto final.

Cuadro 3. Composición química de granos de destilería (DDGS) de Sorgo, año 2015 y 2016.

		Datos expresados en % de la MS					
	MS (%)	FDA	FDN	PC	EE	ADIN	Cenizas
Promedio/ 15*	90,3	15,4	33,1	30,8	11,4	6,6	5,7
Promedio/ 16**	90,4	15,9	31,1	30,3	11,4	6,7	5,7
Coef. de Var. %/ 15	1,17	18,40	14,12	5,50	4,17	30,67	6,42
Coef. de Var. %/ 16	1,60	13,93	9,07	4,66	4,92	25,04	6,40

Fuente: Datos aportados por laboratorio ALUR, realizados en LAAI

(Laboratorio Analítico Agroindustrial). * N° de muestras= 18, **N° de muestras 17.

Abreviaturas: MS: Materia seca; PC: Proteína Cruda; FDN: Fibra Detergente Neutra; FDA: Fibra Detergente Ácida. EE: Extracto Etéreo. ADIN: Nitrógeno Insoluble en Detergente Ácido (como % de PC). Coef. De Var.: Coeficiente de Variación % (Desvió estándar/media).

Los valores ADIN, FDN y FDA, son más variables que los parámetros antes mencionados, sin embargo se aprecia al igual que en proteína y grasa, los valores más estables en el año 2016, debido a un menor coeficiente de variación en relación al año 2015. Estas diferencias podrían estar atribuidas a la estabilización y la estandarización del proceso de producción de DDGS.

2.2.2. Valor energético de los granos de destilería

Los granos de destilería son una excelente fuente de energía para las dietas de vacas lecheras (cuadro 4). No solo aportan buena fuente de proteína sino que a su vez el contenido de energía de los granos de destilería puede ser igual o mayor a la energía del grano que le dio origen.

Cuadro 4. Composición energética de diferentes tipos de DDGS en dependencia del grano que le dio origen.

Energía (Mcal/kgMS)	DDGS (2001)*	DDGS**	WDGS MAIZ	DDGS MAIZ	DDGS SORGO	DDGS TRIGO	DDGS CEBADA
ENm	2,07	2,17	2,22	2,38	2,49	2,23	1,87
ENg	1,41	1,49	1,53	1,69	1,73	1,56	1,24
ENI	2,04	2,06	2,1	2,28	2,24	2,08	1,73

FUENTE: Adaptado de Kalscheur et al., 2012. * NRC, 2001. ** Dairy one Forage citado por Kalscheur et al. (2012).

Abreviaturas: ENm: Energía Neta mantenimiento; ENg: Energía Neta ganancia; ENI: Energía Neta Lactación; DDGS: Granos secos de destilería con solubles. WDGS: Granos húmedos de destilería con solubles.

En las tablas de la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, los valores de EM (Mcal/kg) para DDGS de sorgo y maíz son de 2,88 y 2,9 Mcal/kg, respectivamente. Siendo este último mayor en relación a la materia prima que le dio origen. Para el caso del DDGS de trigo, contiene menor contenido energético, que los descriptos anteriormente.

El contenido de Energía Metabolizable en el DDGS de Sorgo, producido en Uruguay, es de 2,76 a 2,8 Mcal/kg MS (LAAI -Laboratorio Analítico Agroindustrial).

2.2.3. Composición y características de la proteína de los granos de destilería

2.2.3.1. Contenido de proteína cruda

Una de las particularidades que caracterizan a los granos de destilería como coproductos de excelente valor nutritivo es su alto contenido de proteína. En la mayoría de los casos el contenido es superior al 30% en MS.

En el cuadro 5, se puede observar el contenido de proteína de diferentes DDGS en dependencia del grano que le dio origen.

Cuadro 5. Composición de proteína y proteína insoluble al detergente ácido de diferentes tipos de DDGS y de diferentes granos que le dieron origen.

Nutriente, % MS	DDGS (2001)*	DDGS DE MAIZ**	WDGS DE MAIZ	DDGS MAIZ	DDGS SORGO	DDGS TRIGO	DDGS CEBADA
PC	29,7	31,2 ± 4,3	30,1 ± 9,4	31,2 ± 1,1	34,1 ± 5,3	38,6 ± 6,7	24,7 ± 6,9
PCIDA	5	4,4 ± 2,1	3,7 ± 2,1	9,9 ± 1,0	NA	7,1 ± 2,3	6,5 ± 2,0

FUENTE: Adaptado de Kalscheur et al., 2012. * NRC, 2001 (maíz). ** Dairy one Forage citado por Kalscheur et al. (2012). PC: Proteína Cruda. PCIDA: Proteína Cruda Insoluble Detergente Ácida. DDGS: Granos Secos de Destilería con Solubles.

Básicamente, el contenido de proteína cruda de los DDGS se relaciona con el grano que le dio origen. En ese sentido el DDGS de trigo es el que contiene mayor contenido de proteína (38,6%), seguido del sorgo (34,1%), luego el maíz (31,2%) y por último el DDGS de cebada (24,7%).

Los valores de proteína en DDGS de sorgo en Uruguay (30,5 % en MS) son menores que los reportados por Kalscheur et al., 2012 (34,1% en MS), siendo esas diferencias seguramente por los granos que le dieron origen. En relación al DDGS de trigo, pasa algo similar al de Sorgo ya que los valores

de DDGS de trigo en Uruguay (31,3% en MS) son menores a los reportados por Kalscheur et al., 2012 (38,2% de MS).

La proteína cruda insoluble en detergente ácido (PCIDA), es el nitrógeno ligado a la fibra (FDA) multiplicado por factor 6,25 para ser expresado como proteína. Este valor representa en forma general cuánto de la proteína está ligado a la fibra y su disponibilidad para los microorganismos del rumen (Cozzolino, et al. 1994).

En relación a los valores reportados en el cuadro 5 por diferentes autores y tipo de DDGS, la variación en el valor de PCIDA es elevado básicamente por el tipo de grano a procesar (por su contenido de FDA), y seguramente por la variabilidad de la planta productora de bioetanol. Los valores de referencia que muestran las tablas de NRC (2001) para este tipo de productos es de 5% PCIDA.

2.2.3.2. Degradabilidad de la proteína de los granos de destilería de diferentes cereales

La proteína no degradable en rumen (PNDR) para los DDGS de maíz está en un rango entre 48 y 63 % de la proteína cruda (Hartly et al. 1998, citado por Chrenková et al. 2012). Por este motivo, en varios artículos se menciona que los granos de destilería son una excelente fuente de proteína “by pass” o de sobre paso.

En el cuadro 6, se puede observar la degradabilidad efectiva y los parámetros a, b y c de diferentes tipos de DDGS.

Cuadro 6. Degradabilidad efectiva de la proteína ruminal y parámetros cinéticos in situ sobre diferentes granos de destilería según grano de origen.

Parámetro	DDGS Maíz	DDGS Trigo	DDGS Cebada
a (1)	18,4	27,2	17,3
b (2)	75,2	66,5	68,5
c (3)	3,9	5,6	6,4
DE (4)	48,0	58,2	52,6

FUENTE: Adaptado de Kalscheur et al., 2012. a = fracción soluble (%). (2) b = fracción potencialmente degradable (%). (3) c = tasa de degradación (%/hora). (4) DE = Degradabilidad efectiva (%). Tasa de pasaje $k = 0.06/h$, calculada de acuerdo a la ecuación $ED = a + bc/(k+c)$.

El DDGS de trigo, contiene mayor degradabilidad efectiva que el de maíz y cebada, mostrando que la proteína de trigo, es más soluble que la de maíz y cebada.

Kleinschmit, et al. (2007), con el objetivo de medir la degradabilidad de la proteína de diferentes fuentes de granos de destilería, realizaron la evaluación de degradabilidad de la harina de soja, de cinco fuentes de DDGS y una fuente de WDGS. Los resultados se pueden observar en la figura 2.

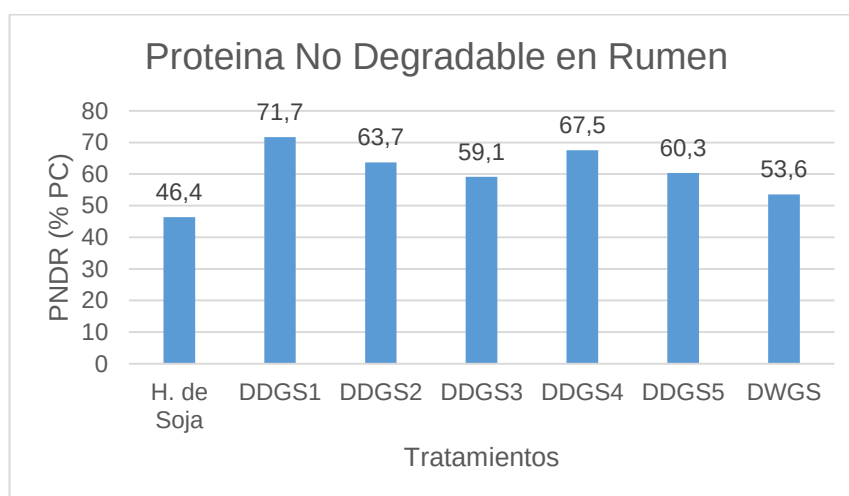


Figura 2. Proteína no degradable en rumen de diferentes fuentes de coproductos de la industria, de harina de soja y de cinco fuentes de DDGS y WDGS.

Ref.: DDGS1, 2, 3, 4, 5. Granos Secos de destilería con solubles, los números hacen referencia a diferentes plantas. WDGS, Granos Húmedos de destilería con solubles.

La PNDR fue menor en harina de soja (46,4%) que los DDGS y que el WDGS. La PNDR en WDGS (53,6%) fue menor que los DDGS. Entre las diferentes fuentes de DDGS, la PNDR, fue menor en DDGS3 (59,1%) y DDGS5 (60,3%) que en DDGS1 (71,7%) y DDGS4 (67,5%).

Chrenková et al. (2012), evaluaron la degradabilidad efectiva (DEPC, %) y digestibilidad intestinal (DI, %) de la proteína no degradable en rumen. En el cuadro 7 se puede observar que los valores de DEPC, % y de DI, % del grano de maíz y el DDGS obtenidos son muy similares.

Cuadro 7. Degradabilidad efectiva y digestibilidad intestinal de la proteína no degradable en rumen.

	DE, %		DI, %	
	Grano	DDGS	Grano	DDGS
Maíz	49,6ab	46,5a	93,8	94,33
Trigo	75,6a	58,5b	81,6	88,02
Triticale	79,5b	76,8ab	72,6	87,2

Fuente: Adaptado de Chrenková et al. 2012. DE: Degradabilidad ruminal de la proteína cruda. DI: Digestibilidad intestinal.

La degradabilidad efectiva del grano de trigo en relación al DDGS es diferente, siendo este último menor al primero (75,6 vs 58,5 para grano de trigo y DDGS de trigo respectivamente). En cambio la digestibilidad intestinal de los DDGS de maíz, trigo y triticales (94,33, 88,02, 87,2, respectivamente), fue mayor a la del grano que le dio origen, pero sin mostrar diferencias significativas (93,8, 81,6 y 72,6, para grano de maíz, trigo y triticales, respectivamente)

Harty et al. (1998), citado por Chrenková et al. (2012), reportan una alta variación para la PCIDA en DDGS de maíz, probablemente debido a las diferencias en la incorporación de los solubles y a las temperaturas de secado del DDGS. El mismo autor encontró una pobre relación entre PCIDA y la PNDR o con la disponibilidad intestinal.

En relación a la solubilidad de la proteína en DDGS, se redujo en relación al grano que le dio origen. El análisis de la composición química (FDN, FDA y PCIDA), del grano original y el DDGS no explica considerablemente la disponibilidad de la proteína, según Chrenková et al. (2012).

Nuez-Ortín y Yu, (2011), citado por Chrenková et al. (2012), reportan resultados, donde la estructura molecular de la proteína (relación con α -

hélice- β -laminar) en DDGS, tenía una fuerte correlación negativa con la digestibilidad intestinal de la PNDR.

En ese estudio Liu (2012), citado por Chernková et al. (2012), comparó la estructura molecular de la proteína del DDGS con el grano original, con el objetivo de encontrar cambios estructurales en las proteínas causadas por el procesamiento. Concluye que las amidas I y amidas II, separadas de los granos y el DDGS, puede usarse como predictor de la proteína disponible.

2.2.3.3. Digestibilidad de diferentes nutrientes de los granos de destilería

En el cuadro 8, se muestra un estudio realizado por Lodge et al. (1997) en donde evalúan la digestibilidad de diferentes granos de destilería (maíz vs sorgo). Los parámetros medidos en dicho estudio fueron la digestibilidad aparente de la MO, digestibilidad aparente y real de la proteína y la digestibilidad de FDN de los WDGS y DDGS de maíz y sorgo.

Cuadro 8. Digestibilidad (%), de los granos de destilería de maíz y sorgo.

	MWDGS MAIZ ^a	SWDGS SORGO ^a	MDDGS MAIZ ^a	SDDGS SORGO ^a
Dig. Ap. MO ^b	85,69b	80,8c	71,6d	73,7d
FDN	77,8	75,9	71,7	76,3
Dig. Ap. Proteína, ^c	82,8b	77,3c	65,5d	74,2c
Dig. Real Proteína ^{de}	93,8b	89,4c	78,4d	88,1c

Fuente: Lodge et al., 1997. *WDGS= grano de destilería húmedo. DDGS= granos de destilería con solubles. b: CWDG vs SWDG ($P < .05$); CWDG and SWDG vs SDDGS and CDDGS ($P < .001$).c: MWDG vs SWDG ($P < .01$); SDDGS vs MDDGS ($P < .001$); MWDG y SWDG vs SDDGS and MDDGS ($P < .01$). d: MWDG vs SWDG ($P < .001$); SDDGS vs CDDGS ($P < .001$); CWDG and SWDG vs SDDGS y MDDGS ($P < .01$). e: Estimado como nitrógeno insoluble al detergente

neutro en heces. Dig. Ap. MO: Digestibilidad Aparente Materia Orgánica. Dig. Real.: Digestibilidad Real.

La digestibilidad aparente de la materia orgánica, fue mayor ($P<.10$) en los grano de destilería húmedo de maíz (MWDGS) en relación a los demás productos. En el caso de los SWDGS la digestibilidad fue mayor que los granos de destilería con solubles secos, tanto para maíz como para sorgo (SDDDG y MDDGS).

La digestibilidad aparente y real de la proteína, en los granos de destilería húmedos (WDG) fue más elevada que la de los secos (DDGS). A su vez, los MWDGS contienen mayor digestibilidad aparente y real de la proteína que las de sorgo. En cambio, en el producto seco la digestibilidad aparente y real fue superior (74,2 y 78,4 vs 65,5 y 78,4) en los SDDDG que los MDDGS.

La fracción de FDN, no mostró diferencias significativas entre los diferentes tratamientos.

En el mismo trabajo de Kleinschmit, et al. (2007), donde se evaluó la PNDR, se realizó la digestibilidad de la proteína cruda de diferentes fuentes de alimentos como harina de soja y cinco fuentes de DDGS y WDGs. En la figura 3 se puede observar la digestibilidad de cada producto.

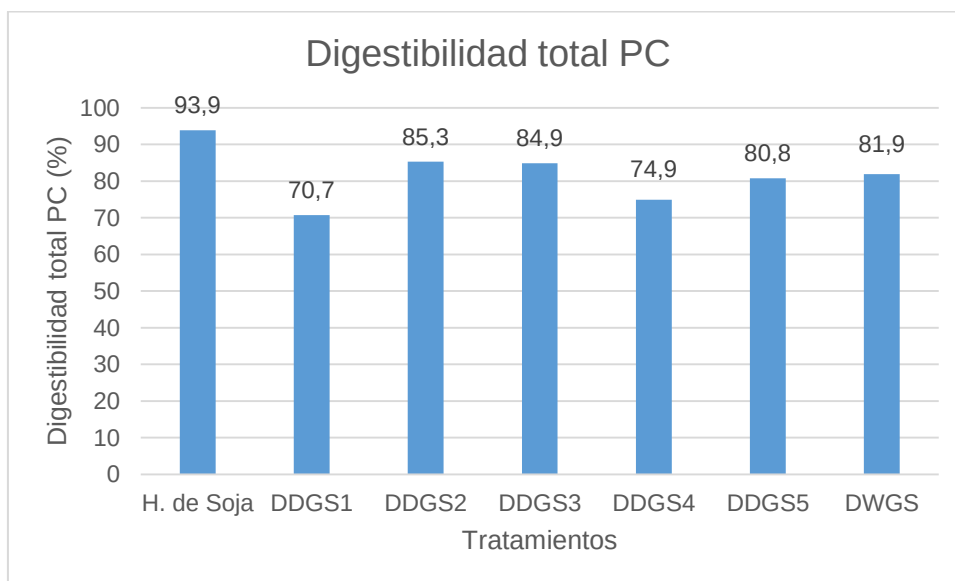


Figura 3. Digestibilidad de la proteína cruda de diferentes fuentes de alimentos harina de soja y cinco fuentes de DDGS y WDGS. Ref. DDGS1, 2, 3, 4, 5. Granos Secos de destilería con solubles, los números hacen referencia a diferentes plantas

La digestibilidad total de la proteína fue mayor en harina de soja (93,9%) en relación a los DDGS de maíz. Entre las diferentes fuentes de DDGS, la digestibilidad de la proteína de DDGS2 y DDGS3, fue más elevada que DDGS1 (70,7%), DDGS4 (74,9%) y DDGS5 (80,8%), pero no significativamente superior al WDGS (81,9%).

Wild et al. (2015), llevaron adelante un experimento con el objetivo de evaluar la degradabilidad ruminal in situ y la digestibilidad intestinal in vitro de la MS y PC de los granos secos de destilería de sorgo (SDDG) en comparación con la harina de soja (HS) y otros coproductos del maíz, como los granos secos de destilería de maíz (CDDG), granos secos de destilería de maíz bajo en grasa (DDG) y gluten meal de maíz (CGM). Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 9.

Cuadro 9. Degradabilidad ruminal in situ y la digestibilidad intestinal in vitro de la materia seca y proteína cruda de los granos secos de destilería de sorgo en comparación con la harina de soja y otros coproductos del maíz.

Ítem	SDDG	CDDG	DDG	CGM	HS	SEM
PC, % MS	39,3	33,0	32,8	74,0	51,1	-
Deg. R. MS, % de MS	46,8 ^c	56,6 ^b	58,6 ^b	33,3 ^d	74,4 ^a	0,94
PDR, % de PC	35,5 ^c	48,7 ^b	50,2 ^b	31,8 ^c	70,0 ^a	1,04
PNDR, % de PC	64,5 ^a	51,4 ^b	49,8 ^b	68,3 ^a	30,0 ^c	1,04
DIP, % de PNDR	37,5 ^d	65,3 ^b	66,0 ^b	53,4 ^c	95,4 ^a	2,48
PDIA, % of CP	24,2 ^c	33,5 ^{ab}	32,9 ^{ab}	36,5 ^a	28,6 ^{bc}	1,65
PDT, % de CP	59,8 ^d	82,2 ^b	83,1 ^b	68,2 ^c	98,6 ^a	1,17

Fuente: Adaptado de Wild et al. 2015. ^{a,b,c,d} Valores con letras distintas en la misma fila difieren significativamente ($P < 0,05$). PC: Proteína Cruda, MS: Materia Seca, Deg. R.: Degradabilidad Ruminal MS, PDR: Proteína Degradable en Rumen, PNDR: Proteína No Degradable en Rumen, DIP: Digestibilidad Intestinal de la Proteína, PDIA: Proteína dietaria absorbible en intestino, PDT: Proteína Digestible Total, SDDG: Grano Seco de Destilería de Sorgo, CDDG: Grano Seco de Destilería de Maíz, DDG: Grano Seco de Destilería Baja Grasa de Maíz, CGM: Gluten Meal Maíz, HS: Harina de Soja.

La degradabilidad ruminal de la MS fue menor en gluten meal de maíz (CGM) y mayor en grano seco de destilería de maíz (CDDG), DDG y harina de soja (HS) en comparación con SDDG. La proteína degradable en rumen (PDR) fue más elevada en HS, CDDG y DDG en comparación con CGM y grano seco de destilería de sorgo (SDDG). Por el contrario, la PNDR fue superior en SDDG y CGM en relación a HS, CDDG y DDG.

La estimación de la digestibilidad intestinal de la proteína (DIP), Proteína dietaria absorbible en intestino (PDIA) y Proteína Digestible Total (PDI) fueron menores en SDDG en relación a los demás coproductos, llegando a tener una diferencia con respecto a la harina de soja de 38 % menos digestibilidad total. Los resultados indican que la PC de los SDDG

tiene menor degradabilidad ruminal y menor digestibilidad intestinal en comparación con HS, CDDG y DDG.

En un estudio realizado por Bruni et al. (2014), evaluando la cinética de degradación de la proteína cruda en granos de destilería húmedo (30 % PC base seca) obtenidos por un proceso de separación de sólidos - a diferencia de las plantas más modernas, en donde son producidos mediante centrifugación -, se obtuvo como resultado un 74,5 % de PNDR (%PC-estimada según $k_p = 2\%/h$), una digestibilidad intestinal de la PNDR de 51,1%, siendo la digestibilidad en el total del tracto de 63,6 %, no encontrando diferencias entre las partidas analizadas. Concluyen que este tipo de subproducto tiene un aporte de nitrógeno lento y constante, aportándole PNDR de intermedia a alta en dependencia del tránsito digestivo.

2.2.3.4. Disponibilidad de la proteína de los granos de destilería

En ciertas situaciones de producción, en donde los animales tienen alta performance, podrían necesitar el aporte de proteína de sobre paso para satisfacer la producción de proteína metabolizable. Se deduce que los granos de destilería podrían aportar a ese tipo de situaciones, en tanto mejorarían la productividad de animales con mayores requerimientos.

Dentro de la estructura actual de muchos modelos de nutrición contemporáneos, el ADIN o NIDA (Nitrógeno Insolubles al Detergente Ácido), representa la fracción de N no disponible para el animal (NRC, 2001; Tylutki et al., 2008, citados por Ross et al., 2013). Sin embargo, NRC para ganado lechero (2001), citado por Roos et al. (2013) prevén un 5% la digestibilidad de la fracción de NIDA.

En (CNCPS) Cornell Net Carbohydrate and Protein System, se asume que el ADIN, es la proporción de Nitrógeno que no está disponible para el

animal, porque es completamente indigestible (Sniffen, et al. 1992). Adicionalmente, Van Soest y Wine (1994), observó que a medida que aumentó el ADIN, la digestibilidad del N total del tracto disminuyó. Esa asociación negativa fue observada por varios autores (Yu y Thomas, 1976; Thomas et al., 1982; Weiss et al., 1986; Van Soest y Wine, 1994, citados por Machacek y Kononoff, 2009). Sin embargo, esto era observado en forrajes toscos pero en otro tipo de alimentos la relación es menos clara.

Nakamura, et al. (1994), observaron en alimentos no forrajeros que la digestibilidad del ADIN, fue de aproximadamente 58%, sugiriendo que el ADIN es digestible y que es erróneo suponer que el mismo es indigestible.

Mencionan además que el ADIN, es un buen indicador de proteínas dañadas por calor para alimentos fibrosos, pero no así para alimentos que no integran la clasificación de forrajes.

Un estudio realizado por Machacek y Kononoff (2009), en donde evaluaron la relación existente entre Nitrógeno Insoluble al Detergente Ácido y la digestibilidad del Nitrógeno en vacas lecheras, indican que el ADIN, puede no ser un buen indicador de la proteína disponible. Los resultados de dicha investigación muestran que el ADIN tiene un 58% de digestibilidad. Hay una relación moderada negativa entre el ADIN y la digestibilidad total del tracto del Nitrógeno. Se demostró en estos experimentos una relación muy baja de 0,01 (figura 4) entre la concentración de ADIN en la dieta y la producción de leche.

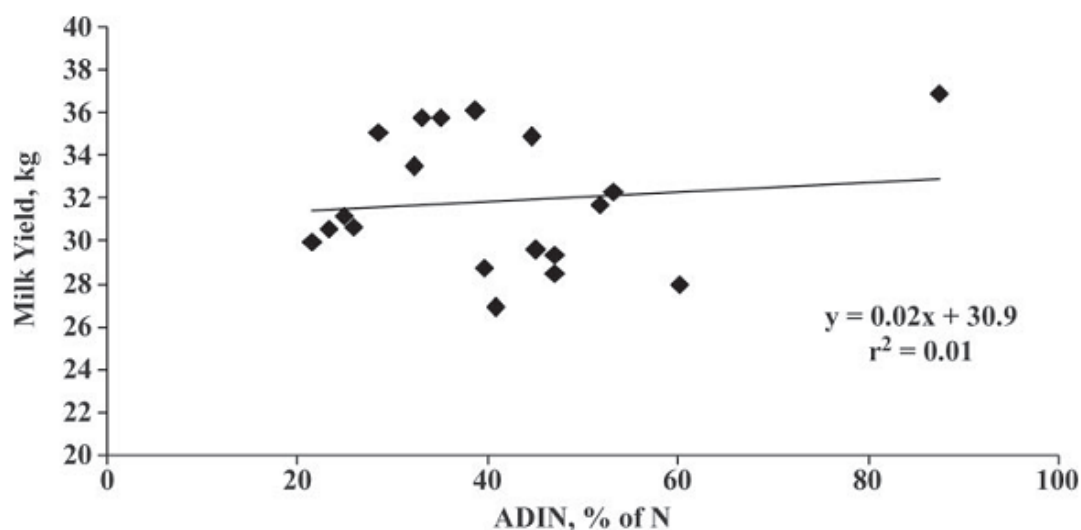


Figura 4. Relación entre el ADIN, % de N y la producción de leche.

Detmann, et al. (2006), realizaron un estudio para validar la digestibilidad total o parcial de los componentes nitrogenados insolubles en detergente ácido (ADIN) en bovinos en pastoreo. Se utilizaron cuatro suplementos, compuestos por harina de maíz, grano de soja, urea, sulfato de amonio y una premezcla de minerales, con niveles de proteína de 12, 16, 20 y 24% en base fresca. El contenido de ADIN (% N total en MS), fue de 0,7, 1,5, 1,6, 1,8%, respectivamente. Como resultado de este estudio, concluyen que el ADIN, puede ser dividido en dos fracciones, siendo una potencialmente digestible a nivel intestinal, comprobando que el nivel de ADIN de un alimento es solamente un indicador, pero no un predictor de la digestibilidad potencial de los compuestos nitrogenados.

Los valores de proteína cruda insoluble al detergente neutro (PCIDN), parámetro indicativo de cuán dañada está la proteína en el DDGS de maíz, según lo reportado por NRC, (2001) son de 5% y según Dairy One Forage Lab, citado por Kalscheur et al. (2012), de $9,5 \pm 2,9$ para los DDGS de maíz y de $8,3 \pm 3,6$ para los WDGS de maíz.

Los resultados de ADIN en los DDGS de Sorgo en Uruguay (Datos aportados por laboratorio ALUR, realizados en LAAI, Laboratorio Analítico

Agroindustrial), se encuentran entre 3,0% y 9,1% PCIDN, siendo el promedio de 6,2%, dentro del rango reportado por NRC (2001), de 5% y lo reportado por Dairy One Forage Lab, citado por Kalscheur et al. (2012) para DDGS de maíz.

2.2.3.5. Composición de los aminoácidos contenidos en los granos de destilería

Para referenciar los aminoácidos contenidos en los DDGS de diferentes granos, se muestra en el cuadro 10, la composición de cada aminoácido de los DDGS en relación a la composición de la leche y a otra fuente de proteína muy utilizada en la alimentación animal, como es la harina de soja.

Cuadro 10. Composición de aminoácidos (% de PC) de los granos de destilería de diferentes granos de cereales.

Aminoácido	TPL	DDGS				Pellets Harina
		Maíz	Sorgo	Trigo	Cebada	Soja*
Arginina	3,6	4,1	3,6	3,7	5,2	3,08
Histidina	2,7	2,6	2,3	1,9	0,9	1,09
Isoleucina	5,9	3,4	4,4	2,4	2,4	2,06
Leucina	9,7	8,6	13,6	5,9	6,0	3,46
Lisina	8,1	1,9	2,2	2,0	1,1	2,6
Metionina	2,6	1,7	1,7	1,8	0,8	0,59
Fenilalanina	4,9	4,6	5,5	4,3	3,3	2,05
Treonina	4,6	3,6	3,5	2,7	2,8	1,67
Valina	6,6	4,5	5,4	3,2	3,2	-
Total EAA	48,7	34,9	42,3	27,9	25,8	

FUENTE: Adaptado de Kalscheur et al., 2012. TPL: Total de proteína en leche.

EAA: aminoácidos esenciales.* Azcona, et al. 2003.

El DDGS de sorgo tiene mayor concentración de aminoácidos esenciales (42,3% PB) que el DDGS de maíz (34,9% PB), a su vez este último tiene más que los DDGS de trigo y cebada. Estos resultados sugieren que los DDGS de sorgo contienen un perfil de aminoácidos esenciales más deseables para cubrir los requerimientos de la composición de la leche (cuadro 10), en comparación con otros granos de destilería (Kalscheur et al., 2012).

El primer aminoácido limitante en los granos de destilería es la lisina y como segundo aminoácido limitante se encuentra la isoleucina.

Uno de los aminoácidos más importantes para la alimentación animal es la lisina, siendo el segundo aminoácido más importante en la alimentación de ganado lechero, primer aminoácido en cerdos y segundo aminoácido limitante en aves (Campabadal, 2010).

El contenido de dicho aminoácido (lisina) se encuentra en mayor proporción en los pellets de harina de soja en relación a los DDGS de maíz, sorgo, trigo y cebada. En cambio otros aminoácidos esenciales se encuentran en mayor proporción en los granos de destilería como metionina y leucina en relación al pellet de harina de soja.

2.2.4. Características nutricionales de la fibra (FDN y FDA)

2.2.4.1. Contenido de fibra

Los diferentes tipos de granos de destilería pueden variar en algún punto el porcentaje de contenido de algunos nutrientes. En relación a la fibra, los granos secos de destilería sin solubles (DDG), DDGS y los condensados de destilería o jarabe (CDS) contienen 43, 44 y 23% FDN y 17,18 y 7% de FDA, respectivamente.

Schingoethe et al. 2002, reportan valores de FDN de los DDGS proveniente de maíz entre 38-44% de la MS y valores de FDA 19-24% en base seca.

Los valores suministrados por Kalscheur et al. (2012) para los DDGS y WDGS de maíz y sorgo, fueron presentados en el cuadro 1 con la variación en cada uno de los coproductos.

Al igual que la mayoría de los nutrientes, el contenido de fibra de los granos de destilería está relacionado con el grano que le dio origen. Un estudio realizado por Chrenková et al.(2012) en donde comparaban DDGS provenientes de grano de maíz, trigo y triticale, dieron como resultado valores de FDN para los granos de origen de 12,9; 15,1; 14,3% en MS para maíz, trigo y triticale, respectivamente. Los valores de FDN para los DDGS fueron de 37,7 para maíz; 37,2 para trigo y 39,0% en MS para triticale. Estos resultados muestran que los valores de FDN en DDGS se concentran por 2,9; 2,46 y 2,72, en relación a los granos que le dieron origen al maíz, trigo y triticale.

En el mismo trabajo se hicieron comparaciones con la FDA y lignina detergente ácida (LDA), de los granos y de los DDGS. Los valores de FDA para los granos fueron 3,5; 3,8 y 4,3% en MS y para los DDGS fueron 15,9, 21,7 y 21,7% en MS para maíz, trigo y triticale, respectivamente. Con relación a la LDA los valores para los granos reportados fueron de 1,3 (maíz), 0,9 (trigo) y 2,1% de MS (triticale) y para los DDGS fueron de 4,9 (maíz), 4,8 (trigo), 7,5% de MS (triticale).

Los resultados de FDN y FDA para los DDGS de Sorgo obtenidos en Uruguay, muestran valores máximos de 36,4% y 21,8% de FDN y FDA, y mínimos de 23,1 y 10,8 de FDN y FDA, respectivamente, siendo los valores promedios de 28,9% FDN y 14,3% de FDA (Datos aportados por laboratorio ALUR, realizados en LAAI, Laboratorio Analítico Agroindustrial).

En un trabajo realizado por Bruni, et al. (2014), en granos de destilería sin solubles, obtenidos en base a un separador de sólidos, (proceso descrito en punto 2.1), tuvo entre sus objetivos evaluar la dinámica de entrega de nutrientes a nivel del tracto gastrointestinal en el grano de sorgo y grano húmedo de destilería. Los resultados muestran que la fibra en este tipo de subproducto es uno de los principales nutrientes que aporta energía para los rumiantes. La FDN del grano de destilería húmedo, a pesar de incrementarse luego del proceso de producción de bioetanol (12,98% BS a 70,17% BS), tiene un buen potencial de utilización en el rumen, probablemente porque se utilicen ácidos y enzimas en el proceso, provocando un mayor cambio de estructura y solubilización de la FDN, facilitando el ataque por los microorganismos del rumen.

2.2.4.2. Fibra efectiva

La fibra efectiva refiere a la cantidad de fibra contenida en el alimento. Es un componente necesario para manejar adecuadamente la dieta de los animales, y su función consiste en lograr estimular la rumia y la salivación (Bargo, et al. 2006; Calsamaglia, 1997).

Cuando se utilizan granos de destilería, tanto en húmedo como en seco, se debe tener en cuenta que el contenido de FDN no es fibra efectiva, por lo que al sustituir de una ración RTM (ración totalmente mezclada) se debe considerar el aporte de FDN de los otros ingredientes de la dieta (Kononoff y Erickson, 2006).

La fibra efectiva de los granos de destilería según Mertens y Loften (2002) es de 0,4% de la FDN, debido a que está en la clasificación como subproducto.

Para calcular la fibra efectiva (feFDN) de los diferentes alimentos, Mertens y Loften (2002), plantea multiplicar el contenido de FDN por el valor

de fibra efectiva. Tomando como ejemplo el DDGS de maíz con un contenido medio de FDN de 40%, el contenido de feFDN sería $0,4 * 40\% = 16\%$ de feFDN para los granos de destilería.

El alto contenido de FDN en los granos de destilería tiene un tamaño de partícula pequeño por lo que no contribuye necesariamente al buen funcionamiento ruminal. El factor más importante de la reducción de la grasa en la composición de la leche es la falta de fibra efectiva, más que la inclusión de los granos de destilería en la dieta (Schingoethe, et al., 2009b)

Según Hippen y García (2012), la inclusión de DDGS en la dieta provoca una disminución en la grasa en leche cuando se sustituye ensilaje de maíz por granos de destilería en base al contenido de FDN y concluyen que los granos de destilería no pueden usarse para reemplazar la fibra del forraje.

2.2.4.3. Digestibilidad de la FDN y FDA

La digestibilidad de la FDN y su comparación entre granos de destilería de maíz y sorgo se puede observar en el cuadro 11. En dicho experimento no se observaron diferencias entre ambas fuentes de granos.

Cuadro 11. Digestibilidad de la FDN de los granos de destilería de maíz y sorgo.

	MWDG	SWDG	SDDGS	MDDGS
Dig. Ap. MO	85,69b	80,8c	73,7d	71,6d
Digestibilidad FDN	77,8	75,9	76,3	71,7

Fuente: Adaptado de Lodge et al., 1997. *MWDG= grano de destilería húmedo de maíz. SWDG= grano de destilería húmedo de sorgo. MDDGS= granos de destilería con solubles de maíz. SDDGS=granos de destilería con solubles de sorgo letras diferentes en la misma fila diferencias significativas ($P < 0.10$). Dig. Ap. MO: Digestibilidad Aparente Materia Orgánica.

En el cuadro 12, se pueden observar los datos reportados por Al-Suwaiegh et al., (2002), en donde evaluaron la digestión de los granos de destilería y la digestión total del tracto de la FDN y FDA, en dietas de vacas lecheras con inclusiones de los granos de destilería de 15% de la MS en la dieta.

Cuadro 12. Digestión in situ de dietas con granos de destilería y digestión total del tracto del FDN y FDA.

	DDGS de maíz		DDGS de sorgo	
Digestión In situ de los granos de destilería	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo
Tasa, h-1	0,059	0,041	0,042	0,062
Digestión total en rumen, %	87,8	86,4	85,1	81,5
Digestión total del tracto, %				
FDA	62,5	59,7	58,9	57,7
FDN	64,7	59,2	66,3	62,6

Fuente: Adaptado de Al-Suwaiegh et al., (2002). DDGS: Granos de Destilería con Solubles.

Estos autores concluyen que los valores de digestión total del tracto son valores típicos de una dieta que contiene este tipo de coproductos y que no hay diferencias entre usar granos de destilería seco o húmedo, o si proviene de sorgo o maíz.

Las dietas que fueron utilizadas en este experimento estaban compuestas de heno de alfalfa (25%), ensilaje de maíz (25%), maíz grano (24,3%), harina de soja (9,1%), minerales y vitaminas (1,6%) y el restante 15%, compuesto por los granos de destilería.

2.2.5. Composición de la grasa en los granos de destilería

Los datos de contenido medio de grasa en los DDGS de maíz del laboratorio Dairy One (4819 muestras, 2011) según Díaz-Royón et al. (2012), muestran valores de grasa de 12,6% en MS, con una variación que va de 9,4 a un 15, 7% siendo el coeficiente de variación (CV) de 25%.

Dichos autores indican que existe variación en los datos del contenido de grasa publicados en varios artículos (10,9 a 12,6% de la MS), mientras que el NRC (2001) reporta un porcentaje de grasa de 10% de la MS.

Las tablas de la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA) de composición y valoración nutritiva de los alimentos compuestos (FEDNA, 2012) reportan valores de grasa de los granos de destilería en dependencia del grano que le dio origen.

En el cuadro 13, se pueden observar los valores de grasa de los DDGS en dependencia del grano que le dio origen.

Cuadro 13. Contenido de grasa (EE) de diferentes fuentes de DDGS.

	Maíz (DDGS) calidad extra	Maíz (DDGS) calidad media	Cebada (DDGS)	Sorgo (DDGS)	Trigo (DDGS)
EE,%	10,1	9,3	5,1	9,4	4,5

EE: Extracto Etéreo; DDGS: Granos secos de destilería con solubles.

Fuente: Adaptado de FEDNA, 2012.

Debido a la variación que existe en la información aportada por diferentes autores, Díaz-Royón et al. (2012), recomiendan formular dietas en base a los análisis químicos y no tanto en función a los valores tabulares.

Una de las mayores variaciones en la cantidad de grasa encontrada en los DDGS es la cantidad de solubles condensados aplicados a los DDGS o WDGS.

Erickson et al. (2012) citan a Corrigan et al. (2007), quienes realizaron los análisis de los DDGS con diferentes niveles de inclusión de los solubles condensados, demostrando que a medida que aumenta el nivel de inclusión de los solubles condensados, el porcentaje de grasa en los granos de destilería aumenta de 6,9% en nivel cero de condensados solubles hasta 13,3% de grasa en los que se le aplica un 22% de solubles (cuadro 14).

Cuadro 14. Composición de los granos de destilería con solubles.

	Nivel de condensados solubles (%MS)				
Parámetros	0	5,4	14,5	19,1	22,1
MS (%)	95,5	92,1	90,8	89,3	89,6
PC (%)	32,1	31,9	31,5	30,7	30,9
Grasa (%)	6,9	8,9	10,4	12,7	13,3
FDN (%)	36,8	34,9	31,9	30,3	29,3

FDN: Fibra detergente neutra. PC: Proteína cruda.

Fuente: Extraído de Erickson et al., 2012.

Normalmente en las plantas de etanol le incorporan un 19% aproximadamente de condensados solubles. En la tabla anterior se puede observar que a medida que incrementa el nivel de solubles, la MS, la proteína y el FDN de los DDGS disminuyen (Erickson et al., 2012).

En la planta de producción de etanol en Uruguay, la incorporación de solubles en la torta de WDG, previo al ingreso del secadero es de aproximadamente el 40 a 50% (comunicación personal, W. Bisio, octubre, 2015).

Con las relaciones indicadas anteriormente, los valores en grasa obtenidos en los DDGS de Sorgo en Uruguay están en promedio 11,4% de MS, con un desvío de 0,48, indicando una menor variación que los reportado por, Díaz-Royón et al. (2012).

Los solubles o jarabe, según lo reportado por Kalscheur et al. (2012), contienen mayor contenido de grasa y menor proporción de proteína y FDN que la torta (WDG), previo a ser mezclado. En relación a los solubles que se obtienen en la planta de Uruguay, los mismos tienen un menor contenido de grasa y proteína que el WDG, marcando alguna diferencia con lo que reporta el autor. En el siguiente cuadro se puede observar la composición química de los solubles condensados de maíz o sorgo, obtenido de diferentes fuentes.

Cuadro 15. Composición química de los solubles de maíz y mezcla Sorgo/Trigo.

MS (%)	PC (% MS)	Grasa (% MS)	FDN (% MS)	Cenizas (%MS)	Fuente
31,9	20,2	17,9	4,0	9,6	(1)
22,1	20,45	21,36	3	2	(1)
28,3	26,15	7,95	2	8,3	(2)

Fuente: Adaptado de (1) Kalscheur et al., 2012. (2) Mezcla Sorgo/Trigo. Aportados por laboratorio ALUR, realizados en LAAI (Laboratorio Analítico Agroindustrial).

Como se observa en el cuadro 15, existe una variación en los solubles, en dependencia del grano que le dio origen y además depende del grado de evaporación al cual fueron sometidos dichos solubles.

Noll et al. (2007) citados por Díaz-Royón et al. (2012) indican que al adicionar solubles en los DDGS de 10 a un 25%, el incremento de nivel de grasa pasa de 8,8 a un 11, 8% de la MS.

2.2.5.1. Perfil de ácidos grasos

En el cuadro 16, se puede observar el perfil de ácidos grasos de los granos de destilería de maíz, según diferentes autores, citado por Díaz-Royón et al., 2012.

Cuadro 16. Perfil de ácidos grasos en DDGS de maíz según reportes de diferentes autores.

Ácidos grasos	Ranathunga y col. (2010)	Anderson y col. (2006)	Nyoka (2010)	Tang y col. (2011)	Martínez Amezcua y col. (2007)	Owens T.M. (2009)
C _{12:0}	ND	0,78	ND	0,02	0,04	0,01
C _{14:0}	0,42	2,45	3,95	0,07	0,09	0,38
C _{16:0}	14,7	15,5	16,9	16,7	12,8	12,5
C _{16:1}	0,13	Nd	2,46	0,16	0,18	0,11
C _{18:0}	1,99	2,38	2,82	2,62	2,03	1,68
C_{18:1}	26,9	17	21,4	23,1	23,2	38,2
C_{18:2}	50,7	52,5	40,2	53,7	56,3	40,3
C _{18:3}	1,6	4,79	1,44	0,45	1,48	1,05
C _{20:0}	0,39	1,45	0,55	1,99	0,39	0,26
C _{20:1}	0,22	Nd	3,46	0,29	0,27	0,14
C _{20:2}	0,03	Nd	0,13	Nd	0,05	0,03

Fuente: Extraído de Díaz-Royón et al., 2012.

Como se observa en el cuadro anterior, la grasa de los DDGS está compuesta principalmente por ácidos grasos (AG) insaturados. Los que se encuentran en mayor proporción son el AG linoleico (C_{18:2}) y oleico (C_{18:1}), llegando a representar en promedio el 50% de los AG totales. El coeficiente de variación es elevado (25%), lo cual podría explicarse en función de que los análisis se realizan en diferentes laboratorios, por diferentes métodos de extracción y análisis, según Díaz-Royón et al. (2012).

Kalscheur (2005), citado por Díaz-Royón et al. (2012), realizó un meta-análisis, en donde reporta que los granos de destilería provocaban depresión en grasa exclusivamente cuando las dietas formuladas contenían menos de 22% de FDN proveniente del forraje o que este último representara menos del 50% de la dieta.

En el cuadro 17, citado por FEDNA, 2012, se observa el contenido de extracto etéreo y el perfil de ácidos grasos de diferentes DDGS según la fuente que le dio origen.

Cuadro 17. Perfil de ácidos grasos según fuente que le dio origen a los DDGS.

	Maíz (DDGS) calidad extra	Maíz (DDGS) calidad media	Cebada (DDGS)	Sorgo (DDGS)	Trigo (DDGS)
EE,%	10,1	9,3	5,1	9,4	4,5
Ácidos grasos	% del Alimento				
C_{16:0}	1,06	0,94	0,82	1,20	0,60
C_{18:0}	0,16	0,14			0,05
C_{18:1}	2,05	1,81	0,46	2,19	0,47
C_{18:2}	4,33	3,84	2,00	3,17	1,80
C_{18:3}	0,10	0,09	0,21	0,21	0,16

Fuente: FEDNA, 2012. C_{16:0}: Ácido Palmítico. C_{18:0}: Ácido esteárico. C_{18:1}: Ácido oleico. C_{18:2}: Ácido α -linoléico. C_{18:3}: Ácido α -linolénico.

2.2.6. Contenido de minerales de los granos de destilería

El contenido de minerales en los DDGS y WDGS, normalmente se concentra entre 2,3 y 3 veces el valor del grano que le dio origen.

En el caso del azufre, calcio y sodio, ésta relación no es tan directa y podría ser algo más elevada, ya que las plantas productoras de etanol, utilizan sales minerales para el lavado y regulación del pH en el proceso de

producción, por lo que muchas veces se debe prestar atención en sus niveles, en dependencia de qué planta se obtuvo el producto (FEDNA, 2012).

En el cuadro 18, se describe la composición de los principales minerales (macro minerales) de diferentes granos de destilería en relación al grano que le dio origen y al contenido de humedad (DDGS o WDGS).

Cuadro 18. Composición de los minerales de los granos de destilería según fuente y grano que le dio origen.

Nutriente, % MS	DDGS (2001)*	DDGS**	WDGS**	DDGS MAÍZ	DDGS SORGO	DDGS TRIGO	DDGS CEBADA	CDS
Cenizas	5,2	5,9 ± 1,1	5,5 ± 1,6	4,9 ± 3,8	2,3 ± 0,5	4,3 ± 1,4	4,2 ± 0,2	9,6
Ca	0,22	0,08 ± 0,19	0,08 ± 0,17	0,10 ± 3,46	0,10	0,18 ± 0,03	0,20	0,1
P	0,83	0,88 ± 0,17	0,85 ± 0,18	0,78 ± 0,06	0,78 ± 0,31	0,96 ± 0,10	0,80	1,55
Mg	0,33	0,32 ± 0,07	0,32 ± 0,09					0,68
K	1,10	1,05 ± 0,26	0,99 ± 0,30					2,23
Na	0,30	0,19 ± 0,20	0,17 ± 0,13					0,36
S	0,44	0,64 ± 0,18	0,58 ± 0,15	0,59 ± 0,18	0,66	0,44 ± 0,06	NA	1,07
NDT	79,5	83,0 ± 5,0	84,8 ± 5,1					101,9

FUENTE: Adaptado de Kalscheur et al., 2012. * NRC, 2001. ** Dairy one Forage citado por Kalscheur et al. (2012). NDT: Nutrientes digestible totales. CDS: Condensados Solubles de Destilería. Ca: Calcio. P: Fosforo. Mg: Magnesio. K: Potasio. Na: Sodio. S: Azufre.

2.2.7. Precauciones a tener en cuenta con el uso de los granos de destilería

2.2.7.1. Contenido de azufre

El alto contenido de azufre en los granos de destilería, se debe en parte a que la concentración de los nutrientes en los granos que le dieron origen, se triplican en el proceso, pero a su vez existen otras razones. Una

de ellas se debe a la utilización de ácidos (especialmente el ácido sulfúrico, que contiene azufre) para controlar el pH durante la fermentación.

Otra razón es que estos agentes químicos son normalmente usados como un agente de limpieza, los cuales son empleados en la fracción soluble de los DDGS. Y como último punto, es que la cantidad de solubles (syrup) agregado en los granos de destilería son muy variables, lo que altera el contenido de azufre. (Schingoethe et al., 2009a).

En la actualidad, en el proceso de producción de etanol en Uruguay, no se utiliza este tipo sales minerales para la limpieza de los fermentadores y las columnas de destilación (comunicación personal, F. Chialanza mayo, 2017).

Según Schingoethe et al., (2009a), en la Universidad de South Dakota (Estado Unidos), se han realizado trabajos de investigación, en donde utilizan hasta un 40% de DDGS en la dieta o con un 20% de CDS (solubles condensados), sin presentar problemas por exceso de azufre. Los contenidos de azufre en la dieta se ubicaron entre 0,2 y 0,3% de la MS.

El contenido de azufre en los granos de destilería, debe ser considerado al momento de formular una dieta para vacas lecheras. Una encuesta realizada a 40 plantas de bioetanol en el oeste de Estados Unidos, dieron como resultado un promedio de azufre en los granos de destilería de 0,7% con rangos entre 0,3 y 1,93% de la MS. En otra encuesta en plantas ubicadas en Dakota del Sur, ubicó al contenido de azufre con un promedio de 0,53% de la MS con rangos entre 0,31 y 0,82% de azufre.

Las concentraciones máximas que se pueden utilizar de azufre en las dietas de vacas lecheras son de 0,4% de la MS (NRC 1980, citado por Schingoethe et al., 2009a).

De acuerdo a los autores mencionados, la absorción de selenio y cobre puede ser afectada con concentraciones muy elevadas de azufre en la dieta. Un indicador de exceso de azufre es el olor a sulfuro de hidrogeno, huevos

en descomposición o también puede ser un indicador la aparición de diarreas en los animales.

Se han observado en el ganado de carne en crecimiento, síntomas como la poliencéfalomalacia, mientras que en vacas lecheras, no se han reportado casos de toxicidad por consumo de azufre en exceso. Puede ocurrir que con un consumo de agua con exceso de azufre (1.000 mg S/l; >1.000 ppm como S), el ganado disminuya su consumo de agua, lo cual puede provocar una disminución en la producción de leche (NRC 2001, citado por Schingoethe et al., 2009a).

2.2.7.2. Micotoxinas en los granos de destilería

Las micotoxinas pueden estar presentes en los DDGS si el grano de origen entregado a la planta de bioetanol está contaminada con ellos. Estas no se destruyen durante el proceso de producción de etanol, y tampoco son destruidas durante el proceso de secado para producir los DDGS. En caso de que las micotoxinas estén presentes en los granos (maíz y/o sorgo), su concentración se incrementa por un factor de alrededor de 3 veces en los DDGS (Richard, J. 2000).

FEDNA (2012), en la descripción de contaminaciones indeseables de los granos de destilería, también reportan que durante el proceso de producción de etanol, la fermentación del almidón concentra de 2,3 a 3 veces cualquier fracción indeseable que contenga el grano que le dio origen a los DDGS. En particular, y lo de mayor preocupación, es el contenido de micotoxinas y en especial la aflatoxina (FEDNA, 2012).

Cuadro 19. Concentración de micotoxinas en grano de destilería seco (DDGS) y húmedo (WDGS).

Toxina	Ref. MGAP	DDGS					WDGS				
		Muestras	Prom.	Normal	Rango	DS	Muestras	Prom.	Normal	Rango	DS
Aflatoxina, ppb	20	30	4,61	2,12	7,09	2,49	28	2,17	0,00	6,79	4,61
Vomitoxina, ppm	5	54	3,62	0,00	7,74	4,12	44	1,91	0,00	4,26	2,35
Zearalenona, ppm	0,25	16	0,24	0,00	0,51	0,27	14	0,37	0,00	0,87	0,5
T2, ppm		11	0,03	0,00	0,07	0,03	14	0,12	0,00	0,24	0,12
Ocratoxina	0,25	4	0,01	0,01	0,01	0,00	3	0,02	0,02	0,02	0,0
Fumonisin, ppm		20	0,74	0,00	1,96	1,22	27	0,69	0,00	1,73	1,04

Fuente: Extraído de García, 2012. Datos de cosecha acumulados: 05/01/2000 a 04/30/2007; www.dairyone.com. 2007.

En el cuadro 19, muestra los valores reportados por Dairy One (Ithaca, NY), citados por García, (2012), de micotoxinas en DDGS y WDGS. El valor de aflatoxina en DDGS es dos veces superior al valor en WDG. Las condiciones de pH bajo que sale el WDG de planta, puede resultar en condiciones menos favorables para el crecimiento de aspergillus.

En relación a los valores de referencia del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP), en promedio, todos los resultados reportados por Dairy, son inferiores a los mismos.

En el Diario Oficial de La Unión Europea, citado por Kyprianou, 2006, recomiendan como valores de micotoxinas máximos para subproductos de maíz en Zearalenona de 3 ppm, Deoxinivalenol (DON) 12 ppm, Ocratoxina A 0,25 ppm y Fumonisin B1 + B2 60 ppm. Valores que en el caso de Zearalenona y DON están bastante por encima de los valores orientativos del MGAP.

Los valores reportados de vomitoxina (DON), deben ser considerados y ameritan una observación detallada ya que son bastante más altos tanto en

DDGS como en los WDG, que los valores totales de DON recomendados por la FDA (Food and Drug Administration), son de 2 ppm (2000 ppb) en dietas de vacas lecheras (García, 2012).

En el cuadro 20, se presentan valores de referencia según la FDA (Food and Drug Administration) para diferentes categorías de animales y tipo de alimento. Los valores indican los niveles a partir del cual las micotoxinas tienen nivel de acción en los animales.

Cuadro 20. Niveles de presencia de micotoxinas en alimento animal y riesgo de contaminación según categoría (ppb o µg/kg).

Categoría	Niveles de acción en alimentos para animales			
	Granos, subproductos de granos y otros	Aflatoxina (partes por billón, ppb)	Vomitoxina (DON) partes por millón, ppm. (máximo en dieta)	Fumonisin (FB1, FB2 y FB3). Niveles en grano y subproductos y (dieta completa) p.p.m parte por millón
Bovinos (Vacas lecheras)	Maíz y productos de maíz	20 p.p.b		
Cría Bovinos, cría suinos, aves de corral	Maíz y productos de maíz	100 p.p.b		30 p.p.m (15 p.p.m)
Bovinos terminación (feedlot)	Maíz y productos de maíz	300 p.p.b		
Bovinos de leche (más de 4 meses)	Granos y subproductos. No excede el 50% dieta		10 p.p.m (5 p.p.m)	
Bovinos de carne y leche más de 4 meses	Granos de destilería y otros		30 p.p.m (10 p.p.m. feedlot) (5 p.p.m leche)	
Otros animales	Granos y subproductos. No excede el 40% dieta		5 p.p.m (2 p.p.m)	10 p.p.m (5 p.p.m)

Fuente: Elaborado en base a NGFA (National Grain Feed Association, 2011).

2.2.7.3. Uso de antibióticos en la producción de los DDGS

El uso de los antibióticos en la producción de etanol es utilizado para controlar las infecciones bacterianas durante el proceso de fermentación,

mejorando el rendimiento en etanol y la calidad nutricional de los DDGS (Paulus Compart, et al. 2013).

En planta de Bioetanol de Uruguay, no se utiliza antibiótico de forma permanente, por el sistema de limpieza automático instalado. El uso de antibiótico, en este caso virginiamicina, se da en paradas por mantenimiento o cuando el recuento de bacterias supera el 10^6 a 10^7 UFC/ml (Unidad Formadoras de Colonias/mililitro).

El antibiótico más utilizado y mejor estudiado es la virginiamicina, que se añade normalmente a los fermentadores en niveles de 0,25 a 2,0 ppm, siendo estos rangos menores a los autorizados por la FDA (Food and Drug Administration) que permite una tasa de utilización máxima de 2 a 6 ppm. (Benjamin, 2009).

La virginiamicina es eficaz en el control de bacterias del ácido láctico, ya que evita reducciones en el rendimiento de etanol en torno al 11% (Hynes et al., 1997).

Existen tres factores que hacen que la virginiamicina en los DDGS no sea perjudicial para los animales y la salud humana. En primer lugar, la virginiamicina es inactivada durante el proceso de destilación de etanol (Hynes et al., 1997); por otro lado, no se absorbe en el intestino, y en un estudio realizado en pollos alimentados con virginiamicina, no se encontraron residuos en los riñones, hígado o músculos (Butaye et al., 2003; Juranek y Duquette, 2007). Se han alimentado animales con concentraciones más altas de lo recomendado por la FDA (Food and Drug Administration) sin tener efectos nocivos sobre la salud animal.

2.3. FORMAS DE CONSERVACIÓN DE LOS GRANOS DE DESTILERÍA

La obtención de los granos de destilería para ser usado en los establecimientos se pueden obtener de dos formas, una es en su presentación seca (10% de humedad) en forma de pellet o harina, y otra forma es la húmeda (60 a 75% de humedad). Esta última tiene ciertas limitantes por el tiempo que puede permanecer almacenado sin deteriorar el producto previo al uso.

Según García y Kalscheur (2004) en verano no es recomendable almacenarlo por más de tres a cuatro días; y hasta una semana (5-7 días) durante el invierno, de forma de minimizar el deterioro. En caso de no respetar los períodos de almacenamiento, se recomienda ensilarlos, para evitar las pérdidas del material.

El hecho de que la vida útil durante el verano sea menor, se debe principalmente a la temperatura, ya que provoca condiciones propicias para el crecimiento de hongos en un sustrato de alta humedad (McClurkin-Moore, 2015).

McClurkin-Moore (2015), evaluó la vida útil de los granos de destilería en diferentes condiciones de exposición a la temperatura e inclusión de los solubles (0, 20 y 30% sobre los granos húmedo de destilería, WDG), teniendo como indicadores: humedad, pH, acidez de la grasa, crecimiento de hongos y los niveles de micotoxinas. Estas mediciones fueron realizadas antes y después de siete días de almacenamiento a diferentes temperaturas (10, 20 y 30 °C), provocando el efecto más importante en las condiciones de almacenamiento. A los siete días de almacenamiento, hubo una mayor acidez de la grasa, y tanto el pH, el crecimiento de hongos y los niveles de micotoxinas aumentaron con el aumento de la misma. Como conclusión del trabajo, menciona que luego de esa semana de almacenamiento, las características sensoriales, físicas, químicas y microbiológicas no fueron

conservadas. A su vez se detectó que el deterioro era menor en temperaturas de 10°C que a 20°C y 25°C, como del mismo modo hubo un menor deterioro con 0% de CDS, que con 20% y que 30% de CDS en los WDG.

2.3.1. Proceso de almacenamiento de los granos húmedos de destilería

El proceso de ensilado de los granos húmedos de destilería no difiere del ensilaje de sorgo planta entera o el de granos húmedos, en donde el principal factor limitante para la buena conservación es el oxígeno. Por lo tanto, excluir totalmente el aire es clave para cuando se va a almacenar en silo bolsa o silo trinchera (Erickson et al., 2008).

El WDGS, sale del proceso con pH bajo (valores de 4-4,5 son muy comunes), por lo tanto, la probabilidad de fermentación en esos valores de pH es mínima. Si se excluye todo el aire durante el almacenamiento, el producto puede permanecer mucho tiempo sin deterioro. Podría llegar a producirse cierto deterioro en la superficie del silo bolsa o silo trinchera si queda algo expuesto al aire (Erickson et al., 2008).

El principal problema para el almacenamiento del WDGS (30 – 35% de MS), es que el material no puede ser compactado. Por lo tanto si quisiéramos almacenar en silo trinchera o similar, previo al almacenamiento lo deberíamos mezclar con otros insumos para lograr una buena compactación. En este sentido los forrajes secos como pajas de residuos de cosecha, ensilajes de planta entera, pueden darle volumen a la mezcla y lograr una buena compactación.

2.3.1.1. Almacenamiento en silo bolsa

Una de las opciones para el almacenamiento del WDGS puede ser con la misma embolsadora de silo bolsa, muy utilizada para el almacenamiento de grano o grano húmedo. Previo al inicio del embolsado es recomendable retirar o abrir al máximo los rodillos que son utilizados para moler el grano, debido a que de esta forma el producto no se tranca al momento del embolsado.

Erickson et al. (2008) reportan que este método es menos eficiente en el uso del área de almacenamiento ya que no se le puede aplicar presión a la bolsa y que podrían quedar espacios de aire dentro de la misma. A su vez, aconsejan no aplicar presión a la bolsa, debido a que en pocos días se podría generar la rotura de la misma.

Con el fin de evaluar diferentes alternativas de mezcla con el WGS, previo al embolsado, dichos autores, realizaron diferentes pruebas para evaluar la conveniencia de cada uno. Se realizaron cinco tipos de mezcla con diferentes fuentes: 1- Henos de gramínea, 2- Heno de alfalfa, 3- paja de trigo, 4- DDGS y 5- WCFA (Gluteen Feed Húmedo de Maíz). En cada caso se evaluaban diferentes niveles en la mezcla que iban desde 7,5% hasta el 50% en MS, el resto de la mezcla lo componía el WDGS.

Concluyeron que los niveles de inclusión de los forrajes dependen del contenido de fibra de los mismos, siendo los mejores para la mezcla y conservación los forrajes voluminosos. Los forrajes de menor calidad (es decir, los de mayor FDN, como paja de trigo) son los más adecuados en comparación con los de mejor calidad como ser el heno de alfalfa.

Las cantidades mínimas requeridas según las diferentes pruebas muestran que es necesario 12,5% de paja de trigo y 87,5% de WDGS, en base seca, siendo la mezcla en base húmeda de aproximadamente 5% de paja de trigo y el restante 95% de WDGS. Los autores recomiendan como

óptimo usar 7,5% de paja de trigo en base húmeda y el resto 92,5% de WDGS (base fresca).

En el caso de usar heno de alfalfa, el cual es poco probable debido al costo de obtención de la misma, se podría utilizar como mínimo un 22,5% de henos de alfalfa y un 78,5% de WDGS, en base seca.

A continuación se presentan, en el cuadro 21, los niveles mínimos para mezclar en dependencia de la fuente a utilizar.

Cuadro 21. Porcentaje mínimo de inclusión de diferentes fuentes de forrajes para embolsado de WDGS.

Ingrediente	% MS	% inclusión BF	% MS, mezcla
Heno gramínea	90	6,2	37,5
WDGS	34	98,8	
Heno Alfalfa	90	9,9	39,5
WDGS	34	90,1	
Paja de trigo	90	5,1	36,9
WDGS	34	94,9	
DDGS	90	27,4	49,4
WDGS	34	72,6	
WCGF	44	53,7	39,4
WDGS	34	46,3	

Fuente: Adaptado de Erickson et al., 2008. MS: materia seca. BF: base fresca. WDGS: Granos Húmedos de Destilería con Solubles. WCGF: Gluten Feed de Maíz Húmedo

Se estima que mezclas finales mayores de 35 a 40% de humedad no son recomendables, debido a que se puede provocar un deterioro y perder la calidad del producto ensilado.

2.3.1.2. Silo bunker o trinchera

Mientras el almacenamiento en silo bolsa puede ser una técnica que se adapte a una gran diversidad de productores, el método de almacenamiento por silo bunker es otra técnica muy utilizada en los Estados Unidos. El método es algo diferente, pero el proceso de conservación es el mismo que el silo bolsa, logrando hacer una mezcla homogénea con forrajes y extraer la mayor proporción de aire posible mediante la compactación (Erickson et al., 2008).

Una de las limitantes en realizar un bunker es que no todos los productores pueden lograr mezclar el WDGS con una fuente de forrajes, debido a la falta de maquinaria para realizar dicha tarea. Una forma que presentan los autores muy económica y fácil de llevar adelante en cualquier predio, es realizar un “bunker” con fardos, en donde se coloca nylon de silo bolsa y se descarga el camión de WDGS encima del mismo, con el nylon sobrante se tapa el producto y se extrae la mayor cantidad de aire posible. Esto seguramente va a provocar ciertas pérdidas de material en la superficie, debido a que es imposible extraer todo el aire.

2.3.2. Indicadores de calidad de los silos

Según Doyle (2007), la vida útil de un alimento es el tiempo en que el mismo permanece estable y conserva sus cualidades. El deterioro de un material puede estar influenciado por varios factores, algunos de ellos son: 1) enzimas endógenas producidas por plantas que degradan las pectinas; 2) insectos y roedores que afectan los alimentos; 3) parásitos; 4) microorganismos, bacterias, mohos, levaduras; 5) condiciones de luz pueden causar degradación en pigmentos y proteínas causando cambios en color y palatabilidad; 6) cambios drásticos en temperaturas causa deterioro más

acelerado del alimento; 7) oxidación de los lípidos, lo que produce malos olores; 8) la humedad.

García y Kalscheur (2004), evaluando algunos indicadores de fermentación en los granos húmedos de destilería a partir de maíz (70% de humedad), mostraron muy poco cambio en pH, ácido acético, ácido propiónico y ácido láctico, indicando una estabilidad en el almacenamiento a los catorce días de realizado el silo.

Los indicadores de calidad de los silos realizados con granos de destilería húmedos pueden ser separados en indicadores de la composición nutricional de la vida útil (humedad, pH, acidez de la grasa), y no nutricionales (como el crecimiento de hongos y los niveles de micotoxinas), McClurkin-Moore (2015).

3. EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD BIOANALÍTICA DE GRANOS DE DESTILERÍA HÚMEDOS

La evaluación del subproducto se realizará a través de la caracterización analítica del material.

Se evaluará el WDGS en dos formas de almacenamiento, por un lado evaluar la vida útil durante 30 días, en un establecimiento donde se almacena sin cubrir el producto. Por otro lado, evaluar la conservación del WDGS por un período mayor a 60 días en un establecimiento que almacena el producto en silo bolsa.

3.1. OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestras serán retiradas, al día cero de producción, y luego se retirarán muestras del predio una vez por semana, tanto para el producto sin embolsar (en box) como el embolsado.

Se recibirán al menos tres muestras de cada partida a evaluar y serán conservadas en bolsas plásticas. Se incluirán 3 establecimientos, contando cada uno con un silo y un box. Las muestras se dividirán en dos: las que serán inmediatamente utilizadas (se conservarán en heladera por uno o dos días) y las que serán secadas 60° para su evaluación biológicas. Todas las muestras serán conservadas secas en ambiente de temperatura y humedad controladas para su posterior análisis.

3.2. OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN EN ESTABLECIMIENTO O EN LA ZONA

Durante el período de almacenamiento, se deberá monitorear la temperatura ambiente, humedad y precipitaciones en la zona donde se va a almacenar el producto.

De ser posible, se realizaría la metodología planteada durante el invierno y el verano para obtener datos de condiciones contrastantes.

Se realizará un seguimiento de la evolución de la temperatura del WDGS, cada dos días.

3.3. CARACTERIZACIÓN ANALÍTICA

Para evaluar aspectos de la inocuidad del producto se determinará el contenido de micotoxinas (fumonisina, aflatoxinas totales, zearalenona y DON) por métodos inmuno-químicos enzimáticos (usando kits comerciales de ELISA).

Las muestras recibidas serán analizadas para determinar cenizas (y con ello MO), extracto al éter, proteína cruda (PC, Kjeldahl N x 6,25) según AOAC (1990). La FDN, FDA y serán determinadas utilizando un analizador de fibra ANKOM 220 según procedimiento de Van Soest et al. (1991) utilizando alfa amilasa. La proteína insoluble en detergente neutro (NDIN) y en detergente ácido (ADIN) serán determinadas en los residuos de FDN y FDA, respectivamente (método Kjeldahl, AOAC, 1990). La proteína soluble en buffer y el nitrógeno no proteico (NNP) será determinada de acuerdo a Licitra et al. (1996). Los carbohidratos no fibrosos serán determinados por diferencia (NRC, 2001).

La estimación del contenido de energía metabolizable (EM) será realizada a partir de procedimiento *in vitro/in situ* de estimaciones de digestibilidad de la MS o MO según Nuez-Ortin y Yu (2011).

3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos serán analizados con el paquete estadístico SAS (v. 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC) usando un diseño completamente aleatorizado con tres réplicas por tratamiento de acuerdo con el siguiente modelo general:

$$Y_{ijk} = \mu_i + \tau_j + \beta_k + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde: Y_{ijk} = variable de respuesta, μ_i = media general, τ_j = efecto del tratamiento, β_k = efecto de la Partida y ε_{ijk} = error experimental.

4. CONSIDERACIONES FINALES

Los granos de destilería producidos en Uruguay, en relación a los datos internacionales, son muy similares en cuanto a su composición química, variando en algún caso el porcentaje de proteína cruda, básicamente por las diferencias en la composición del grano que le dio origen.

Se desprende de la revisión realizada que los granos de destilería son una excelente alternativa para ser usada en las dietas de ganado lechero, aportando proteína, energía y minerales, para cubrir el requerimiento de los mismos. Existe cierta interrogante en cuanto a la disponibilidad de la proteína en los DDGS de Sorgo, sin embargo, varios autores reportan que no existe diferencia en la digestibilidad de la proteína, entre utilizar granos de destilería de maíz o de sorgo.

La energía aportada proviene principalmente de la fibra (FDN) y la grasa, y no del almidón, lo que hace que sea un subproducto más “seguro” en cuanto a los posibles problemas de acidosis que se puedan generar en dietas muy concentradas.

La fibra (FDN), contiene una digestibilidad mayor a 70%, y como particularidad de este tipo de subproducto, no debe ser tomado como fibra efectiva, ya que las partículas son muy pequeñas y explican algunos autores que no se debe sustituir la fuente de fibra efectiva por los granos de destilería.

El contenido alto de azufre en los granos de destilería en Uruguay, no son una limitante para ser usados en la alimentación animal.

La utilización de los granos húmedos de destilería tiene como limitante la vida útil que va de cuatro a siete días en dependencia de la temperatura. Se reporta que una de las opciones viables desde el punto de

vista de la conservación, puede ser en silo bosa o silo trinchera, con la condición de que esté libre de oxígeno para mantener la estabilidad del producto.

A nivel nacional no existen datos referidos al almacenamiento del WDGS, teniendo en cuenta nuestras condiciones ambientales, por lo que se plantea una metodología de evaluación de la vida útil, para poder obtener resultados a nivel local.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Al-Suwaiegh S, Fanning K C, Grant R J, Milton C T, Klopfenstein T J. 2002. Utilization of distillers grains from the fermentation of sorghum or corn in diets for finishing beef and lactating dairy cattle. *Journal of Animal Science*, 80:1105-1111.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). Editado por Kenneth Helrich. 1990. Fifteenth Edition. USA. Virginia. Association of Official Analytical Chemists, Inc.
- Azcona J O, Schang M J, Cortamira O. 2003. Pellets de girasol baja fibra: 1- caracterización químico-biológica. Cuadernillo Informativo N°4. Usos alternativos del Girasol en la Alimentación Animal. Buenos Aires, Argentina. INTA- EEA Pergamino.
- Bargo F, Palladito A, Wawrzkieviov M. 2006. La fibra. (En línea). Infortambo (Buenos Aires). 202: 82-84. Consultado 30 jul. 2009. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/66-fibra.pdf
- Benjamin L. 2009. Biofuel co-products opportunities & challenges. U.S. Food and Drug Administration, Rockville, MD, p.2. U.S. Grains Council. A guide to Distiller's Dried Grains with Solubles (DDGS) DDGS User Handbook, 3 er Edición – 2012.
- Blümmel M, Makkar H P S, Becker K. 1997. In vitro gas production: a technique revisited. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 77, 24-34.
- Bruni M, Trujillo A I, Facchín L, Saragó L, Chilbroste P. 2014. Evaluación nutricional para rumiantes de la burlanda de sorgo húmeda obtenida de la producción de etanol de ALUR Paysandú. *Revista de la Estación*

- Experimental «Dr. Mario A. Cassinoni». Paysandú, Uruguay. Cangüé. 35: 28-38.
- Butaye P, Devriese L A, Haesebrouck F. 2003. Antimicrobial growth promoters used in animal feed: effects of less well known antibiotics on gram-positive bacteria. *Clinical Microbiology Reviews* 2003 Apr; 16(2):175-88.
- Campabadal C. 2010. Comparación del valor nutritivo de la harina de soja y los destilados de maíz. Asociación Americana de Soja. Congreso nutrición animal. Costa Rica. Disponible en: http://www.ciabcr.com/charlas/NutricionAnimal102010/Comparacion_de_l_valor_Nutricional_de_la_Harina_de_Soya_y_los_Derivados_de_Maiz-Carlos_Campabadal.pdf
- Calsamaglia S. 1997. Nuevas bases para la utilización de la fibra en dietas de rumiantes. In: Curso de Especialización FEDNA (8º., 1997, Madrid). Avances en nutrición y alimentación animal. Madrid, Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. pp. 3-19.
- Chrenková M, Čerešňáková Z, Formelová Z, Poláček M, Mlyneková Z, Flák P. 2012. Chemical and nutritional characteristics of different types of DDGS for ruminants. *Journal of Animal and Feed Science*, 21, 2012, 425–435 (pto 5).
- Cozzolino D, Pigurina G, Methol M, Acosta Y, Mieres J, Bassewitz H. 1994. Guía para la alimentación de rumiantes. 2. ed. Montevideo (Uruguay): INIA. 60 p. (INIA Serie técnica; 44).
- De Blas C, Mateos G G, Rebollar, P G. 2007. DDGS de maíz (granos de destilería, DDG, y solubles, DDS). España, Universidad Politécnica de Madrid.
- Detmann E, Paulino M F, Coelho da Silva J F, De Campos Valadares S, Tilemahos Zervoudakis J, Da Silva Cabral L, Cecon P R, De Paula Lana R. 2006. Digestibilidade dos compostos nitrogenados insolúveis

em detergente ácido em bovinos manejados em pastagem de capim-braquiária. Revista Brasileira de Zootecnia. v.35, n.4, p.1463-1468.

Díaz-Royón F, García A, Rosentrater K A. 2012. Composición de los lípidos en los granos de destilería. IGrow. A service of South Dakota State University (SDSU) Extension. Livestock. Dairy Science. Iowa State University. Agricultural and Biosystems Engineering.

Doyle M E. 2007. Microbial Food Spoilage — Losses and Control Strategies. A Brief Review of the Literature. Food Research Institute, University of Wisconsin–Madison. Madison, WI 53706. http://fri.wisc.edu/docs/pdf/FRI_Brief_Microbial_Food_Spoilage_7_07.pdf

Erickson G E, Klopfenstein T J, Watson A K. 2012. Utilization of feed co-products from wet or dry milling for beef cattle. Department of Animal Science, University of Nebraska-Lincoln, C220 Animal Science Lincoln, Nebraska 68583-0908, United States of America. Biofuel co-products as livestock feed - Opportunities and challenges, edited by Harinder P.S. Makkar. Rome. Chapter 5.

Erickson G, Klopfenstein T, Rasby R, Stalker A, Plugge B, Bauer D, Mark D, Adams D, Benton J, Greenquist M, Nuttleman B, Kovarik L, Peterson M, Waterbury J, Wilken M. 2008. Storage of wetcorn co-products. 1st Edition. University of Nebraska–Lincoln. Institute of Agriculture and Natural Resources.

FEDNA, 2012. (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal) De Blas, C., Mateos, G.G., García-Rebollar, P. 2010. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (3ª edición). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid. 502 pp.

García A. 2012. Micotoxinas en Granos de Destilería: ¿Una Preocupación en Rumiantes? Extension Dairy Specialist, South Dakota State University.

Engormix

Newsletter.

<https://www.engormix.com/micotoxinas/articulos/micotoxinas-granos-destileria-preocupacion-t29579.htm>

García A D, Kalscheur K F. 2004. Ensilaje de granos de destilería con otros alimentos. College of Agriculture & Biological Sciences / South Dakota State University / USDA. Dairy Science Department. ExEx4029S.

Gargallo S, Calsamiglia S, Ferret A. 2006. Technical note: A modified three-step in vitro procedure to determine intestinal digestion of proteins. *Journal of Animal Science*, 84:2163-2167.

Harborth K W, Marston T T, Llewellyn D A. 2006. Comparison of corn and grain sorghum dried distillers grains as protein supplements for growing beef heifers. *Beef Cattle Research*.

Hippen A R, García A D. 2012. La variabilidad de los granos de destilería para la producción lechera. Dairy Science Department South Dakota State University (Estados Unidos). PV ALBEITAR 25/2012.

Hynes S H, Kjarsgaard D M, Thomas K C, Ingledew W M. 1997. Use of virginiamycin to control the growth of lactic acid bacteria during alcohol fermentation. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 1997 Apr; 18(4):284-91.

Juranek P, Duquette P. 2007. Antibiotic regulatory considerations for distiller's grains. *Distillers Grains Quarterly*, 4th Quarter.

Kalscheur K F, García A D, Schingoethe D J, Díaz-Royón F, Hippen A R. 2012. Feeding biofuel co-products to dairy cattle. Dairy Science Department, South Dakota State University, Brookings, SD 57007, United States of America. Biofuel co-products as livestock feed. *Opportunities and challenges* FAO. Pp 115-146.

- Kleinschmit D H, Anderson J L, Schingoethe D J, Kalscheur K F, Hippen A R. 2007. Ruminant and Intestinal Degradability of Distillers Grains plus Solubles Varies by Source. *Journal Dairy Science*, 90:2909-2918.
- Kononoff P J, Erickson G E. 2006. Feeding Corn Milling Co-Products to Dairy and Beef Cattle. University of Nebraska-Lincoln. Department of Animal Science. (pto 3, fibra).
- Kyprianou M. 2006. Miembro de la Comisión. Diario Oficial de la Unión Europea. Recomendación de la comisión de 17 de agosto de 2006 sobre la presencia de deoxinivalenol, zearalenona, ocratoxina A, toxinas T-2 y HT-2 y fumonisinas en productos destinados a la alimentación animal. L 229/7.
- Licitra G, Hernandez T M, Van Soest P J. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds; *Animal Feed Science and Technology*. 57: 347-358.
- Lodge S L, Stock R A, Klopfenstein T J, Shain D H, Herold D W. 1997. Evaluation of corn and sorghum distillers byproducts. Lincoln. Department of Animal Science, University of Nebraska. *Journal of Animal Science*, 75:37-43.
- Machacek K J, Kononoff P J. 2009. The Relationship Between Acid Detergent Insoluble Nitrogen and Nitrogen Digestibility in Lactating Dairy Cattle. Department of Animal Science, University of Nebraska, Lincoln. 68583-0908.
- May M L, Declerck J C, Quinn M J, Dilorenzo N, Leibovich J, Smith D R, Hales K E, Galyean M L. 2010. Corn or sorghum wet distiller's grains with solubles in combination with steam-flaked corn: Feedlot cattle performance, carcass characteristics, and apparent total tract digestibility. *Journal of Animal Science*, 88:2433-2443.

- McClurkin-Moore J D. 2015. Shelf-life improvement of distillers wet grains with solubles. Agricultural and Biological Engineering. Purdue University. United States, Indiana. 10106192. <http://search.proquest.com/docview/1791128802>.
- Mertens D R, Lofton J R. 2002. Measuring fiber and its effectiveness in ruminant diets. Madison, WI, USDA. ARS/US. DIRY Forage Research Center. s.p.
- Nakamura T, Klopfensteinz T J, Britton R A. 1994. Evaluation of Acid Detergent Insoluble Nitrogen as an Indicator of Protein Quality in Nonforage Proteins. Department of Animal Science, University of Nebraska, Lincoln. 72:1043-1048.
- NGFA (National Grain and Feed Association). 2011. FDA Mycotoxin Regulatory Guidance. A Guide for Grain Elevators, Feed Manufacturers, Grain Processors and Exporters. Web site: www.ngfa.org.
- NRC (National Research Council) 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 7 th edn. Washington, DC: National Academy Press. ISBN: 0-309-51521-1, 408 pages.
- 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. Animal Feed Science and Technology. Department of Animal and Poultry Science, College of Agriculture and Bioresources, University of Saskatchewan, 51 Campus Drive, Saskatoon, SK, Canada. 170: 165-170.
- Orskov E R, De B, Hovell F D, Mould F, 1980. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. Tropical Animal Production. 5, 195–213.

- Paulus Compart D M, Carlson A M, Crawford G I, Fink R C, Diez-Gonzalez F, Di Costanzo A, Shurson G C. 2013. Presence and biological activity of antibiotics used in fuel ethanol and corn co-product production. *Journal Animal Science*, 91:2395-2404.
- Richard J. 2000. Mycotoxins—An overview. *Romer Labs' Guide to Mycotoxins*. *Romer Labs Guide to Mycotoxins* Vol. 1.
- Ross D A, Gutiérrez-Botero M, Van Amburgh M E. 2013. Development of an in vitro intestinal digestibility assay for ruminant feeds. Department of Animal Science Cornell University.
- Schingoethe D, García A, Kalscheur K, Hippen A. 2009a. El azufre en los granos de destilería para el ganado lechero. Department of Dairy Science, South Dakota State University (SDSU). Brookings 57007-0647, USA. K. Rosentrater, Agricultural Research Service. ExEx4039S.
- Schingoethe D J, Kalscheur K F, Hippen A R, García A D. 2009b. Invited review: The use of distillers products in dairy cattle diets. *Journal Dairy Science*, Dairy Science Department, South Dakota State University, Brookings 57007-0647, USA. 92:5802-5813
- Schingoethe D J, Kalscheur K F, García A D. 2002. Distillers Grains for Dairy Cattle. En: *Distillers grains feeding recommendations*. National Corn Growers Association. s/p.
- Sistema Nacional de Aduanas. [En Línea]. Consultado abril 2017. En <https://servicios.aduanas.gub.uy/luciapub/luciapublico.htm>
- 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. *Journal of Animal Science*, 70:3562-3577.
- Trujillo A I, Bruni M, Chilbroste P. 2016. Nutrient content and nutrient availability of sorghum wet distiller's grain in comparison with the

parental grain for ruminants. Journal of the Science of Food Agriculture. wileyonlinelibrary.com. DOI10.1002/jsfa.8046.

Wild B J, Anderson J L, García A D. 2015. Ruminant degradability and intestinal digestibility of crude protein in sorghum distillers dried grains compared to soybean meal and corn co-products. American Dairy Science Association. Midwest. American Society of Animal Science, 355.

Uruguay. Poder Legislativo. 2007. Ley N°18.195. Fomento y regulación de la producción comercialización y utilización de Agrocombustibles. Normativa y Avisos Legales del Uruguay. Poder Legislativo. 2007. Publicada D. O. 28/nov/2007 – N°27273. Montevideo, Uruguay. Consultado setiembre 2017: <https://legislativo.parlamento.gub.uy/temporales/leytemp6684346.htm>

Urriola P E, Hoehler D, Pedersen C, Stein H H, Johnston L J, Shurson G C. 2009. Determination of amino acid digestibility of corn, sorghum, and a corn-sorghum blend of dried distillers grains with solubles in growing pigs. *Journal Animal Science*, 87: 2574-2580.

Van Soest P J, Wine R H. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd. ed.
New York, Cornell University. 463 p.

Van Soest P J, Robertson J B, Lewis B A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science*, 74, 3583–3597.

6. ANEXO

ANEXO I. Diferencia de precio entre diferentes fuentes de proteína importada y nacional.

		2015		2016	
Producto	Unidad	Precio CIF/a levantar	Diferencia	Precio CIF/a levantar	Diferencia
Harina de Soja 47, corregida a 45%PC, importado	USD/Ton	389	27	372	10
Harina de Soja 45%PC, nacional	USD/Ton	362		362	
DDGS de maíz, importado	USD/Ton	179	21	184	27
DDGS Sorgo o mezcla, nacional	USD/Ton	158		157	