

Evaluación nutricional de burlanda seca de maíz (DDGS) en crecimiento y
terminación de cerdos

*Tesis presentada para optar el título de magister de la Universidad de Buenos Aires,
Área Producción Animal*

María Suarez del Cerro

Médica Veterinaria –Universidad del Salvador – 2011

Estación Experimental Agropecuaria Pergamino (INTA)



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Facultad de Ciencias Veterinarias.
Universidad de Buenos Aires

COMITÉ CONSEJERO

Director de tesis

Bernardo Fabricio Iglesias

Médico Veterinario (Universidad Nacional de La Plata)

Doctor en Ciencias Veterinarias (Universidad Nacional de la Plata)

Co-director

Gustavo Jaurena

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

M.Sc. (Pontificia Universidad Católica de Chile)

Ph.D. (University of Wales)

Consejero de estudio

Vicente Santos Ledur

Médico Veterinario (Universidade Federal do Rio Grande do Sul)

Magister en nutrición animal (Universidade Federal do Rio Grande do Sul)

JURADO DE TESIS

Susana Beatríz Gil

Médica Veterinaria (UBA)

Doctora en Ciencias Veterinarias (UBA)

Sonia Moisés

MSc (University of Illinois, Urbana)

PhD (University of Illinois)

Dra. Ing. Zoot. María Zimmerman

Ingeniera Zootecnista (Universidad Nacional de Tucumán)

Doctora en Ciencias Naturales (Universidad Nacional del Comahue)

Fecha de defensa de la tesis: 11/11/2020

Dedicatoria

A mis padres: Peta y Marcelo por amarme y aceptarme como soy; siempre alentándome a seguir el camino que me conduce hacia mí misma y a mi felicidad.

A mi hermano Lisandro por enseñarme que la vida es más hermosa cuando es compartida.

A mi hermano Bautista por ser un faro de luz, esperanza y amor incondicional en nuestras vidas.

A Aslan por ser mi fiel compañero.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecerle a la vida por tan generosa oportunidad; propiciando las circunstancias perfectas que si bien por momentos parecían hostiles, resultaron ser las perfectas para mi crecimiento profesional y evolución personal.

A mi comité consejero, por guiarme, formarme y aconsejarme en cada momento.

A todos los profesionales que, desde distintas partes del mundo, colaboraron con este trabajo: Pedro Urriola, Jorge Simón, Marcia de Souza Vieira, Jorge Miquet y John Patience.

A Raul Picatto y Ezequiel Ferrari, por confiarme la caracterización de su producto.

A la Asociación Cooperadora INTA Pergamino, por estar siempre a disposición y por financiar la compra de los animales para los ensayos.

A la cátedra de Nutrición Animal de la FAUBA, en especial a Gustavo Jaurena y Analía Miguez, por recibirme tan afectuosamente cada vez que necesité un cambio de aire.

A Mario Jose Carrera, por su dedicación y profesionalismo en el manejo y cuidado de los animales durante los ensayos.

A María José Beribe, por la paciencia y dulzura con la que supo guiarme a través del análisis estadístico de los datos.

A mi beiden, Silvina Olivero, por hospedarme en la calidez de su departamento y disfrutar de nuestra amistad todas las semanas de cursado.

A mis amigas incondicionales: Constanza, Danira, Laura y Mariana por acompañarme y sacarme siempre una sonrisa.

Declaración

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de los otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.

María Suarez del Cerro

ABREVIATURAS Y SIGLAS

AA: aminoácidos
ANOVA: análisis de la varianza
CA: conversión alimenticia
CAA: consumo acumulado de alimento
CDA: consumo diario de alimento
Cen: cenizas
CREC: Crecimiento
CVA: consumo voluntario de alimento
d: días
DDGS: granos de destilería secos con solubles
DIE: digestibilidad ileal estandarizada
DTA: digestibilidad total aparente
EB: energía bruta
ED/EB: coeficiente de digestibilidad de energía bruta
ED: energía digestible
EE.UU.: Estados Unidos
EE: extracto etéreo
EM: energía metabolizable
FC: Fibra cruda
FDA: fibra detergente ácido
FDN: fibra detergente neutro
FDT: Fibra dietética total
GDPV: ganancia diaria de peso vivo
GPA: ganancia de peso acumulada
HS: harina de soja
LIS: lisina
MET: metionina
MS: materia seca
MZ: maíz
NIRS: near-infrared spectroscopy
PB: proteína bruta
PV: Peso vivo

PV_i: peso vivo inicial

TER: terminación

tn: tonelada

USDA: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

INDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Producción porcina: situación internacional y nacional	1
1.2	Uso de ingredientes alternativos en alimentación porcina.....	3
1.3	Producción de etanol.....	3
1.4	Proceso de obtención de etanol.....	5
1.5	El DDGS de maíz.....	7
1.6	Características nutricionales de los DDGS	8
1.7	DDGS en la alimentación de cerdos	9
1.8	Fuentes de variación	10
1.9	Problemática y planteo de la investigación.....	12
1.10	Objetivos	13
1.10.1	Objetivo general.....	13
1.10.2	Objetivos específicos	13
2	MATERIALES Y MÉTODOS	14
2.1	Determinación de energía digestible.....	14
2.1.1	Predicción de la energía metabolizable	17
2.1.2	Análisis estadístico	18
2.2	Prueba de Crecimiento.....	18
2.2.1	Medición de parámetros zootécnicos.....	20
2.2.2	Análisis estadístico	24
2.3	Determinaciones químicas	25
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
3.1	Perfil nutricional del maíz, harina de soja y DDGS.....	26
3.1.1	Composición química y concentración de aminoácidos.....	26
3.1.2	Contenido y digestibilidad de Energía.....	30
3.2	Prueba de crecimiento.....	32
3.2.1	Consumo de alimento	32
3.2.2	Peso vivo y ganancia de peso	34
3.2.3	Conversión alimenticia	37
4	CONCLUSIONES	39
5	BIBLIOGRAFÍA	40

ANEXO 1	53
Determinaciones analíticas en los ingredientes y dietas experimentales	53
1. Humedad.....	53
2. Proteína bruta.....	53
3. Extracto etéreo	54
4. Fibra cruda.....	54
5. Cenizas.....	55
6. Fibra detergente neutro	56
7. Fibra detergente ácido.....	56

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1-1 Composición nutricional de DDGS de la empresa ACABio analizados entre los meses de julio y septiembre de 2015	12
Cuadro 2-1 Composición y aporte nutricional calculado de la dieta basal formulada para satisfacer requerimientos de cerdos en crecimiento y terminación (Rostagno <i>et al.</i> , 2017)	15
Cuadro 2-2. Tratamientos para determinar energía digestible de los ingredientes	16
Cuadro 2-3 Rango de peso vivo inicial de los animales en cada bloque	19
Cuadro 2-4. Composición de las dietas experimentales para las fases de crecimiento y terminación.....	22
Cuadro 2-5. Aporte nutricional calculado y analizado de las dietas experimentales	23
Cuadro 3-1. Perfil químico del grano de Maíz, Harina de soja y DDGS (Dried distilled grains with solubles). Resultados expresados en base seca, excepto Materia Seca que se expresó en porcentaje de materia húmeda (%MH).	26
Cuadro 3-2 Composición química de DDGS (Dried distilled grains with solubles) según distintas fuentes.....	28
Cuadro 3-3 Porcentaje de aminoácidos totales y porcentaje de digestibilidad de aminoácidos presentes en DDGS. Valores expresados en base seca determinados por NIRS.....	30
Cuadro 3-4 Contenido energético del maíz, harina de soja y DDGS experimentales	31
Cuadro 3-5. Consumo diario, acumulado por fase y global de cerdos alimentados con niveles crecientes de inclusión de DDGS en dietas de crecimiento y terminación	33
Cuadro 3-6. Peso vivo promedio al inicio y al finalizar las fases de alimentación.....	35
Cuadro 3-7. Ganancia de peso diaria, acumulada por fase y global de cerdos alimentados con niveles crecientes de inclusión de DDGS en fases de crecimiento y terminación.....	37
Cuadro 3-8. Conversión alimenticia diaria (kg de alimento tal cual/ kg de ganancia de peso vivo), acumulada por fase y global de cerdos alimentados con niveles crecientes de inclusión de DDGS en dietas de crecimiento y terminación.....	38

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Evolución del consumo nacional de carne de cerdo per cápita en los últimos 10 años.	2
Figura 1-2. Proceso de obtención de etanol y DDGS a través de molienda seca de granos de maíz	5
Figura 1-3. Evolución de la industria Argentina de bioetanol, demanda de maíz para la producción de etanol y producción de DDGS.....	8
Figura 2-1. Distribución de los tratamientos en el galpón.	19
Figura 3-1. Consumo acumulado total de las dietas experimentales correspondiente a los bloques 1 a 3, que consumieron el presupuesto total de ambas fases de alimentación...	34
Figura 3-2. Evolución del peso vivo de cerdos alimentados con niveles crecientes de DDGS en las fases de crecimiento y terminación	37

RESUMEN

En la Argentina, la producción de bioetanol a partir de granos de maíz comenzó a fines del 2012, generando a su vez dos subproductos: dióxido de carbono (CO₂) y granos de destilería o burlandas. Los últimos se obtienen del proceso en forma húmeda (WDGS-65% humedad) y luego, si son secados, reciben el nombre de burlanda seca (DDGS-10% humedad). Este último ha sido evaluado como ingrediente alternativo en dietas para cerdos por más de medio siglo en Estados Unidos. Sin embargo, a nivel nacional, existe una falta de información sobre las características nutricionales de este y los efectos de adicionarlo a dietas para cerdos en crecimiento (CREC) y terminación (TERM). Por tal motivo, los objetivos del presente estudio fueron analizar el perfil nutricional del DDGS producido localmente a través de un análisis proximal completo, determinación de fibra detergente neutro (FDN) y ácida (FDA), energía digestible (ED) y metabolizable (EM), y perfil de aminoácidos (AA), para luego evaluar la respuesta productiva de cerdos alimentados con niveles crecientes de DDGS. Para la determinación de ED de DDGS, maíz y harina de soja, 8 cerdos machos castrados de 50 kg peso vivo inicial (PVi) fueron asignados aleatoriamente a uno de los dos cuadrados latino (4x4) y alojados individualmente en jaulas metabólicas donde se llevó a cabo el método de recolección total. Los resultados indicaron que, el DDGS contiene 26,4% de proteína bruta, 10,2% de extracto etéreo, 7,4% de fibra cruda, 5,3% de cenizas, 39,7% de FDN, 9,75% de FDA y 3800 kcal/kg de ED (datos expresados en base seca). La EM fue calculada por ecuación en 3568 kcal/kg MS, valor que al igual que ED, resultó similar a lo ya reportado. En la prueba de crecimiento 36 cerdos castrados fueron, en primer lugar bloqueados por PVi y luego asignados al azar a una de 4 dietas experimentales consistentes en niveles crecientes de inclusión de DDGS en las dietas (Control 0%, **D0**; 15%, **D15**; 30%, **D30** y 45%, **D45**) de acuerdo a un diseño en bloques completos aleatorizados. No se encontraron diferencias en el peso vivo final (PV_F), ganancia diaria y acumulada de peso (GDPV; GDA) ni conversión alimenticia (CA) como resultado de la inclusión de DDGS a las dietas. Se concluye que el DDGS presentó un perfil nutricional similar al reportado en la literatura y que es factible incluirlo en dietas hasta un 45% sin generar efectos negativos sobre la respuesta productiva porcina durante las etapas de CREC y TERM.

Palabras claves: Granos de destilería secos con solubles, DDGS, monogástricos, energía digestible, respuesta productiva.

ABSTRACT

In Argentina, bioethanol production from corn started by the end of 2012 resulting into two coproducts: carbon dioxide (CO₂) and distillers grains, which are obtained in a wet form known as wet distillers grains with solubles (WGDS-65 % moisture) and then when dried they are named dried distillers grains with solubles (DDGS -10% moisture). The latter have been assessed as an alternative ingredient in swine diets over the last 50 years in the United States. However, in our country there is a lack of information about DDGS's nutritional value and their effects on pig performance when added to growing (CREC) and finishing (TERM) diets. Therefore, the objectives of this study were to analyze the nutritional profile of a DDGS locally produced by a complete proximal analysis, determination of neutral (NDF) and acid (ADF) detergent fiber, digestible (DE) and metabolizable (ME) energy and amino acid (AA) content, to assess the productive response of pigs fed with increasing levels of DDGS. In order to determine DE of DDGS, corn and soybean meal, eight barrows initially 50 kg body weight were randomly allocated to 1 of 2 Latin squares (4x4) and housed in metabolic cages where the total collection method was conducted. Results indicated that DDGS contained 26,4% crude protein, 10,2% de ether extract, 7,4% de crude fiber, 5,3% ash, 39,7% NDF, 9,75% ADF, and 3800 kcal DE/kg DM. The ME was computed by an equation being 3568 kcal/kg DM, both values were in agreement with other reported values. In the growing test, 36 barrows were blocked by initial body weight and randomly assigned to 1 of 4 experimental diets containing increasing levels of DDGS (Control 0%, **D0**; 15%, **D15**; 30%, **D30** y 45%, **D45**) according to a complete randomized block design. No differences were found in final body weight, daily and cumulated body weight gain and feed conversion as result of DDGS inclusion. In conclusion, DDGS presented a nutritional profile similar to that reported in the literature, and that its inclusion up to 45% do not promote negative effects on the swine productive response at growing and finishing stages.

Keywords: distillers dried grains with solubles, monogastrics, digestible energy, animal performance.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Producción porcina: situación internacional y nacional

Del total de proteínas consumidas a nivel mundial, las de origen animal representan casi el 40%, y se espera que continúen creciendo sustancialmente hasta el año 2050. En tal sentido, la creciente demanda de carnes se debe, fundamentalmente, al rápido aumento demográfico, incremento de salarios per cápita y urbanización de los países en desarrollo. Como respuesta a esta demanda alimenticia, se prevé que la producción mundial de carnes será 13% mayor en 2026 respecto del período 2014-16 (OCDE-FAO, 2017).

En los últimos años, la industria de la carne porcina a nivel internacional ha experimentado importantes avances tecnológicos, lo que significó una mejora en la eficiencia de producción, sumado a nuevas exigencias por parte del consumidor por productos de calidad, inocuos y con mayor proporción de tejido magro. Según la Organización para la Alimentación y Agricultura (FAO), del total de carne consumida en el mundo, 36,2% es de cerdo, 39,9% es de ave y el 19,5% corresponde a carne bovina (OECD, 2017).

Desde el Departamento de Agricultura de EE.UU. (USDA) sostienen que en el 2018, la producción de cerdo a nivel mundial creció a una tasa del 2%, convirtiéndose en la más alta de los últimos 5 años. China lidera la producción, seguida por la Unión Europea y Estados Unidos. En tanto, la demanda está liderada por los países en desarrollo, en particular de Asia (USDA, 2018a).

En la Argentina, el mercado de carnes guarda diferencias en relación al comportamiento del mercado mundial. El consumo de productos cárnicos alcanzó los 116 kg/hab/año en 2017. Del total consumido, 66 % correspondió a carne vacuna, 51% a carne aviar y un 16% a carne de cerdo (Minagro, 2018a). Pese a que ésta última continúa siendo una de las carnes menos consumidas, resulta la actividad con mayor crecimiento sostenido en los últimos años, pasando de 280 mil toneladas producidas en 2010, a 566 mil toneladas en 2017. Además, durante el último año, y por primera vez en la historia, la faena nacional superó los seis millones de cabezas (Coninagro, 2018).

Dentro de las numerosas razones que explican el desarrollo del sector porcino, se encuentra la devaluación de la moneda ocurrida en 2002, a partir de la cual, las condiciones macroeconómicas para la producción porcina mejoraron considerablemente,

especialmente por el encarecimiento del cerdo importado y el mejoramiento de los precios internos (Brunori, 2013). Asimismo, la reducción del rodeo bovino entre los años 2007 y 2010, con la consecuente caída de la oferta de carne vacuna abrió una oportunidad única para una mayor incorporación de carne porcina en la dieta de los argentinos (Garzón *et al.*, 2011).

En efecto, el consumo resultó ser uno de los factores clave a la hora de interpretar el desarrollo del sector, explicado, en parte, por el encarecimiento relativo de la carne vacuna, sumado a un cambio de percepción del consumidor sobre los atributos de la carne de cerdo. Como se ilustra en la Figura 1-1, el consumo nacional de carne de cerdo se duplicó en los últimos 10 años. Asimismo, según el Plan Estratégico Agroalimentario, se esperaba que el consumo de carne de cerdo alcanzara los 12,90 kg/hab/año para el 2020 (Minagri, 2010), sin embargo dicha cifra fue superada en el 2017, con 14,05 kg/hab/año (Minagro, 2018b).

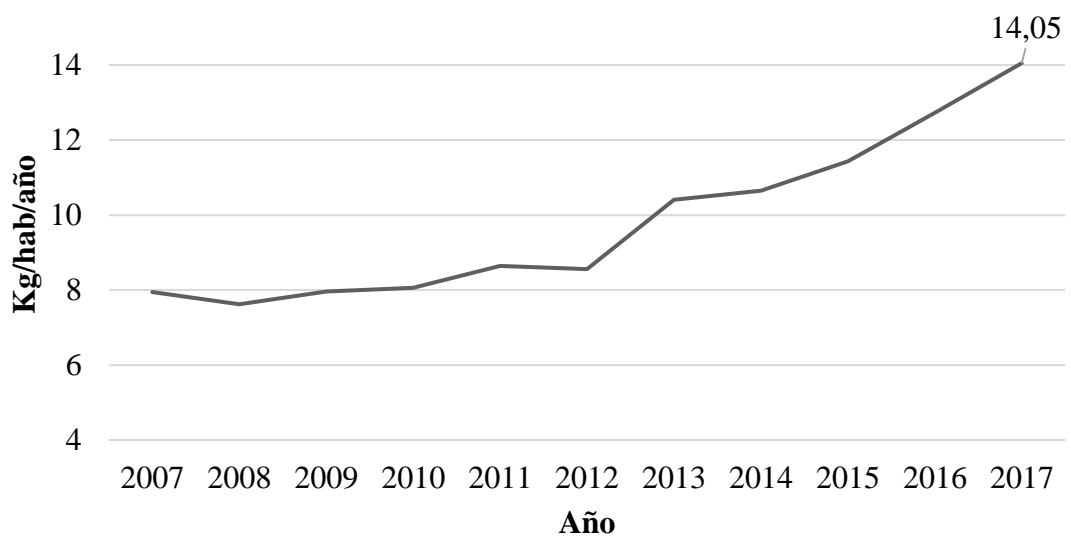


Figura 1-1. Evolución del consumo nacional de carne de cerdo per cápita en los últimos 10 años.

Fuente: Minagro, 2018b.

Sin embargo, en la actualidad, el sector porcino se enfrenta a un nuevo y desafiante escenario, debido al aumento del precio de los cereales tradicionalmente utilizados para la elaboración de dietas. Entre octubre de 2017 y octubre de 2018 el precio del maíz (**MZ**)

y la soja, mostraron un aumento del 208 y 210%, respectivamente (BCR, 2018); y es importante destacar que la alimentación representa entre el 50 y el 80% del total de los costos de producción (Noblet *et al.*, 1996). Este aumento de precios motiva la necesidad de buscar ingredientes alternativos para abaratar costos.

1.2 **Uso de ingredientes alternativos en alimentación porcina**

Durante años, la combinación del grano de MZ molido con harina de soja (**HS**) ha sido el componente básico de las dietas de cerdos (Cromwell, 2000). El éxito de esta combinación se explica en parte, por su complementariedad nutricional, ya que la proteína del MZ es rica en aminoácidos (**AA**) azufrados, mientras que la de la soja contiene elevadas concentraciones de lisina (**LIS**) y triptófano, principales AA limitantes en la proteína del MZ para la nutrición de cerdos (NRC, 2012). En cuanto a la energía, el MZ representa la principal fuente energética para la alimentación de cerdos en Argentina (Cortamira, 1982). Sin embargo, los drásticos incrementos en el precio de estas materias primas han reducido los márgenes de ganancia en la industria porcina (Schmit *et al.*, 2009). Estos aumentos se explican por el gran crecimiento demográfico demandante de alimento y la nueva demanda por parte de la industria de biocombustibles (Tyner y Taheripour, 2007).

En este contexto, los ingredientes alternativos representan una opción interesante para reducir los costos de formulación, siempre y cuando aporten nutrientes y energía de calidad. En la actualidad existe una amplia y variada oferta de subproductos obtenidos de distintos sectores de la industria. Un claro ejemplo es la industria de biocombustibles a partir de MZ, que deja subproductos disponibles para la alimentación de monogástricos (Zijlstra y Beltranena, 2013). Si bien la lista de subproductos es variada, la gran mayoría de las plantas de etanol son de proceso de molienda seca y el principal subproducto son granos secos de destilería con solubles (**DDGS**, por sus siglas en inglés; Stein y Shurson, 2009).

1.3 **Producción de etanol**

La creciente demanda mundial de biocombustibles, sumado a los esfuerzos por reducir la utilización de recursos fósiles, han resultado en un dramático aumento del uso del MZ para la producción de etanol (Liu, 2009). Estados Unidos, principal productor de

bioetanol del mundo, utiliza mayormente MZ como sustrato para su producción (Stein y Shurson, 2009; Liu, 2011). En el año 2017, alrededor de 137,1 millones de tn de MZ se emplearon en la producción de casi 60 mil millones de litros de etanol, que a su vez generaron 44 millones de toneladas de DDGS (RFA, 2017). En tanto, en Europa y Canadá, para la producción de etanol se emplean trigo y cebada, respectivamente (Nyachoti *et al.*, 2005; Cozannet *et al.*, 2010 Rosenfelder *et al.*, 2013).

En Argentina, a comienzos de la industria de bioetanol, el total de la producción se realizaba en base a caña de azúcar, un cultivo con una limitada capacidad de expansión geográfica. Con la sanción de la Ley Nacional de Biocombustibles (26.093, 2016) se estableció un régimen de incentivos para promover la producción, fijando como corte mínimo obligatorio a partir del año 2010, un 5% de bioetanol en naftas. Dicho porcentaje quedó sujeto a incrementos en función de las variables del mercado interno. De modo que, para el 2018 el porcentaje de corte en naftas llegó a 12% (USDA, 2018b).

Según el último informe anual del USDA sobre biocombustibles en la Argentina, se estimó que la producción de bioetanol en 2018 alcanzó los 1150 millones de litros, la más alta de la historia. Este incremento representaría un 4,1% respecto del año 2017 y un aumento del 24,2% en comparación al 2016, según analistas de la Bolsa de Comercio de Rosario (BCR, 2018). Entre las razones que explican este crecimiento se destacan la mayor demanda de combustibles, una capacidad de producción cercana al 90% y un porcentaje de corte en naftas cercano al 12% (USDA, 2018b).

Como consecuencia del aumento de los volúmenes requeridos, a fines del 2012 comenzó la producción de bioetanol a partir de granos de MZ, obteniéndose a su vez dos subproductos: dióxido de carbono y granos de destilería con solubles o burlanda, que, dado el volumen de producción e importancia comercial, se los puede considerar coproductos. Los granos de destilería con solubles pueden presentarse en forma húmeda (WDGS-65% humedad) o seca (DDGS-10% humedad). En la actualidad, las cinco plantas instaladas en la Argentina que utilizan granos como sustrato para la producción de etanol se ubican en la zona centro del país, debido a que trabajan casi exclusivamente con MZ. En este sentido, es importante destacar que tres de las cinco plantas se ubican en Córdoba, principal provincia productora de MZ (FADA, 2016).

1.4 Proceso de obtención de etanol

El MZ puede ser convertido en etanol por medio de dos procesos tecnológicos diferentes: molienda húmeda (*wet milling*) o molienda seca (*dry milling*) (Rausch y Belyea, 2006). Éste último es mayormente utilizado en la Argentina y en los Estados Unidos, donde al menos el 86% del etanol es producido a través de esta tecnología (Mueller, 2010; Mumm *et al.*, 2014). En el proceso de molienda seca, el grano de MZ entero (sin fraccionar) es utilizado como sustrato para la fermentación, por lo tanto, requiere menor equipamiento e inversión de capital (Belyea *et al.*, 2004).

En este sistema, las etapas de producción son: recepción, molienda, cocción, licuefacción, fermentación, sacarificación, destilación y almacenamiento (Figura 1-2) (Rausch y Belyea, 2006; Liu, 2011; Rosentrater *et al.*, 2012).

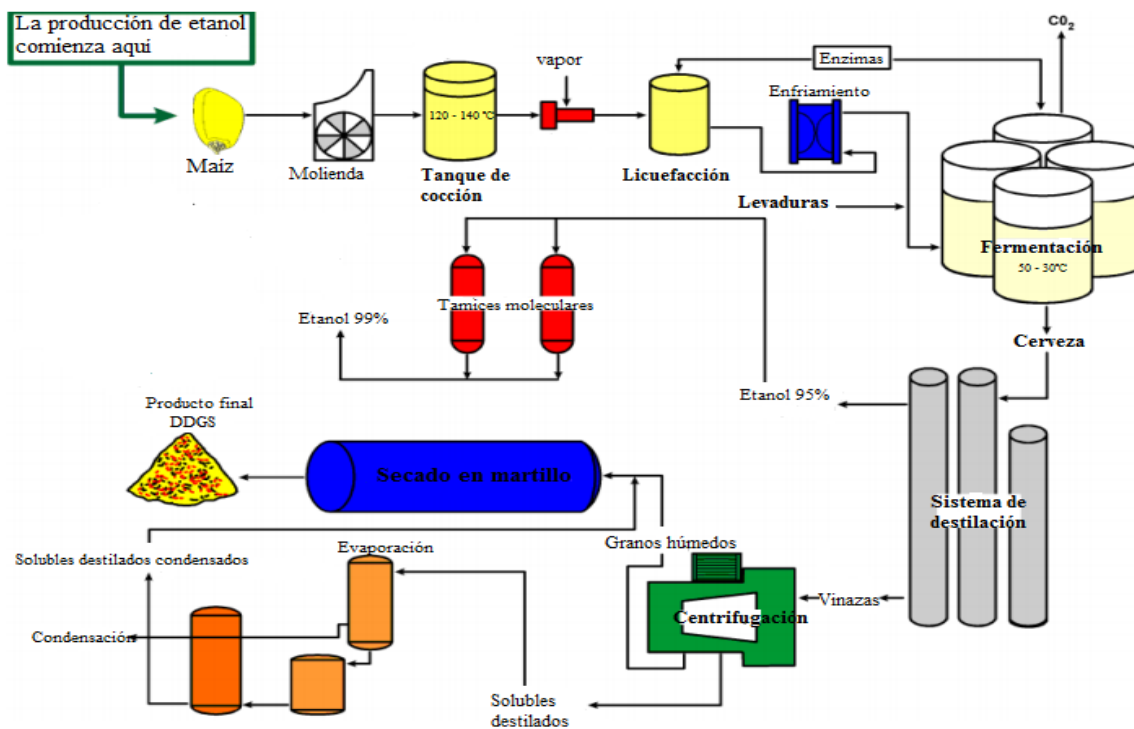


Figura 1-2. Proceso de obtención de etanol y DDGS a través de molienda seca de granos de maíz

(Adaptado de Shurson *et al.*, 2004)

- Molienda: El grano de MZ entero, luego de una primera etapa de limpieza general, pasa a través de un martillo o rodillo donde se muele, obteniéndose una harina de MZ con partículas de 1 mm de diámetro promedio (Rausch *et al.*, 2005).
- Cocción y licuefacción: a la harina de MZ se le agrega agua caliente y α -amilasa, previa cocción, con el fin de obtener una mezcla con no más de 40% de sólidos. Luego, se cocina a una temperatura entre 120 °C y 140 °C y a un pH entre 5,5 y 6,0. El pH se controla a través de la adición de amonio, hidróxido de calcio y ácido sulfúrico (Rosentrater *et al.*, 2012). El objetivo de la cocción es solubilizar el almidón y exponerlo a la fermentación y también, reducir la viscosidad permitiendo que el “puré” fluya mejor a través de todo el proceso (Winkler-Moser y Breyer, 2011).
- Sacarificación y fermentación: la temperatura del “puré” disminuye desde un rango de 55–65 °C a 30 °C en el tanque de fermentación, donde se agrega la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) y las gluco-amilasas. De este modo, dos procesos se llevan a cabo simultáneamente, la sacarificación de las dextrinas para la obtención de glucosa y la fermentación de la glucosa en etanol y dióxido de carbono. Cada molécula de glucosa produce dos moléculas de etanol y dos de dióxido de carbono.
- Destilación: el líquido resultante de la fermentación se conoce como “cerveza” y contiene cerca del 15% de alcohol y 85% de agua. La cerveza, luego es bombeada a un flujo continuo por un sistema de columnas donde se realiza la destilación, separándose el alcohol etílico de los sólidos y del agua (Rausch y Belyea, 2006; Winkler-Moser y Breyer, 2011; Rosentrater *et al.*, 2012). El alcohol dejará la columna con una pureza del 90-95%, y el residuo, llamado “vinaza” seguirá su procesamiento para obtener finalmente los granos de destilería o burlanda húmeda (WDGS) y, si se emplea el secado, burlanda seca (DDGS).

Deshidratación: el alcohol continúa por un sistema que le quita el agua restante. Las mayorías de las plantas utilizan un tamiz molecular para capturar las partículas de agua contenidas en el etanol al momento de salir del sistema de destilación.

Los dos coproductos principales son el anhídrido carbónico y los granos destilados. El anhídrido carbónico se obtiene durante la fermentación y la mayoría de las plantas lo rescatan, limpian, comprimen y venden para ser usado como gasificante de bebidas o para congelar productos.

Los DDGS se obtienen de la centrifugación de la vinaza, que separa los sólidos suspendidos (granos destilados) de los solubles disueltos. Se utiliza un evaporador para concentrar estos últimos que luego son adicionados a los granos destilados y posteriormente secados para reducir el contenido de humedad a un 10-12%.

Tradicionalmente, los DDGS contienen más de 10% de aceite, manteniendo un valor nutritivo similar al del MZ (Stein y Shurson, 2009). Sin embargo, diferentes tecnologías de procesamiento pueden resultar en la producción de DDGS con diferentes concentraciones de energía y nutrientes (NRC, 2012).

1.5 El DDGS de maíz

A fines del 2012 comienza a utilizarse el MZ como sustrato para la producción de etanol en la Argentina, destinándose alrededor de 49.000 tn de este grano. Para el 2016, alcanzaba los 1,17 millones de tn, representando el 55% del total de la producción, y generando a su vez 370 tn de DDGS (Figura 1-3). En tal sentido, la industria de bioetanol vierte al mercado tanto combustible, como alimentos para animales. De hecho, cada tn de MZ que ingresa al proceso, genera alrededor de 417 litros de etanol y 300 kg de DDGS (USDA 2018b).

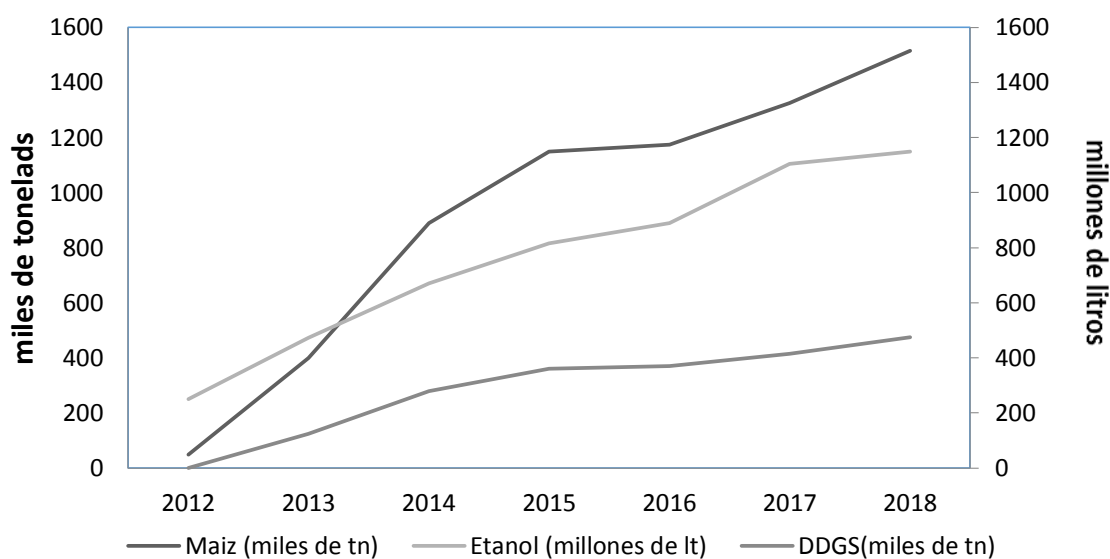


Figura 1-3. Evolución de la industria argentina de bioetanol, demanda de maíz para la producción de etanol y producción de DDGS.

Por todo esto se prevé que la industria del etanol continúe vertiendo una gran cantidad de DDGS al mercado que, por su bajo costo y propiedades nutricionales, lo convierten en una alternativa interesante a la hora de formular dietas para cerdos (RFA, 2017). Históricamente, la mayoría de los coproductos de esta industria fueron empleados en la alimentación de ganado vacuno, en su presentación húmeda (WDGS). Sin embargo, poco se ha profundizado sobre el uso de DDGS en dietas para cerdos en la Argentina. Cabe destacar que la inclusión de DDGS en raciones porcinas resultaría en una manera más sustentable de alimentación, no sólo al dar valor agregado al coproducto, sino también al utilizar ingredientes que no compiten con aquellos de la dieta humana (Thange *et al.*, 2015).

1.6 Características nutricionales de los DDGS

En base tal cual, el MZ contiene aproximadamente 63% de almidón, 8% de PB, 9,5% de FDN y 3% de FDA (NRC, 2012). Luego de la fermentación, aproximadamente dos tercios del almidón contenido en el grano de MZ es convertido en etanol, y el resto de los componentes (grasas, proteínas, fibras, vitaminas y minerales) se concentran casi tres veces (Shurson, 2004; Liu, 2011). Por lo tanto, en comparación al sustrato, los DDGS contienen una mayor concentración de proteína, grasa, fibra, vitaminas y minerales (Liu, 2011; Rosenfelder *et al.*, 2013).

Si bien, el DDGS de MZ es un ingrediente interesante a la hora de formular dietas para cerdos, una de las limitantes más importantes es la variación en la composición nutricional (Liu, 2011; Zijlstra y Beltranena, 2013). La variabilidad en la cantidad y calidad de nutrientes puede deberse a múltiples factores, desde la calidad del MZ, la tecnología empleada para la extracción del etanol, el proceso de secado, y más recientemente, la extracción de aceite (Kerr *et al.*, 2013).

Como resultado del aumento de disponibilidad de DDGS, y con el objetivo de utilizar de manera correcta este coproducto, los investigadores orientaron sus estudios en caracterizar nutricionalmente al DDGS de MZ: composición química y digestibilidad de sus nutrientes (Cromwell *et al.*, 1993; Pedersen *et al.*, 2007; Widyaratne y Zijlstra 2007; Stein *et al.*, 2009; Anderson *et al.*, 2012). Según una revisión de más de 30 trabajos, Stein y Shurson (2009), reportaron que los DDGS contienen, en base seca, de 27 a 31% de PB, 10 a 13% EE, 9 a 16% de FDA y 31 a 40% de FDN.

La concentración de energía bruta (**EB**) promedio es aproximadamente 5434 kcal/kg en base seca (Pedersen *et al.*, 2007). Si bien este valor resulta mayor al de MZ (4454 kcal/kg; NRC, 2012), la digestibilidad de dicha energía resulta menor. En cuanto a las concentraciones de energía digestible (**ED**) y energía metabolizable (**EM**) para cerdos fueron estimadas en 4140 y 3897 kcal/kg MS, respectivamente (Pedersen *et al.*, 2007), resultando en valores similares a los del MZ (4088 y 3898 kcal/kg, para ED y EM, respectivamente).

1.7 DDGS en la alimentación de cerdos

Existen investigaciones tendientes a evaluar los efectos de adicionar DDGS en las distintas categorías de producción y a diferentes niveles de concentración en las dietas. Por ejemplo: en la etapa de recría, desde lechones recién destetados hasta los 30 kg, la inclusión de 22,5 a 30% de DDGS en las dietas, no alteró el desempeño animal (Gaines *et al.*, 2006; Spencer *et al.*, 2007; Barbosa *et al.*, 2008).

En lo que respecta a los niveles recomendado de DDGS en fórmulas de crecimiento (**CREC**) y terminación (**TERM**) de cerdos, estos varían considerablemente (Stein y Shurson 2009). En las primeras instancias de evaluación del coproducto para dichas categorías, los resultados no evidenciaron cambios en la respuesta productiva de cerdos alimentados con un 20% de inclusión en reemplazo de una dieta basal **MZ-HS** (Cromwell

et al., 1983). Dichos resultados coinciden con los obtenidos tiempos más tarde por McEwen, 2006; Augspurger *et al.*, 2008; Drescher *et al.*, 2008; Duttlinger *et al.*, 2008; Widmer *et al.*, 2008. Incluso otros investigadores, concluyeron que la incorporación de hasta un 30% del coproducto en las dietas no repercute negativamente en el desempeño zootécnico de los cerdos (Cook *et al.*, 2005; De Decker *et al.*, 2005), sin embargo, para igual nivel de incorporación, otros trabajos mostraron una reducción en la ganancia diaria de peso vivo (**GDPV**) (Fu *et al.*, 2004; Whitney *et al.*, 2006; Linneen *et al.*, 2008; Weimer *et al.*, 2008). No obstante, Weber *et al.* (2015) no encontraron reducciones en el desempeño de los cerdos con 30 y 60% de inclusión.

1.8 Fuentes de variación

Uno de los mayores desafíos a la hora de incorporar DDGS a las dietas animales, es predecir el contenido y digestibilidad de los nutrientes presentes. La composición de los DDGS puede ser muy variable (Belyea *et al.*, 1989; Shurson *et al.*, 2001), lo que dificulta la correcta formulación de las dietas. Sin duda, la variabilidad en el contenido de nutrientes y energía de los subproductos resulta mayor que en los ingredientes utilizados como sustrato (Cromwell *et al.*, 1999). Belyea *et al.* (2004) encontraron menor variabilidad, a través de los coeficientes de variación, en MZ que en DDGS para materia seca (**MS**), proteína bruta (**PB**), fibra cruda (**FC**), extracto etéreo (**EE**) y cenizas (**Cen**).

Dentro de las fuentes de variación, se distinguen aquellas propias al sustrato utilizado y las relacionadas al procesamiento (Shurson y Alghamdi, 2008; Liu, 2011).

Con respecto a la primera, factores como la línea genética del MZ utilizado y el momento de siembra y cosecha, podrían resultar determinantes. La proporción de amilosa y amilopectina del almidón del MZ puede variar según el híbrido de MZ, lo que repercute en la eficiencia de fermentación del almidón, dado que la producción de etanol disminuye conforme aumenta la proporción de amilosa presente en el grano (Sharma *et al.*, 2007).

En lo que respecta al procesamiento, se han reportado diferencias en la composición de los DDGS asociadas al tipo de tecnología empleada (molienda húmeda o seca) (Belyea *et al.*, 1989; Shurson *et al.*, 2001). Aunque hay una gran variabilidad entre distintas partidas, en general los DDGS obtenidos por molienda seca tienen mayor concentración de FC, PB y EE.

Asimismo, el grado de molienda del MZ no solo afecta el rendimiento del proceso de extracción de etanol, sino también, la eficiencia de utilización de la energía y la concentración de sólidos solubles en el destilado fino. En tal sentido, mientras más se reduzca el tamaño de las partículas, mayor será la superficie de acción de las enzimas sobre el MZ. En cambio, si las partículas logradas son muy grandes, los gránulos de almidón no se gelatinizarán fácilmente formándose menos azúcares (Kelsall y Lyons, 2003). El efecto del tamaño de partícula del MZ sobre el rendimiento de etanol fue estudiado por Naidu *et al.* (2007) quienes observaron un incremento del 22% en el etanol producido a menor tamaño de partícula molida (de 5 a 0,5 mm). No obstante, partículas excesivamente pequeñas podrían llegar a tener efectos indeseados durante etapas del procesamiento, tales como la centrifugación.

Otra fuente de variación es la composición y proporción de solubles incorporados a los granos destilados. La fracción soluble contiene más EE que los granos destilados, por tanto, su adición puede llegar a incrementar los valores de EE, pudiendo tener un efecto sobre la concentración de energía (Knott *et al.*, 2004; Shurson y Alghamdi, 2008). Otro aspecto relacionado al contenido variable de EE, es la extracción de aceite del MZ o del DDGS a través de distintas técnicas (extracción por solvente orgánico, extrusión-prensa o prensado en frío). Dicha tecnología, actualmente utilizada en EE. UU., origina los denominados “DDGS modificados” con un amplio rango de contenidos de aceite residual y, por lo tanto, variabilidad en el contenido de energía del coproducto (Spragg y Mailer, 2007).

Por otra parte, las condiciones del secado pueden alterar el contenido y calidad proteica de los DDGS, siendo este el principal riesgo de incluirlo a las dietas porcinas (Ziljstra y Beltranena, 2013). El sobrecalentamiento, calentamiento extendido o ambos pueden deteriorar la disponibilidad de las proteínas y AA, siendo la LIS el más vulnerable a sufrir daños (Fontaine *et al.*, 2007).

Por último, otra fuente de variación es el tamaño de partícula de los DDGS, que impacta en la digestibilidad de la energía. Liu *et al.* (2012) determinaron que cuando el tamaño de las partículas disminuye de 818 a 308 μm , por cada 25 μm que decrece, mejora la EM en 13,46 kcal/kg de la MS.

1.9 Problemática y planteo de la investigación

Como consecuencia del aumento sostenido del precio de las materias primas tradicionalmente utilizadas para la alimentación de cerdos, el sector porcino se vio obligado a considerar la incorporación de ingredientes alternativos. Paralelamente, el rápido crecimiento de la industria del bioetanol aumentó la oferta de DDGS, cuyo perfil nutricional es valioso y presentan precios competitivos para la formulación de raciones animales. Si bien, a nivel nacional, el uso de DDGS es aún incipiente y se encuentra todavía circunscrito a áreas cercanas a las plantas de producción (Arroquy *et al.*, 2014), su inclusión en dietas animales se ha incrementado notablemente en los últimos años. Por consiguiente, para un uso adecuado de este coproducto, es necesario conocer su perfil nutricional y el nivel de inclusión tolerado por los cerdos sin afectar su desempeño productivo.

Actualmente, sólo dos de las 5 plantas productoras de bioetanol presentes en el país, secan la burlanda húmeda para obtener DDGS. Se optó por trabajar con el DDGS producido por la empresa nacional ACABio (Villa María, Córdoba, Argentina) que es la única planta que emplea tecnología (ICM Inc.). Dicha tecnología, adoptada por la mayoría de las plantas estadounidenses, garantiza una eficiente extracción del etanol, y homogeneidad en composición de coproductos, a la vez que realiza un uso más eficiente de la energía

La planta de ACABio de Villa María cuenta con un laboratorio de control de calidad que monitorea la calidad de la materia prima (MZ), y de los DDGS. El producto resultó homogéneo y estable en el tiempo de acuerdo al seguimiento semanal realizado sobre 8 muestras de DDGS (Cuadro 1-1). Consecuentemente, se completó la caracterización químico-nutricional a través de una prueba de crecimiento utilizando niveles crecientes de DDGS en dietas de CREC y TERM de cerdos.

Cuadro 1-1 Composición nutricional de DDGS de la empresa ACABio analizados entre los meses de julio y septiembre de 2015

Fecha	MS% ¹	Expresados como % de la materia seca ²					
		PB	EE	Cen	FDN	FDA	Lis
14-7-2015	92,12	26,13	13,79	4,67	38,86	11,29	0,80
20-7-2015	92,68	28,38	14,46	4,21	40,68	11,55	0,86

27-7-2015	92,09	26,93	13,47	4,67	39,64	12,38	0,81
04-8-2015	92,18	27,21	14,21	4,56	39,49	11,39	0,89
12-8-2015	92,18	25,66	13,56	4,34	40,25	10,31	0,78
18-8-2015	91,99	27,74	14,46	4,78	38,37	10,98	0,89
24-8-2015	92,32	27,86	14,41	4,33	41,70	12,24	0,90
01-9-2015	92,27	27,51	13,76	4,55	39,56	11,70	0,88
Media	92,23	27,18	14,01	4,51	39,82	11,48	0,85
Desvío estándar	0,209	0,910	0,416	0,200	1,048	0,667	0,048
Coef. Var (%) ³	0,23	3,35	2,97	4,43	2,63	5,81	5,65

¹ Datos analizados a través de NIRS (Evonik-Degussa Argentina SA) expresados en base en base seca, a excepción del porcentaje de materia seca, expresado en % materia tal cual.

² PB: proteína bruta; Cen: cenizas; EE: extracto etéreo; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido, Lis: lisina total.

³ Coef. Var: coeficiente de variación, como porcentaje de la media.

1.10 Objetivos

1.10.1 Objetivo general

Contribuir a la caracterización nutricional del DDGS para su utilización en la alimentación de cerdos.

1.10.2 Objetivos específicos

- Determinar perfil químico, medir energía digestible y calcular energía metabolizable de DDGS para cerdos.
- Medir el aporte de aminoácidos del DDGS.
- Evaluar la respuesta productiva de cerdos en crecimiento y terminación con diferentes niveles de inclusión de DDGS.
- Identificar el máximo porcentaje de inclusión de DDGS que no repercuta negativamente sobre la respuesta productiva de cerdos en crecimiento y terminación.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Los protocolos experimentales fueron aprobados por el Comité Institucional de Cuidado y Uso de Animales de Laboratorio (CICUAL) de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad de Buenos Aires (2017/03). La determinación de la ED y la prueba de crecimiento se desarrollaron entre Marzo y Noviembre de 2017 en un galpón de ambiente semi-controlado (temperatura y humedad) de la Sección Porcinos de la Estación Experimental Agropecuaria Pergamino (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, sito en Ruta 32, km 108,8, Pergamino, provincia de Buenos Aires).

2.1 Determinación de energía digestible

Se estudiaron 4 dietas experimentales: una dieta basal (control 0% DDGS) en base a MZ y HS incluyendo vitaminas, minerales y AA sintéticos para satisfacer los requerimientos nutricionales recomendados para cerdos en crecimiento según Rostagno *et al.* (2017; Cuadro 2-1) y tres formulaciones sustituyendo el 30% de la dieta basal por el ingrediente a evaluar (**MZ30**, **HS30** y **DDGS30**; Cuadro 2-2). Las razones por las que se optó trabajar al 30% de inclusión fueron: 1) reducir el riesgo de rechazo a la dieta, 2) incluir la mayor cantidad posible del ingrediente a evaluar con el objetivo de mejorar la exactitud de estimación de los valores de ED; y 3) utilizar los porcentajes de inclusión de DDGS más representativos de la industria porcina (Anderson *et al.*, 2012).

El MZ, la HS y el DDGS fueron molidos en un molino de martillos con una zaranda N°2, obteniéndose partículas uniformes de alrededor de 650 μm , según lo analizado a través del método ASAE S319 (ASAE, 2012). Los 3 ingredientes principales y las 4 dietas experimentales fueron muestreadas por separado y duplicado para posterior análisis en laboratorio.

Las raciones experimentales fueron ofrecidas a los animales durante 5 semanas. La primera semana consistió en un período de adaptación a las jaulas, dietas y horarios de alimentación, y se ajustó la oferta diaria de alimento para evitar rechazos, fijándose en 2,5 veces la cantidad de energía requerida para el mantenimiento corporal (197 kcal/kg PV^{0.60}; NRC, 2012) dividida en dos comidas por día (a las 8:30 y a las 15:30 h). Las dietas fueron proporcionadas en forma húmeda (proporción 1:1 ración:agua) y se registró la

cantidad de alimento entregado en cada horario de alimentación. Los animales tuvieron acceso libre al agua durante todo el experimento.

Cuadro 2-1. Composición y aporte nutricional calculado de la dieta basal formulada para satisfacer requerimientos de cerdos en crecimiento y terminación (Rostagno *et al.*, 2017)

Ingrediente	%, tal cual
Maíz, 7,5% PB	64,04
Harina de Soja, 43% PB	32,10
Conchilla molida	1,24
Semitín ¹	1,05
Foscalcio 20 ²	0,87
Sal	0,38
Núcleo vitamínico mineral ³	0,18
L-lisina HCl, 78,8%	0,08
DL-metionina, 99%	0,06
Total	100
Aporte nutricional expresado como %MS salvo que se indique diferente	
Materia seca (MS), % de materia tal cual	91,69
Proteína bruta	18,90
EM, kcal/kg MS	3235
Grasa cruda	2,76
Fibra cruda	3,68
Fósforo total	0,57
Fósforo disponible	0,31
Calcio	0,73
Lisina total	1,08
Lisina digestible	0,90

¹Subproducto de la molienda del grano de trigo.

²Foscalcio20 aporta por kg de ración: 20,8 % de calcio; 21,1 % de fósforo; 0,28 % de sodio; 0,15; % de potasio; 0,10%; de cloro y 0,6% de magnesio.

³Cada kg de núcleo aporta: 3900 UI de Vit A; 780 UI de Vit D3; 11,235 UI de Vit E; 285 mg de Vit B2; 0,228 mg de Vit B6; 0,0135 µg de Vit B12; 14,1 mg de niacina (Vit B3); 375 µg de biotina; 112,8 mg de colina; 0,135 mg de yodo; 20,25mg de manganeso; 75 mg de zinc; 4,05 mg de cobre; 0,13 mg de selenio; 60 mg de hierro y 60 mg de antioxidantes.

MS: materia seca; PB: proteína bruta; EM: energía metabolizable.

Cuadro 2-2. Tratamientos para determinar energía digestible de los ingredientes

Tratamiento	Material evaluado			
	Basal	Maíz	Harina de soja	DDGS
1.- Basal*	100%			
2.- MZ30	70%	30%		
3.- HS30	70%		30%	
4.- DDGS30	70%			30%

*Basal: dieta en base a maíz y harina de soja, balanceada para cubrir requerimientos nutricionales de la categoría de crecimiento según lo recomendado por Rostagno *et al.* (2017).

Los valores de ED de los 3 ingredientes (MZ, HS y DDGS) fueron determinados empleando el método de recolección total descrito por Adeola (2001), para lo cual se utilizaron 8 cerdos quirúrgicamente castrados de la línea Topigs (peso vivo inicial promedio de 50 kg) que fueron asignados al azar a 2 cuadrados latinos (4 x 4; 4 períodos, 4 animales por cuadrado, 4 raciones). Los cerdos se alojaron individualmente en jaulas metabólicas de 1,00 m (ancho) x 1,15 m (largo) x 0,80 m (alto), con piso de barrotes de hierro equipadas con un comedero, bebedero tipo nipple, y bandejas recolectoras para la recolección total de heces. La temperatura del galpón se mantuvo dentro de la zona de termo neutralidad recomendada para esta categoría (20 ± 2 °C).

Cada período experimental (una semana) estuvo constituido por los primeros 4 días de adaptación a la dieta, seguido de 3 días de recolección total de heces (fase de medición). Éste procedimiento asume que luego de la adaptación al nivel y frecuencia de alimentación, los procesos de digestión y metabolismo llegan a un equilibrio (homeostasis *in vivo*; Li, 2013) que justifica la validez de las mediciones.

Las heces se recolectaron a tiempo fijo (Liu *et al.*, 2012). La recolección comenzó a partir del consumo de la dieta experimental que marcó la fase de medición y cesó inmediatamente antes del comienzo de la siguiente dieta experimental. Por tanto, la primera comida del 5to día marcó el comienzo del período de recolección de heces que se realizó ubicando un recipiente de plástico conteniendo 30 mL de una solución de HCl 6 N debajo de cada jaula.

Diariamente la totalidad de lo excretado fue recolectado, pesado y almacenado a -20 °C. Finalizado el período de recolección semanal, las heces de cada cerdo fueron

descongeladas, homogeneizadas, y se tomó una alícuota de 100 g para posteriores análisis químicos.

Las muestras de excretas fueron secadas en estufa Dalvo (Ojalvo S.A. – Santa Fe, SF, Argentina) a 60 °C durante 48-72 h y molidas hasta pasar a través de una malla de 1 mm. Posteriormente se determinó la EB de las excretas, dietas experimentales e ingredientes puros (ver determinaciones químicas) y se calculó el contenido de ED de las dietas experimentales según la siguiente ecuación:

$$ED_{dieta} = \frac{(EB_{cons} - EB_{excr})}{AC}$$

Donde:

ED: energía digestible, kcal/kg;

EBcons: energía bruta consumida, en kcal;

EBexc: energía bruta excretada, en kcal;

AC: alimento consumido, en kg.

El contenido de ED y coeficiente de digestibilidad aparente de energía (ED/EB) de los 3 ingredientes fueron calculados a través del método de diferencia según la siguiente fórmula:

$$ED_{ingr} = \frac{ED_{dieta\ exp} - ED_{dieta\ basal} \times 0,7}{0,3}$$

Donde:

EDingr: energía digestible del ingrediente, en kcal/kg;

EDdieta exp: energía digestible de la dieta experimental, en kcal/kg

EDdieta basal: energía digestible de la dieta basal, en kcal/kg.

2.1.1 Predicción de la energía metabolizable

La concentración de EM de los 3 ingredientes fue calculada a través de ecuaciones de predicción. En el caso del DDGS, se empleó la ecuación propuesta por Anderson *et al.*

(2012), que fue validada entre más de 15 ecuaciones publicadas como la más confiable para predecir EM de DDGS (Urriola *et al.*, 2014):

$$EM \frac{kcal}{kg} MS = -261 + (1,05 * ED) - (7,89 * CP) + (2,47 * NDF) - (4,99 * EE)$$

Para el MZ se empleó la ecuación propuesta por Li *et al.* (2014):

$$EM \frac{kcal}{kg} MS = 671,58 + (0,89 * ED) - (5,57 * FDN) - (191,39 * Cen)$$

Y para la HS se utilizó la propuesta por Noblet y Pérez (1993):

$$EM \frac{kcal}{kg} MS = [(1,003 - (0,0021 * PC)]$$

2.1.2 Análisis estadístico

Los datos de ED y coeficientes ED/EB fueron analizados mediante un análisis de la Varianza (ANOVA) correspondiente a un diseño cuadrado latino replicado. Las comparaciones múltiples se efectuaron con el método LSD (Fisher). El software utilizado en este análisis fue SAS (SAS Institute, 2009).

2.2 Prueba de Crecimiento

En la prueba de crecimiento se evaluó la respuesta productiva de cerdos a raciones con concentraciones crecientes de DDGS (Control 0%, **D0**; 15%, **D15**; 30%, **D30** y 45%, **D45**) siguiendo un diseño en bloques completos aleatorizados. Un total de 36 cerdos castrados de la línea Topigs se alojaron individualmente en jaulas de 1,30 × 0,80 m (1,05 m² de superficie utilizable) con piso tipo slat, comedero individual y bebedero tipo nipple.

En primer lugar, debido a que el grupo de animales resultaba heterogéneo en cuanto al peso vivo inicial (PVi), cada cerdo fue pesado individualmente y designado según su PVi a uno de los 9 bloques (Cuadro 2-3). Luego, a los 4 animales que conformaban cada bloque se le asignó al azar una de las 4 dietas experimentales, quedando distribuidos en el galpón de ensayos según lo muestra la Figura 2-1.

Cuadro 2-3 Rango de peso vivo inicial (PVi) de los cerdos en cada bloque

Bloque	Rango de PVi (Kg)
1	35,5 - 37,5
2	38 - 40
3	42 - 45,5
4	46 - 47,5
5	48,5 - 50
6	50,5 - 53
7	53,5 - 55
8	56 - 58
9	59 - 62,3

Jaula	Bloque	Dieta	Dieta	Bloque	Jaula	
19	5	D0	D45	5	18	
20		D30			D15	17
21	6	D45	D30	4	16	
22		D15			D45	15
23		D0			D0	14
24		D30			D15	13
25	7	D15	D30	3	12	
26		D45			D45	11
27		D30			D15	10
28		D0			D0	9
29	8	D45	D30	2	8	
30		D0			D0	7
31		D15			D45	6
32		D30			D15	5
33	9	D0	D45	1	4	
34		D15			D15	3
35		D45			D0	2
36		D30			D30	1

Figura 2-1. Distribución de los tratamientos a los cerdos en el galpón.

Jaula= 1 a 36; Dietas= D0 a D45; Bloques = 1 a 9

Las dietas se elaboraron utilizando MZ, HS y DDGS como ingredientes principales y fueron formuladas en base a los requerimientos de LIS ileal estandarizada recomendados por Rostagno *et al.* (2017), con el objetivo de aportar 0,90% y 0,78% de LIS en las fases de CREC y TERM respectivamente (cuadro 2-4). Además, los valores de DDGS empleados para formular las dietas experimentales, fueron los obtenidos en el primer ensayo (MS, PB, EE, Cen, FC, FDN, FDA y EM); los valores de calcio y fósforo utilizados fueron los propuestos por de Blas *et al.* (2010) como así también, la concentración y digestibilidad de los AA, al no disponer de los resultados del NIRS al momento de la formulación.

Las dietas fueron formuladas iso-proteicas e iso-aminoacídicas (considerando lisina, metionina, triptófano y treonina digestibles), pero no resultaron balanceadas en energía.

Los animales fueron alimentados según un programa de dos fases: CREC, desde PVi promedio= 47,3 kg \pm 0,48 hasta los 70 kg peso promedio del bloque, y TERM, desde 70 kg hasta los 105 kg peso promedio del bloque. Las raciones y el agua se ofrecieron *ad-libitum* a lo largo del estudio.

2.2.1 Medición de parámetros zootécnicos

El consumo de alimento se registró diariamente (CAD), luego de una minuciosa limpieza de comederos previa la entrega de la ración (8:30 am). El CAD se determinó como la diferencia entre la cantidad de alimento ofrecido y lo rechazado. La oferta diaria de alimento se ajustó en base a la lectura de comedero, mediante la cual se asignó un score con escala de 0 (comedero lamido), 1 (comedero con migajas) o 2 (comedero con rechazo). El criterio para ajustar la oferta fue el siguiente: cuando el score fue 0, la oferta se incrementó 0,5 kg/animal/d. Cuando el score fue 1 o 2, la oferta se mantuvo igual a la del día anterior. A través de esta técnica se logró alimentar *ad-libitum*, pero minimizando los desperdicios. Asimismo, se calculó consumo de alimento acumulado (CAA) durante las dos fases de alimentación y total de la experiencia.

Los cerdos fueron pesados semanalmente todos los miércoles a las 10 am (báscula digital móvil Modelo, Marca Orignee) y el desempeño fue descrito a partir del cálculo de la GDPV, conversión alimenticia (CA) diaria y acumulada por fase. La GDPV se

calculó como la diferencia del peso entre semanas dividida por los días de duración. La ganancia de peso acumulada (GPA) resultó del peso final menos el inicial alcanzado en cada fase de alimentación y de forma global como el peso final menos el inicial. La CA surgió del cociente entre el CDA y GDPV.

Asimismo, el peso de los cerdos a lo largo de las 9 semanas del ensayo, fue modelado por regresión lineal del PV de cada animal en función de los días transcurridos (resultando la pendiente de la recta la estimación de la tasa de crecimiento individual). Las pendientes fueron posteriormente analizadas por ANOVA según un DBCA, comparando las medias ajustadas mediante la prueba de Tukey y trabajando con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

Cuadro 2-4. Composición de las dietas experimentales para las fases de crecimiento y terminación

Ingrediente, %	Crecimiento					Terminación				
	D0	D15	D30	D45	D0	D15	D30	D45		
Maíz, 7,5% PB	63,98	56,03	48,06	40,11	69,59	61,64	53,69	45,74		
Harina de soja, 42% PB	33,14	26,03	18,93	11,82	27,61	20,5	13,38	6,27		
DDGS	0,00	15,00	30,00	45,00	0,00	15,00	30,00	45,00		
Premix vit-mineral ¹	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15		
Carbonato calcio	1,26	1,42	1,59	1,75	1,28	1,44	1,61	1,77		
Sal entrefina	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40		
DL-metionina, 99%	0,05	0,04	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00		
L-lisina HCl, 78,8%	0,08	0,22	0,36	0,50	0,08	0,22	0,36	0,49		
L-treonina, 98%	0,07	0,09	0,12	0,14	0,01	0,03	0,05	0,08		
L-triptófano, 98%	0,03	0,05	0,07	0,09	0,01	0,03	0,04	0,06		
Foscalcio 20	0,85	0,57	0,29	0,01	0,87	0,59	0,32	0,04		
Total	100	100	100	100	100	100	100	100		

Datos expresados en base tal cual. D0: 0%; D15: 15%; D30: 30% D45: 45% de inclusión de DDGS ;PB: Proteína bruta; DDGS: burlanda seca de maíz; ¹Cada kg de núcleo aporta: 3900 UI de Vit A; 780 UI de Vit D3; 11,235 UI de Vit E; 285 mg de Vit B2; 0,228 mg de Vit B6; 0,0135 µg de Vit B12; 14,1 mg de niacina (vitamina b3); 375µg de biotina; 112,8 mg de colina (vitamina b7); 0,135 mg de iodo; 20,25mg de manganeso; 75 mg de zinc; 4,05 mg de cobre; 0,13 mg de selenio; 60 mg de hierro y 60 mg de antioxidantes

Cuadro 2-5. Aporte nutricional calculado y analizado de las dietas experimentales

Nutriente, %	Crecimiento					Terminación						
	D0	D15	D30	D45	D0	D15	D30	D45	D0	D15	D30	D45
Calculado												
Materia seca	88,00	87,76	87,53	87,28	87,88	87,64	87,4	87,16				
Proteína bruta	19,00	19,00	19,00	19,00	17,00	17,00	17,00	17,00				
Grasa cruda	3,06	4,05	5,04	6,04	3,19	4,19	5,18	6,18				
Fibra cruda	3,92	4,30	4,69	5,07	3,68	4,06	4,44	4,83				
EM (kcal/kg)	3190	3178	3165	3153	3202	3190	3177	3185				
EM: Lisina	3,32	3,25	3,19	3,13	2,89	2,83	2,76	2,7				
Fósforo Disponible	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30				
Lisina Total	1,08	1,09	1,09	1,10	0,94	0,95	0,95	0,96				
Lisina Digestible	0,90	0,90	0,90	0,90	0,78	0,78	0,78	0,78				
Metionina Digestible	0,30	0,30	0,30	0,30	0,23	0,24	0,24	0,25				
Triptófano Digestible	0,20	0,20	0,20	0,20	0,16	0,16	0,16	0,16				
Treonina Digestible	0,63	0,63	0,63	0,63	0,51	0,51	0,51	0,51				
Analizado												
Materia seca	87,44	87,26	87,04	87,56	87,99	88,14	87,99	87,84				
Proteína bruta	20,75	18,02	20,64	21,78	19,11	20,45	19,64	20,77				
Grasa cruda	3,90	3,96	3,70	5,89	3,68	4,90	6,08	7,08				
Fibra cruda	3,43	2,99	3,73	4,40	3,16	3,61	4,09	5,02				
Fibra Detergente Neutro	18,05	19,08	18,58	26,47	17,6	20,05	23,5	28,51				
Fibra Detergente Ácido	4,37	3,94	4,74	5,94	4,37	4,75	5,35	6,53				

Datos expresados en base tal cual. EM: Energía metabolizable. D0: 0%; D15: 15%; D30: 30%; D45: 45% de inclusión de DDGS.

2.2.2 Análisis estadístico

Las variables se analizaron de forma diaria, acumulada por fase de alimentación y global (CREC+TERM) mediante ANOVA. Las mediciones repetidas en el tiempo (GDPV, CDA y CA) fueron analizadas a través de modelos lineales mixtos, previa evaluación de los supuestos. Tanto la correlación entre las medidas repetidas en el tiempo, como la heterogeneidad de varianza se tuvieron en cuenta modelando además la matriz de varianza-covarianza de los errores (R).

Los efectos de las dosis crecientes de DDGS sobre las variables, peso final en CREC y en TERM se analizaron por ANOVA de acuerdo a un diseño en bloques completos aleatorizados (DBCA) según el siguiente modelo

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_j + \tau_i + e_{ijk}$$

Donde:

μ es la media poblacional,

β_j es el efecto del bloque ($j = 1, \dots, 9$)

τ_i representa el efecto de cada tratamiento ($i = 1$ a 4),

e_{ijk} corresponde el término del error.

Las pendientes de las rectas que estimaron la tasa de crecimiento promedio de cada animal, fueron posteriormente analizadas por ANOVA según un DBCA, comparando las medias ajustadas mediante la prueba de Tukey y trabajando con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

En todos los casos, se utilizó el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2016) en enlace con la plataforma R-project DCOM (R Core Team, 2017). Las medias ajustadas se compararon mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$). Las diferencias se declararon significativas cuando $P \leq 0,05$ y se reportaron diferencias incluso para $P \leq 0,10$.

2.3 Determinaciones químicas

Todas las determinaciones analíticas se realizaron por duplicado en el Laboratorio Regional del INTA-EEA Pergamino.

Las muestras fueron caracterizadas por humedad (método 44-16.01, AACC, 1995), contenido de PB mediante el método Kjeldahl (método 46-12.01, AACC, 1995), EE de forma directa con adición de solventes orgánicos (método 30-25.01, AACC, 1995). La FC se determinó por digestión secuencial con una solución de H₂SO₄ al 1,25% y luego con NaOH al 1,25% (método 32-10.01, AACC, 1995). Por último, se determinó contenido de Cen en mufla a 550 °C durante 5 h (método 08-01.01, AACC, 1995). Todas las metodologías se encuentran detalladas en Anexo 1.

Los análisis de FDN se hicieron a través del Método Goering y Van Soest (1970), con agregado de α -amilasa y los de FDA acorde a la metodología de Van Soest (1963), utilizando un Analizador de Fibra ^{200/220} ANKOM (Ankom[®], Tech. Co., Fairport, NY, USA).

Para la determinación del contenido de AA totales y digestibles ileales (estandarizados) en DDGS, se empleó la técnica de espectroscopia del infrarrojo cercano (NIRS, por sus siglas en inglés) en Evonik-Degussa Argentina S.A. empleando un equipo marca FOSS[®] modelo DS2500 con curvas de calibración agDIST17_48065_v8.

La EB de los ingredientes, raciones y heces fueron determinadas en bomba calorimétrica isoperibólica Parr 1261 (Parr Instrument Company – Moline, IL, USA) acorde a lo expresado en el método estándar D2015-85 (ASTM, 1987).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Perfil nutricional del maíz, harina de soja y DDGS

3.1.1 Composición química y concentración de aminoácidos.

Los resultados del análisis proximal de los ingredientes (DDGS, MZ y HS) presentaron características típicas (Cuadro 3-1). El DDGS (en base seca, presentó 26,4% de PB, 10,2% de EE, 7,4 de FC y 5,3% de Cen), resultó en líneas generales similar a lo hallado en la literatura (Spiehs *et al.*, 2002; Anderson *et al.*, 2012; Gutiérrez *et al.*, 2014; Heuzé *et al.*, 2015; Curry *et al.*, 2016).

Cuadro 3-1. Perfil químico del grano de Maíz, Harina de soja y DDGS (dried distilled grains with solubles). Resultados expresados en base seca, excepto materia seca que se expresó en porcentaje de materia húmeda (%MH).

Analito	Maíz	Harina de soja	DDGS
Materia seca, % MH	87,5	88,2	87,1
Proteína bruta	8,6	46,9	26,4
Extracto etéreo	4,4	3,4	10,2
Fibra cruda	2,2	5,4	7,4
Cenizas	1,5	6,7	5,3
Fibra detergente neutro	15,3	17,1	39,7
Fibra detergente ácido	3,2	7,1	11,3

En lo que respecta a la fracción grasa, los DDGS tradicionales se han caracterizado históricamente por contener entre 10 y 11% de EE (Stein y Shurson, 2009; NRC, 2012). Sin embargo, en los últimos años, dicha concentración ha ido disminuyendo debido al empleo de tecnologías más eficientes para la extracción de aceite durante el proceso, ya sea pre o pos-fermentación, por centrifugación o a través de solventes (Winkler-Moser y Breyer, 2011). A modo de ejemplo, los DDGS analizados por Graham *et al.* (2014) reportaron un contenido de EE de 7,63 en base tal cual, dato que coincide con lo reportado por el NRC (2012) para los “DDGS modificados” (6 - 9% EE). El DDGS analizado en este estudio reveló una concentración de EE (10,2% MS) semejante al histórico o convencional, ya que ni el MZ, ni el coproducto sufren aun un proceso de extracción de aceite.

Los valores de FC y Cen, se correspondieron con la información ya publicada (Widyaratne y Zijlstra, 2007; Anderson *et al.*, 2012; NRC, 2012).

Si bien el porcentaje de PB del DDGS coincidió con el rango determinado por Cromwell *et al.* (1993) y Liu (2011) (26,0 - 31,7% de MS), resultó inferior a los valores indicados en las tablas NRC (2012) y en las de la Federación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA; de Blas *et al.*, 2010), así como los reportados en otros estudios (Spiels *et al.*, 2002; Liu 2009; Anderson *et al.*, 2012; Gutiérrez y Patience 2012). Con el propósito de analizar esta discrepancia, se analizaron los valores históricos de PB en el MZ empleado por la empresa para la producción de bioetanol. Según los reportes semanales del período 2016-2017, el promedio de PB del MZ fue 8,43% en base seca; valor que resulta menor al reportado por Li *et al.* (2014) y Gutiérrez *et al.*, (2014) de 9,69% y 9,60%, respectivamente y de los valores normalmente reportados en las tablas FEDNA (de Blas *et al.*, 2010), NRC (2012) y en las brasileras (Rostagno *et al.*, 2017). Por consiguiente, la menor concentración de PB en el DDGS obtenido en ACABio, se explicaría por el menor contenido de PB del MZ utilizado como sustrato para la producción de este coproducto.

En cuanto al análisis de fibras, el porcentaje de FDN hallado coincide con los valores ya reportados (Anderson *et al.*, 2012; Gutiérrez *et al.*, 2014) y está dentro de los rangos establecidos por Cromwell *et al.* (1993) y Spiels *et al.* (2002). No obstante, el porcentaje de FDA resultó ligeramente menor al reportado en la tabla NRC (2012); asemejándose más al valor encontrado por Pedersen *et al.* (2007; Cuadro 3-2).

Cuadro 3-2 Composición química de DDGS (dried distilled grains with solubles) según distintas fuentes

Nutriente, %	Cromwell <i>et al.</i> , 1993		Spiehs <i>et al.</i> , 2002		Pedersen <i>et al.</i> , 2007		Anderson <i>et al.</i> , 2012		Kerr <i>et al.</i> , 2013	
	Promedio	Rango	Promedio	Rango	Promedio	Rango	Promedio	Rango	Promedio	Rango
MS	90,5	87,1 - 92,7	88,9	87,2 - 90,2	87,6	86,2 - 89,7	-	-	-	87
Proteína bruta, %MS	29,7	26,0 - 31,7	30,2	28,7 - 31,6	32,2	29,5 - 36,9	31,74	29,4 - 34,1	31,74	29,4 - 34,1
EE	10,7	9,1 - 14,1	10,9	10,2 - 11,4	11,5	9,81 - 14,15	10,2	10,16 - 11,16	10,2	10,16 - 11,16
FC	-	-	8,8	8,3 - 9,7	-	-	7,8	7,05 - 8,69	-	-
Cen	5,3	3,7 - 8,1	5,8	5,2 - 6,7	4,4	3,40 - 4,75	4,6	4,04 - 5,41	4,6	4,04 - 5,41
FDN	38,8	33,1 - 43,9	42,1	36,7 - 49,1	27,6	22,8 - 30,36	40,4	33,4 - 49,12	40,4	33,4 - 49,12
FDA	15,9	11,4 - 20,8	16,2	13,8 - 18,5	11,6	9,8 - 13,69	11,6	8,62 - 14,42	11,6	8,62 - 14,42

Datos expresados en base seca, excepto Materia Seca. MS: Materia seca; PB: Proteína bruta; EE: Extracto etéreo; FC: Fibra cruda; Cen: Cenizas; FDN: Fibra detergente neutro; FDA: Fibra detergente ácido.

En cuanto al MZ y HS, los resultados del análisis proximal arrojaron los siguientes valores en base seca: 8,6 y 46, 9% de PB, 4,4 y 3,4 de EE, 2,2 y 5,4 de FC y 1,5 y 6,7 % de Cen, respectivamente. Los valores obtenidos en MZ resultaron similares a los hallados en tablas de FEDNA (Blas *et al.*, 2010); NRC (2012) y brasileras (Rostagno *et al.*, 2017) para los parámetros MS, FC, EE y Cen. Sin embargo, el contenido de PB resultó ligeramente menor en comparación a las tablas y a lo reportado por otros autores (Gutiérrez *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2014). El análisis de fibras mostró un porcentaje de FDN mayor al normalmente reportado (Pedersen *et al.*, 2007; NRC, 2012; Curry *et al.*, 2016; Gutiérrez *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2014); asemejándose al valor publicado en las tablas brasileras (Rostagno *et al.*, 2017).

Con respecto a la HS, al ser también un subproducto, la variabilidad en contenido nutricional encontrada en la bibliografía es amplia y, por lo tanto, resulta difícil de comparar. Según resultados del análisis proximal, la HS aporta valores similares a los listados en las tablas para MS, Cen y FC. Sin embargo, el contenido de EE resultó mayor a lo listado por FEDNA (de Blas *et al.*, 2010; Heuzé *et al.*, 2017a; Rostagno *et al.*, 2017), mientras que el porcentaje de PB fue 3 puntos porcentuales menor con respecto a lo indicado por las mismas tablas.

El análisis de AA (Cuadro 3-3) arrojó valores superiores a los listados en las tablas de FEDNA (de Blas *et al.*, 2010) y NRC, (2012), pero similares a los reportados en trabajos más contemporáneos (Gutiérrez *et al.*, 2014; Zeng *et al.*, 2017).

Del total de AA analizados, la LIS fue el que más difirió respecto a la bibliografía; 0,76% de Blas *et al.* (2010), 1,04 (Han y Liu 2010) y 0,86% NRC (2012). Ciertamente dicho AA, limitante para la especie porcina, es el que presenta mayor variabilidad, de 0,48 a 0,97% (Cromwell *et al.*, 1993). Estudios anteriores han demostrado que la LIS es el AA más susceptible de sufrir daños por calentamiento (reacción de Maillard) durante el secado, proceso que disminuye tanto su concentración, como su digestibilidad (Cromwell *et al.*, 1993; Liu *et al.*, 2011; Almeida *et al.*, 2013) dando como resultado una gran variación en los porcentajes de digestibilidad ileal estandarizada (DIE), que van de 43,9 a 74,1% (Stein *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2012). Por otra parte, Zeng *et al.* (2017) llevaron adelante un meta-análisis, comparando tanto la concentración total como el coeficiente de DIE de 90 muestras de DDGS reportadas, en dicho estudio la LIS presentó, en promedio, el menor valor de coeficiente de DIE (61%) y la mayor variabilidad (17,4%).

Cuadro 3-3 Porcentaje de aminoácidos totales y digestibles presentes en DDGS. Valores expresados en base seca determinados por NIRS.

Aminoácido (%)	Total	AA_{dig}²
Metionina	0,56	0,47
Cistina	0,54	0,41
Metionina + Cistina	1,09	0,83
Lisina	0,95	0,60
Treonina	1,08	0,78
Triptófano	0,25	0,19
Arginina	1,33	1,07
Isoleucina	1,03	0,81
Leucina	3,12	2,69
Valina	1,36	1,05

¹AA dig: contenido de aminoácidos digestibles a nivel ileal estandarizado determinada por NIRS.

En relación a lo antes dicho, la proporción LIS:PB se utiliza como criterio para identificar DDGS dañados durante el procesamiento. Para la formulación de dietas porcinas se recomienda que los DDGS presenten una proporción mayor a 2,80% (Stein, 2007). Dado que la muestra analizada arrojó una relación mayor a lo recomendado (3,59%), se puede inferir que los DDGS del presente ensayo no sufrieron daño por calentamiento.

3.1.2 Contenido y digestibilidad de Energía

El contenido de EB medido en los DDGS (Cuadro 3-4), cae dentro del rango típicamente reportado (5112 a 5629 kcal/kg de MS) por autores estadounidenses (Spiehs *et al.*, 2002; Pedersen *et al.*, 2007, Stein y Shurson, 2009; Anderson *et al.*, 2012). Las concentraciones de EB, del MZ y la HS, también resultaron similares a las halladas en las tablas de referencia (de Blas *et al.*, 2010; NRC, 2012; Heuzé *et al.*, 2017 a;b; Rostagno *et al.*, 2017). Cabe aclarar que las variables EB y EM no pudieron ser analizadas estadísticamente, al contar solo con 2 muestras por ingrediente.

Se detectaron diferencias estadísticamente significativas tanto en el contenido de ED de los ingredientes (p-valor = 0,0005) como en los coeficientes ED/EB (p-valor = 0,0001; Cuadro 3-4). La HS fue el ingrediente que presentó mayor contenido de ED. Si bien dicho valor resulta superior a lo reportado por Baker y Stein (2009); de Blas *et al.*

(2010) y NRC (2012), es coincidente con otros autores (Baker *et al.*, 2014; Berrocoso *et al.*, 2015). Los coeficientes ED/EB de la HS y del MZ no se diferenciaron entre sí, pero resultaron estadísticamente mayores que el DDGS. El ED/EB de la HS, sin bien puede resultar llamativamente superior al presente en las tablas de referencia (85%) en NRC (2012); y Rostagno *et al.*, (2017), concuerda lo reportado por otros autores (Baker *et al.*, 2014; Berrocoso *et al.*, 2015; Sotak-Pepper *et al.*, 2015). Esto podría ser consecuencia de la mayor concentración de EE en el ingrediente utilizado, en comparación a valores normalmente listados para el mismo ingrediente (de Blas *et al.*, 2010; Heuzé *et al.*, 2017a; Rostagno *et al.*, 2017).

Cuadro 3-4 Contenido energético del maíz, harina de soja y DDGS experimentales

Variable ¹	Ingredientes ²			P-valor
	Maíz	Harina de soja	DDGS	
EB (kcal/kg MS)	4462	4773	5229	---
ED (kcal/kg MS)	3927 ± 19 ^B	4256 ± 23 ^A	3800 ± 35 ^B	0,0005
ED/EB, (%)	88,0 ± 1,60 ^A	89,2 ± 1,49 ^A	72,7 ± 1,47 ^B	0,0001
EM (kcal/kg MS)	3761	3849	3568	---

¹ EB: Energía bruta; ED: Energía digestible; ED/EB: Coeficiente de digestibilidad aparente de energía; EM: Energía metabolizable.

² Resultados expresados en base seca. DDGS: Burlanda seca
Medias ± EE con diferente letra difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

El contenido de ED de los DDGS (Cuadro 3-4) coincidió con valores anteriormente reportados (Spiehs *et al.*, 2002; Shurson, 2004; Stein *et al.*, 2006; Pedersen *et al.*, 2007). Aunque la EB de los DDGS resultó 767 kcal/kg mayor a la del MZ, la ED de los dos ingredientes no se diferenciaron a causa del menor ED/EB del DDGS (p -valor =0,0001). Este dato coincide con lo revisado por Stein y Shurson (2009) quienes remarcan que, a pesar del alto contenido en EB, los DDGS presentan una ED y EM similar al MZ. Esto se podría explicar por el elevado contenido de fibra dietética presente en los DDGS, que actúa diluyendo la energía contenida en las dietas (Noblet *et al.*, 1993; Galassi *et al.*, 2010) al presentar una digestibilidad total aparente (DTA) de alrededor de 47% (Urriola, 2010). Por lo tanto, la FDT (fibra dietética total) se considera el principal responsable del menor aprovechamiento de nutrientes en los DDGS en comparación con el MZ (Guo *et al.*, 2004; Stein, 2009).

En cuanto a la EM calculada para el DDGS (3568 kcal/kg MS) resultó muy similar al contenido reportado por Shurson (2004) y cae dentro del rango publicado por diversos

autores (Spiehs *et al.*, 2002; Pedersen *et al.*, 2007; Kerr *et al.*, 2013; Anderson *et al.*, 2012). No obstante, fue menor al valor listado por el NRC (2012). A diferencia de la ED, la EM es considerada un mejor estimador de la energía disponible para los cerdos, ya que contabiliza las pérdidas a través de la orina y la energía eliminada en la producción de gases (de Lange y Birkett, 2005). Sin embargo, éstas últimas han sido frecuentemente desestimadas en determinaciones *in vivo*, donde la concentración de EM surge de la diferencia entre ED menos la energía a través de la orina (Kil *et al.*, 2013). En tal sentido Noblet *et al.* (1994) y NRC, (1998) propusieron una relación EM/ED promedio de 0,96, aun contabilizando pérdidas gaseosas para dietas comerciales en cerdos en CREC y TERM. Dicha proporción coincidió con la obtenida en este estudio para el MZ, pero fue menor para el DDGS (0,92). Esta observación concuerda con Kil *et al.* (2013) quienes, en su revisión sobre la utilización de la energía por los cerdos, advierte que el uso de alimentos con alto contenido de fibras reduce dicha proporción como resultado de un aumento en la fermentación en el intestino grueso y pérdida de energía en forma de metano.

En cuanto a la ED medida y EM calculada para el MZ, los resultados obtenidos concuerdan con valores encontrados en las tablas (NRC, 2012; Rostagno *et al.*, 2017; Baker y Stein, 2009), pero son ligeramente mayor a lo reportado por otros autores (Stein *et al.*, 2006; Kerr *et al.*, 2013; Gutiérrez *et al.*, 2014).

Dentro de las metodologías empleadas para analizar la porción fibrosa de los ingredientes, la FDT representa el valor más exacto, al contabilizar tanto las fracciones solubles y fermentables como las insolubles (Campbell *et al.*, 1997). Sin embargo, debido a que la mayor proporción de fibra en los DDGS es insoluble, existe una fuerte relación entre la DTA de la FDT y la DTA de FDN y FDA (Bach Knudsen, 1997). Por lo tanto, las concentraciones de FDN y FDA constituyen analitos confiables para estimar la digestibilidad de la energía en los coproductos del MZ (Urriola, 2010; Anderson *et al.*, 2012; Gutierrez *et al.*, 2014)

3.2 Prueba de crecimiento

3.2.1 Consumo de alimento

Durante la segunda semana de ensayo se registraron signos de afección respiratoria (decaimiento general, anorexia, tos, hipertermia), posiblemente por el stress del transporte y cambio de dieta. La sintomatología presentó una prevalencia general mayor al 30%, con una mayor incidencia (>50%) en los animales correspondientes al tratamiento **D30**. Todos

los cerdos fueron tratados mediante una única dosis intramuscular (1 mL/40 Kg peso vivo) de Tulatromicina (antibiótico macrólido). A pesar de evidenciarse una rápida y efectiva recuperación, los cerdos del tratamiento **D30** permanecieron rezagados en consumo de alimento en comparación al resto durante toda la prueba.

No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0,05$) en CDA ni CAA en ambas fases de alimentación (Cuadro 3-5).

Por otro lado, observando los resultados del análisis del CAA global, podemos remarcar que los cerdos correspondientes al tratamiento **D45** presentaron, en promedio, un mayor CAA global que el resto, aproximadamente 10 kg en comparación a la dieta control (**D0**), aunque dicha diferencia no resultó significativa. Considerando que sólo los animales de los bloques más livianos (1, 2 y 3) consumieron el total del presupuesto estipulado para la fase de CREC (60 kg), se consideró pertinente analizar la variable CAA global para dichos bloques. Los resultados indicaron que la dieta D0 arrojó en promedio un CAA global de $163,7 \pm 4,30$ kg, mientras que las dietas con inclusión de DDGS (D15 y D45) obtuvieron un CAA global significativamente mayor ($176,5 \pm 1,53$ y $185,2 \pm 1,47$ kg) como se ilustra en la (Figura 3-1).

Cuadro 3-5. Consumo diario, acumulado por fase y global de cerdos alimentados con niveles crecientes de inclusión de DDGS en dietas de crecimiento y terminación

Consumo (kg)	FASE	Tratamientos				EE	P-VALOR
		D0	D15	D30	D45		
Diario	CREC	2,6	2,7	2,6	2,8	0,08	0,34
	TERM	2,9	3,0	3,0	3,1	0,07	0,96
Acumulado	CREC	53,8	56,5	53,4	57,1	1,64	0,29
	TERM	99,8	103,2	101,9	104,9	2,59	0,42
Total		153,7	160,1	156,2	163,9	4,30	0,37

Medias ajustadas. D0: 0%; D15: 15%; D30: 30% D45: 45% de inclusión de DDGS en dietas de crecimiento y terminación. Crec: Crecimiento; Term: Terminación; EE: Error estándar de la media.

Los cerdos regulan el consumo voluntario de alimento (**CVA**) principalmente por la densidad energética (Henry, 1985; Cole *et al.*, 1989; Li y Patience 2017). A medida que el contenido de energía en las dietas disminuye, el CVA aumenta para mantener constante la energía consumida (Nyachoti *et al.*, 2004). La inclusión gradual de niveles crecientes de DDGS, provocó una leve reducción del contenido de EM en las dietas (Cuadro 2-4), que podría haber ocasionado el aumento compensatorio del CVA de los

cerdos alimentados con **D45**. En relación a esto último, la dieta **D45**, a pesar de contener mayor grasa cruda que **D0** (CREC: 3,90 vs 5,89; TERM: 3,68 vs 7,08), presentó el mayor contenido de FDN y FDA (FDN: 25,04 vs 14,49%; FDA: 6,53 vs 4,37%) lo que probablemente haya reducido la eficiencia de utilización de la energía en comparación a la dieta control (Beaulieu *et al.*, 2009). Como se mencionó anteriormente, el alto contenido de FDN y FDA reduce la relación EM/ED al incrementar las pérdidas energéticas en forma de metano, producto de la fermentación intestinal de fibra.

A diferencia de lo observado en el presente trabajo, otros autores reportaron una reducción lineal del CDA al alimentar con niveles crecientes (0%, 10%, 20% y 30%) de DDGS para las mismas categorías de producción (Whitney *et al.*, 2006; Linneen *et al.*, 2008; Xu *et al.*, 2010). Esto se explicaría dado que, en dichos estudios, las dietas estuvieron balanceadas en energía, por lo que los cerdos no necesitaron aumentar el CVA en pos de cubrir los niveles energéticos requeridos, evidenciando una menor preferencia por consumir DDGS (Hastad *et al.*, 2005; Seabolt *et al.*, 2008).

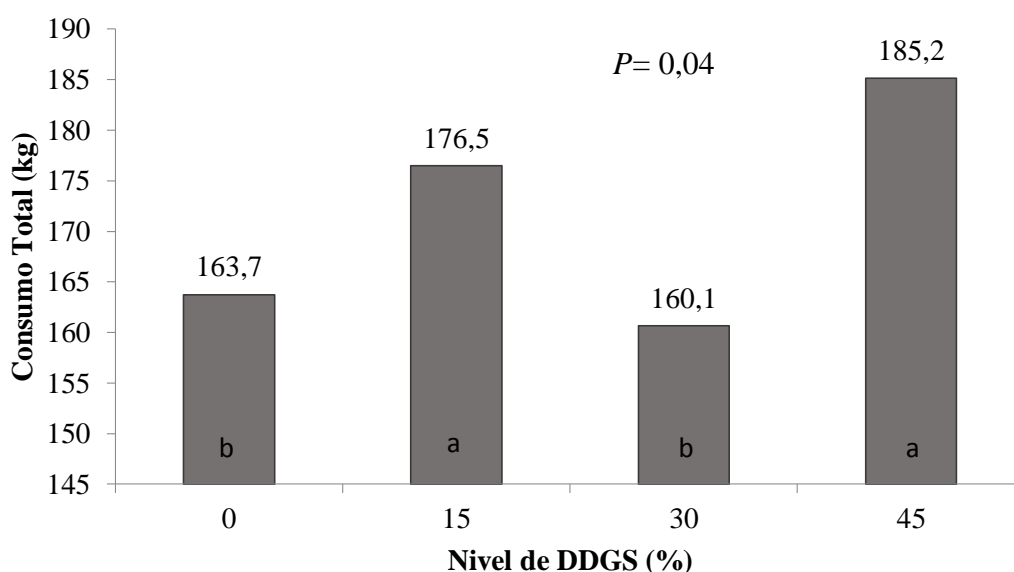


Figura 3-1. Consumo acumulado total de las dietas experimentales correspondiente a los bloques 1 a 3, que consumieron el presupuesto total de ambas fases de alimentación. Columnas con diferente letra difieren estadísticamente ($p \leq 0,05$).

3.2.2 *Peso vivo y ganancia de peso*

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0,05$) en lo referido al PV_i , ni al culminar ambas fases de alimentación (Cuadro 3-6). Las variables

GDPV y GPA tampoco difirieron estadísticamente entre cerdos alimentados con 0 a 45% de inclusión de DDGS en las dietas. Del mismo modo, las pendientes de las rectas que estiman la tasa de crecimiento de los cerdos a lo largo del ensayo, resultaron similares entre los tratamientos ($P = 0,88$). Como se observa en la Figura 3-2, la tasa de crecimiento de los tratamientos con DDGS, si bien fueron levemente menores que la del control, se mantuvieron dentro de los intervalos de confianza.

Cuadro 3-6. Peso vivo promedio al inicio y al finalizar las fases de alimentación

Peso Vivo (kg)	Tratamientos				EE	p-valor
	D0	D15	D30	D45		
Inicial	47,2	46,9	48,0	47,1	0,42	0,32
Final Crecimiento	72,2	72,1	71,9	70,4	1,09	0,64
Final Terminación	107,9	107,5	106,6	105,8	1,30	0,68
Tasa de crecimiento (kg/d)	1,07	1,07	1,05	1,04	0,02	0,88

Medias ajustadas. D0: 0%; D15: 15%; D30: 30% D45: 45% de inclusión de DDGS en dietas de crecimiento y terminación; EE: Error estándar de la media.

EE: Error estándar de la media.

En concordancia con estos resultados, un gran número de autores incorporaron hasta un 30% de DDGS en dietas de CREC y TERM sin encontrar diferencias en el peso de los animales (Senne *et al.*, 1995; Cook *et al.*, 2005; De Decker *et al.*, 2005; Gaines *et al.*, 2006; Xu *et al.*, 2007). Inclusive, con a una concentración más elevada de DDGS (60%), no se hallaron diferencias en este parámetro (Weber *et al.*, 2015).

No obstante, en otros estudios se detectaron GPVD menores en cerdos alimentados con 20 a 30% de inclusión de DDGS en comparación a una dieta control MZ y HS (Widyarantne *et al.*, 2004; Whitney *et al.*, 2006; Linneen *et al.*, 2008). Algo semejante reportaron Cromwell *et al.* (2011) quienes detectaron una menor GDPV en cerdos alimentados con 45% de DDGS, pero sin modificaciones en cuanto a las variables CDA y CA analizandolas de forma global. Por lo tanto se consideró que, si bien la respuesta productiva fue menor, no resultó tan afectada como para dejar de incluir el DDGS en concentraciones mayores a 30%.

Es evidente la controversia que existe en los resultados obtenidos a la hora de evaluar los efectos de incluir DDGS sobre el desempeño porcino. En una extensa revisión sobre más de 25 trabajos, Stein y Shurson (2009) no lograron determinar la razón

principal por la cual la respuesta productiva se ve reducida en algunos trabajos mientras que, en la mayoría, no se ve alterada. Esta discrepancia puede atribuirse a múltiples causas: desde el origen de los DDGS, diferentes contenidos energéticos de las dietas y el empleo de valores incorrectos en la formulación de las mismas (Weber *et al.*, 2015). Sobre el primer punto, los DDGS empleados en los diferentes trabajos probablemente hayan variado en calidad y concentración de nutrientes, como resultado de la aplicación de distintas tecnologías para la obtención del etanol, resultando en menor digestibilidad y palatabilidad que lo esperado (Xu *et al.*, 2010). En relación a la formulación de dietas experimentales, cobra vital relevancia, la previa evaluación nutricional del DDGS a utilizar, para contar con valores reales, en vez de utilizar los de tablas.

En este sentido, la capacidad de los cerdos para mantener el desempeño productivo durante este estudio consumiendo D45, puede deberse en parte, a que las dietas fueron formuladas según los requerimientos de AA digestibles con el agregado de AA sintéticos. De esta forma, se garantizó un nivel de AA adecuado, sin elevar el contenido de PB de la dieta. Anteriormente, cuando las dietas se formulaban en base a AA totales, y en algunos casos aún no se utilizaban AA sintéticos, la inclusión de elevadas proporciones de DDGS se traducían en altos porcentajes de PB en las dietas (Stein y Shurson 2009; Xu *et al.*, 2010; Cromwell *et al.*, 2011). Ésta excesiva cantidad de PB aumenta las concentraciones de urea plasmática reduciendo el CDA y GPD en cerdos en CREC y TERM (Goerl *et al.*, 1995; Chen *et al.*, 1999).

En relación a lo anterior, los resultados de Whitney *et al.* (2006) sugirieron que para la formulación de dietas con DDGS en base a AA totales, la concentración máxima del coproducto no debería exceder el 10%, si se desea lograr un óptimo desempeño. Para elaborar dietas con mayores niveles de inclusión, sin comprometer el desempeño de los cerdos, se recomienda formular en base a AA digestibles.

Cuadro 3-7. Ganancia de peso diaria, acumulada por fase y global de cerdos alimentados con niveles crecientes de inclusión de DDGS en fases de crecimiento y terminación

Ganancia de peso (kg)	Fase	Tratamientos				EE	P-valor
		D0	D15	D30	D45		
Diaria	CREC	1,08	1,08	0,98	1,05	0,05	0,13
	TERM	1,03	1,02	1,00	1,01	0,03	0,93
Acumulada	CREC	25,3	25,3	24,1	23,7	0,86	0,45
	TERM	35,1	34,8	34,1	34,5	0,79	0,82
Total		60,6	60,6	58,6	58,9	1,24	0,53

Medias ajustadas. D0: 0%; D15: 15%; D30: 30% D45: 45% de inclusión de DDGS en dietas de crecimiento y terminación. Crec: Crecimiento; Term: Terminación; EE: Error estándar de la media.

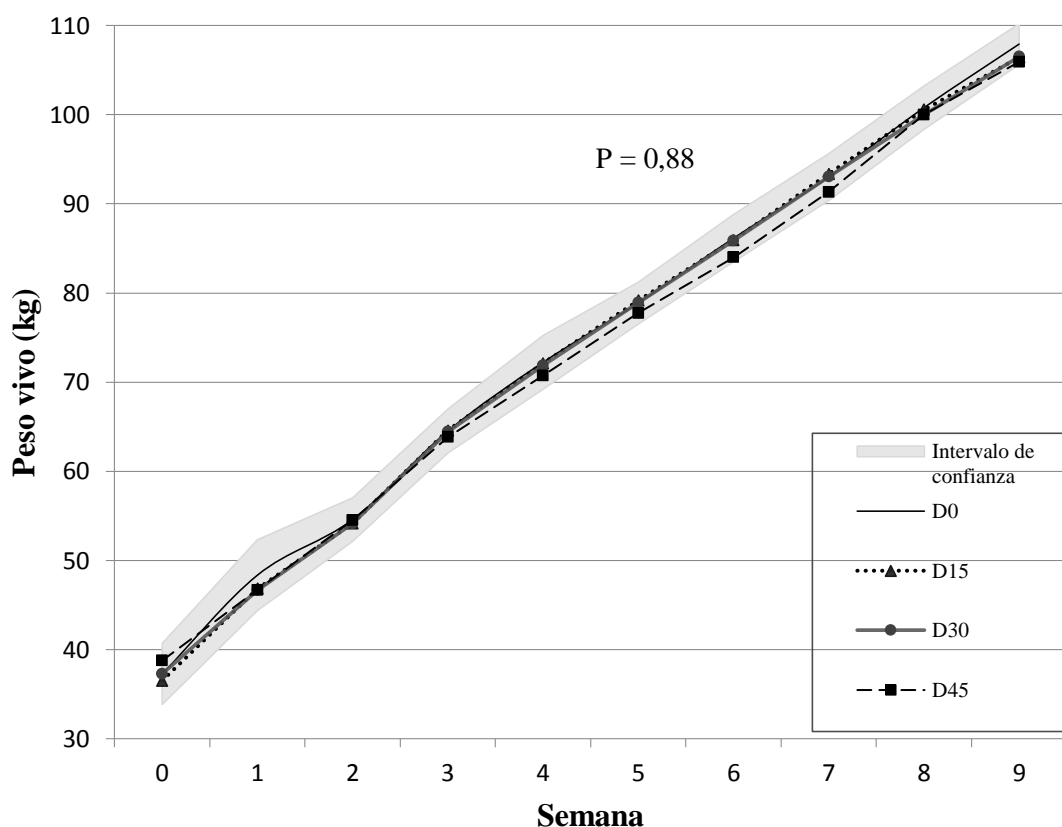


Figura 3-2. Evolución del peso vivo de cerdos alimentados con niveles crecientes de DDGS en las fases de crecimiento y terminación

D0: 0%; D15: 15%; D30: 30% D45: 45% de inclusión de DDGS en dietas de crecimiento y terminación.

3.2.3 Conversión alimenticia

Dado a que no se hallaron diferencias en el CDA ni en GDPV de manera global, la CA resultó similar entre los tratamientos. Si bien se registró una tendencia de mayor conversión alimenticia por parte de los animales del tratamiento **D45** durante CREC ($P=$

0,08; Cuadro 3-8), dicha diferencia no resultó significativa al considerar ambas fases. Estos resultados coinciden con lo reportado Linneen *et al.* (2008), Cromwell *et al.* (2011) y Weber *et al.* (2015). No obstante, en otro trabajo, la GPD no se vio modificada, pero se observó una reducción en el CDA y una mejora lineal de la CA en cerdos alimentados con dietas conteniendo 0, 10, 20, o 30% DDGS (Xu *et al.*, 2007).

Cuadro 3-8. Conversión alimenticia diaria (kg de alimento tal cual/ kg de ganancia de peso vivo), acumulada por fase y global de cerdos alimentados con niveles crecientes de inclusión de DDGS en dietas de crecimiento y terminación

Conversión alimentaria	Fase	Tratamientos				EE	<i>p</i> -valor
		D0	D15	D30	D45		
Por Fase	Crec	2,3	2,5	2,5	2,6	0,10	0,19
	Term	2,9	2,9	3,0	3,1	0,08	0,51
Acumulada	Crec	2,1	2,2	2,2	2,4	0,08	0,08
	Term	2,8	2,9	3,0	3,1	0,10	0,40
Total		2,6	2,7	2,7	2,8	0,09	0,28

Medias ajustadas. D0: 0%; D15: 15%; D30: 30% D45: 45% de inclusión de DDGS en dietas de crecimiento y terminación. Crec: Crecimiento; Term: Terminación; EE: Error estándar de la media.

De estos resultados se puede inferir que los cerdos pudieron compensar exitosamente el menor contenido de EM en **D45** a través del aumento de CVA, sin comprometer su desempeño general. King (1999) sugirió que el desempeño de cerdos en CREC se vería afectado al consumir dietas por debajo de 3465 kcal/kg de ED, mientras que Black (1995) advirtió que el límite crítico inferior es de 2350 kcal/kg de ED para cerdos que pesen más de 50 kg. Sin embargo, según el NRC (1998) no existe nivel crítico de energía por debajo del cual los cerdos no puedan adaptarse, siempre y cuando, tengan acceso *ad-libitum* al alimento.

4 CONCLUSIONES

El DDGS de MZ obtenido en ACABio, reveló un perfil nutricional similar al hallado en la bibliografía consultada bajo el nombre de “DDGS convencional”. Tanto el valor de ED medido *in vivo* (3800 kcal/kg de MS) como la EM estimada por ecuación (3568 kcal/kg de MS), coinciden dentro de los rangos históricamente reportados. En cuanto al aporte proteico, si bien la concentración de PB resultó levemente menor (26,4%) que los valores promedios reportados en el exterior, el contenido y calidad de AA coincidió con los valores encontrados en la literatura. En relación a esto, se destaca la óptima proporción LIS:PB de la muestra, lo que indica un adecuado tratamiento térmico del DDGS durante su secado.

Durante la prueba de crecimiento no se evidenciaron diferencias en la respuesta productiva de cerdos alimentados con niveles crecientes de DDGS. En este estudio en particular, al balancear las dietas únicamente en base a AA digestibles, el DDGS fue evaluado principalmente como un sustituto energético, exitoso a la hora de reemplazar distintos porcentajes de la dieta tradicional MZ-HS.

En síntesis, se concluye que es factible incorporar hasta un 45% de DDGS en dietas para engorde (fases de crecimiento y terminación), sin afectar el desempeño de cerdos, siempre y cuando las dietas se formulen según requerimientos de aminoácidos digestibles.

Entre los niveles de inclusión de DDGS evaluados, no se pudo hallar la tasa de inclusión máxima que afecte negativamente el desempeño de los cerdos en CREC y TERM.

5 BIBLIOGRAFÍA

- AACC, International. Method 08-01.01. Ash-basic method. En *Approved Methods of Analysis*, 11th Ed. Aprobado 1995. AACC International, St.Paul, MN, USA.
- AACC, International. Method 30-25.01. Crude fat in wheat, corn, and soy flour, feeds, and mixed feeds. En *Approved Methods of Analysis*, 11th Ed. Aprobado 1995. AACC International, St.Paul, MN, USA.
- AACC, International. Method 32-10.01. Crude fiber in flours, feeds, and feedstuffs. En *Approved Methods of Analysis*, 11th Ed. Aprobado 1995. AACC International, St.Paul, MN, USA.
- AACC, International. Method 44-16.01. Moisture-air-oven (aluminum-plate) method. En *Approved Methods of Analysis*, 11th Ed. Aprobado 1995. AACC International, St.Paul, MN, USA.
- AACC, International. Method 46-12.01. Crude protein-Kjeldahl method, boric acid modification. En *Approved Methods of Analysis*, 11th Ed. Aprobado 1995. AACC International, St.Paul, MN, USA.
- Adeola, O. 2001. Digestion and balance techniques in pigs. En *Swine Nutrition*. 2nd ed. CRC Press, New York, NY. A. J. Lewis and L. L. Southern, ed. 903 pp.
- Almeida, FN, Htoo, J.K., Thomson, J. y Stein, H.H. 2013. Amino acid digestibility in camelina seeds and camelina expellers fed to growing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 93: 335–343.
- Anderson, P.V., Kerr, B.J., Weber, T. E., Ziemer, C.J. y Shurson G. C. 2012. Determination and prediction of digestible and metabolizable energy from chemical analysis of corn coproducts fed to finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 90(4): 1242–1254.
- Arroquy J, Berruhet F., Martínez Ferrer, J., Pasinato, A y Brunetti, M. 2014. Uso de subproductos del destilado de granos en bovinos para carne. 5ta. Jornada Nacional de Forrajes Conservados. Disponible: <https://inta.gob.ar/documentos/uso-de-subproductos-del-destilado-de-granos-en-bovinos-para-carne>. Acceso: 3/6/2018
- ASAE, American Society of Agricultural and Engineers. 2012. Standard S319: Method of determining and expressing fineness of feed materials by sieving. En: ASAE. Aprobado: 4-feb-2008, Revisado: 2012. St. Joseph, MI, USA.

- ASTM International. 1987. ASTM Standard D 2015-85. Standard test method for gross calorific value of coal and coke by the adiabatic bomb calorimeter. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International.
- Bach Knudsen, K.E. 1997. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Anim. Feed Sci. Technol.* 67: 319–338.
- Baker, K.M. y Stein H.H. 2009. Amino acid digestibility and concentration of digestible and metabolizable energy in soybean meal produced from conventional, high protein, or low-oligosaccharide varieties of soybeans and fed to growing pig. *J. Anim. Sci.* 87: 2284–2290.
- Baker, K. M, Liu y Stein, H.H. 2014. Nutritional value of soybean meal produced from high protein, low oligosaccharide, or conventional varieties of soybeans and fed to weanling pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 188: 64–73.
- Barbosa, F.F., Dritz, S.S., Tokach, M.D., DeRouchy, J. M., Goodband, R. D y Nelsen JL. 2008. Use of distillers dried grains with solubles and soybean hulls in nursery pig diets. *J. Anim. Sci.* 86(Suppl. 1): 446.
- BCR, Bolsa de Comercio de Rosario. 2018. Precios de cámara al 28/4/2018. Disponible: <http://www.cac.bcr.com.ar/>. Acceso: 28/4/2018.
- Beaulieu, A. D., Williams, N.H. y Patience J.F. 2009. Response to dietary digestible energy concentration in growing pigs fed cereal grain-based diets. *J. Anim. Sci.* 87: 965–976.
- Belyea, R. L., Rausch, K. D. y Tumbleson, M. E. 2004. Composition of corn y distillers dried grains with solubles from dry grind ethanol processing. *Bioresour. Technol.* 94: 293–298.
- Belyea, R.L., Steevens, B.J., Restrepo, R.J. y Clubb, A.P. 1989. Variation in composition of by-product feeds. *Journal of Dairy Science* 72(9): 2339–2345.
- Berrocoso, J.D., Rojas, O.J., Liu, Y., Shoulders. J, González-Vega J.C., y Stein H.H. 2015. Energy concentration and amino acid digestibility in high-protein canola meal, conventional canola meal, and soybean meal fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 93: 2208–2217.

- Black, J. L. 1995. Modelling energy metabolism in the pig—Critical evaluation of a simple reference model. Pig. P. J. Moughan, M. W. A. Verstegen, and M. I. Visser-Reyneveld, ed. Wageningen Press, Wageningen, the Netherlands. 87–102
- Brunori, J. 2013. Producción de cerdos en Argentina: situación, oportunidades, desafíos. Revista INTA. Disponible: <http://inta.gob.ar/documentos/produccion-de-cerdos-en-argentina-situacion-oportunidades-desafios>. Acceso 08-08-2016.
- Campbell, J.M., Flickinger, E.A. y Fahey GC. 1997. A comparative study of dietary fiber methodologies using pulsed electrochemical detection of monosaccharide constituents. Sem. Food Anal. 2: 43–53.
- Chen, H.Y., Lewis, A.J., Miller, P.S. y Yen JT. 1999. The effect of excess protein on growth performance and protein metabolism of finishing barrows and gilts. J. Anim. Sci. 77: 3238–3247.
- Cole, D.J.A. y Chadd SA. 1989. The voluntary food intake of pigs. Forbes JM, Varley MA y Lawrence TJL (Eds.). Occasional publication, n°13. British Society of Animal Production. pp 61-70.
- Coninagro, Confederación Intercooperativa Agropecuaria Limitada. 2018. Informe técnico N° 6 “Economías regionales: Porcinos”. 6 pp.
- Cook, D., Paton, N. y Gibson M. 2005. Effect of dietary level of distillers dried grains with solubles (DDGS) on growth performance, mortality, and carcass characteristics of grow-finish barrows and gilts. J. Anim. Sci. 83(Suppl. 1): 335.
- Cortamira, N.O. 1982. Alimentación del cerdo con maíz entero a voluntad, complementado con una ración proteica. Informe Técnico n° 175. Universidad Católica de Córdoba. 11 pp.
- Cozannet, P., Primot, Y., Gady, C., Métayer, J.P., Lessire, M., Skiba, F. y Noblet J. 2010. Energy value of wheat distillers grains with solubles for growing pigs and adult sows. J. Anim. Sci. 88: 2382–2392.
- Cromwell, G.L., Azain, M.J., Adeola, O., Baidoo, S.K., Carter, S.D., Crenshaw, T.D., Kim, S.W., Mahan, D.C., Miller, P.S. y Shannon MC. 2011. Corn distillers dried grains with solubles in diets for growing-finishing pigs: A cooperative study. J. Anim. Sci. 89(9): 2801–2811.

- Cromwell, G.L., Calvert, C.C., Cline, TR., Crenshaw, J.D., Crenshaw, T.D., Easter, R.A., Ewan, R.C., Hamilton, C.R., Hill, G.M., Lewis, A.J., Mahan, D.C., Miller, E.R., Nelssen, J.L., Pettigrew, J.E., Tribble, L.F., Veum, T.L. y Yen, J.T. 1999. Variability among sources and laboratories in nutrient analyses of corn and soybean meal. *J. Anim. Sci.* 77: 3262–3273.
- Cromwell, G.L., Cline, T.R., Crenshaw, J.D., Crenshaw, T.D., Easter, R.A., Ewan, R.C., Hamilton, C.R., Hill, G.M., Lewis, A.J., Mahan, D.C., Nelssen, J.L., Pettigrew, J.E., Venum, T.L. y Yen, J.T. 2000. Variability among sources and laboratories in analyses of wheat middlings. *J. Anim. Sci.* 78: 2652–2658.
- Cromwell, G.L., Herkelman, K.L. y Stahly, T.S. 1993. Physical, chemical, and nutritional characteristics of distillers dried grains with solubles for chicks and pigs. *J. Anim. Sci.* 71: 679–686.
- Cromwell, G.L., Stahly, T.S., Monegue, H.J. y Overfield, J.R. 1983. Distillers dried grains with solubles for grower-finisher swine. Kentucky Agricultural Experiment Station. Progress Report 274. Univ. Kentucky, Lexington, USA. Pp 30–32.
- Curry, S.M., Rojas, O.J. y Stein, H.H. 2016. Concentration of digestible and metabolizable energy and digestibility of energy and nutrients by growing pigs in distillers dried grains with solubles produced in and around Illinois. *Professional Animal Scientist* 32(5): 687–694.
- de Blas, C., Mateos, G.G. y Garcia-Rebollar, P. 2010. Tablas de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. 3ra ed. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, Madrid, España. 502 pp.
- De Decker, J.M., Ellis, M., Wolter, B.F., Spencer, J., Webel, D.M., Bertelsen, C.R. y Peterson, B.A. 2005. Effects of dietary level of distiller dried grains with solubles and fat on the growth performance of growing pigs. *J. Anim. Sci* 83(Suppl. 2): 79.
- de Lange, C. F. M., y Birkett, S. H. 2005. Characterization of useful energy content in swine and poultry feed ingredients. *Can. J. Anim. Sci.* 85:269-280.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, CW. 2016. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

- FADA, Fundación Agropecuaria para el Desarrollo de Argentina. 2016. Reporte “La industria del Bioetanol en Córdoba” Carolina Bondolich - Carolina San Martín - NicollePisani Claro. Disponible: <http://fundacionfada.org/informes/industria-del-etanol-en-cordoba/>. Acceso: 10/02/2019
- Fontaine, J., Zimmer, U., Moughan, P.J. y Rutherford SM. 2007. Effect of heat damage in an autoclave on the reactive lysine contents of soy products and corn distillers dried grains with solubles. Use of the results to check on lysine damage in common qualities of these ingredients. *J. Agric. Food Chem.* 55: 10737–10743.
- Fu, S.X., Johnston, M., Fent, R.W., Kendall, D.C., Usry, J.L., Boyd, R.D. y Allee, G.L. 2004. Effect of corn distiller’s dried grains with solubles (DDGS) on growth, carcass characteristics, and fecal volume in growing finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 82(Suppl. 2): 80.
- Gaines, A., Ratliff, B., Srichana, P., y Allee, G. 2006. Use of corn distiller’s dried grains and solubles in late nursery pig diets. *J. Anim. Sci.* 84(Suppl. 2): 120.
- Galassi, G., Colombini, S., Malagutti, L., Crovetto, G. y Rapetti, L. 2010. Effects of high fibre and low protein diets on performance, digestibility, nitrogen excretion and ammonia emission in the heavy pig. *Anim. Feed Sci. Technol.* 161(3): 140–148.
- Garzón, J.M. y Torres, N. 2013. Una Argentina Competitiva, Productiva y Federal. La cadena de la carne porcina y sus productos derivados. IERAL de Fundación Mediterránea. Año 19 - Edición N° 130.
- Goering, H.K. y Van Soest, P.J. 1970. Forage Fiber Analysis (apparatus, reagents, procedures, and some applications). *Agriculture Handbook n° 379*. Agricultural Research Service, USDA. Washington (DC), USA. 20 pp.
- Goerl, K.F., Eilert, S.J., Mandigo, R.W., Chen, H.Y. y Miller, P.S. 1995. Pork characteristics as affected by two populations of swine and six crude protein levels. *J. Anim. Sci.* 73: 3621–3626.
- Graham, A.B., Goodband, R.D., Tokach, M.D., Dritz, S.S., DeRouche, J.M., Nitikanchana, S. y Updike, J.J. 2014. The effects of low-, medium-, and high-oil distillers dried grains with solubles on growth performance, nutrient digestibility, and fat quality in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 92: 3610–3623.

- Guo, L., Piao, X., Li, D. y Li, S. 2004. The apparent digestibility of corn by-products for growing-finishing pigs in vivo and in vitro. *Asian-australas. J. Anim. Sci.* 17: 379–385.
- Gutiérrez, N.A. y Patience, J.F. 2012. The metabolic basis of feed-energy efficiency in swine. Allen D. Leman Swine Conference, College of Veterinary Medicine, University of Minnesota. *Veterinary Continuing Education*, 39: 19–26.
- Gutiérrez, N.A., Serão, N.V.L., Kerr, B.J., Zijlstra, R.T. y Patience, J.F. 2014. Relationships among dietary fiber components and the digestibility of energy, dietary fiber, and amino acids and energy content of nine corn coproducts fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 92: 4505–4517.
- Han, J.C. y Liu, K.S. 2010. Changes in proximate composition and amino acid profile during dry grind ethanol processing from corn and estimation of yeast contribution toward DDGS proteins. *J. Agric. Food Chem.* 58: 3430–3437.
- Hastad, C.W., Nelssen, J.L., Goodband, R.D., Tokach, M.D., Dritz, S.S., DeRouchey, J.M., y Frantz, N.Z. 2005. Effect of dried distillers grains with solubles on feed preference in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 83(Suppl. 2): 73.
- Henry, Y. 1985. Dietary factors involved in feed intake regulation in growing pigs: a review. *Livest. Prod. Sci.* 12: 339–354.
- Heuzé, V., Tran, G. y Kaushik, S. 2017a. Soybean meal. Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. Disponible: <https://www.feedipedia.org/node/674>. Acceso 12-22-2018.
- Heuzé, V., Tran, G. y Lebas, F. 2017b. Maize grain. Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. Disponible: <https://www.feedipedia.org/node/556>. Acceso: 03-01-2019.
- Heuzé, V., Tran, G., Sauvant, D., Noblet, J., Renaudeau, D., Bastianelli, D., Lessire, M. y Lebas, F. 2015. Corn distiller's grain. Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. Disponible: <https://www.feedipedia.org/node/71>. Acceso: 17-01-2019.
- Kelsall D.R., y Lyons, T.P. 2003. Grain dry milling and cooking procedures: extracting sugar in preparation for fermentation. In: Jacques KA, Lyons TP, Kelsall DR.

- (Eds.). *The Alcohol Textbook*. 4th ed. Nottingham University Press, Nottingham, UK. pp 9–22.
- Kerr, B.J., Dozier, W.A. y Shurson, G.C. 2013. Effects of reduced-oil corn distillers dried grains with solubles composition on digestible and metabolizable energy value and prediction in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 91(7): 3231-3243.
- Kil, D.Y., Kim, B.G. y Stein, H.H. 2013. Feed energy evaluation for growing pigs. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 26: 1205–1217.
- Kim, B.G., Kil, D.Y., Zhang, Y. y Stein, H.H. 2012. Concentrations of analyzed or reactive lysine, but not crude protein, may predict the concentration of digestible lysine in distillers dried grains with solubles fed to pigs. *J. Anim. Sci.* 90: 3798–3808.
- King, R. H. 1999. Nutritional constraints to pig performance and variability. *Manipulating Pig Production VII*. P. D. Pig Sci. Assoc., Victoria, Australia. 245–251
- Knott, J., Shurson, J. y Goihl, J. 2004. Effects of the nutrient variability of distiller's solubles and grains within ethanol plants and the amount of distiller's solubles blended with distiller's grains on fat, protein and phosphorus content of DDGS. Department of Animal Science, University of Minnesota. 5 pp.
- Li, J. 2013. Evaluation of collection method and diet effects on apparent digestibility and energy values of swine diets. MSc Theses. University of Nebraska, Lincoln, NE, USA. 78 pp.
- Li, Q. y Patience, J.F. 2017. Factors involved in the regulation of feed and energy intake of pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 233: 22–33.
- Li, Q., Zang, J., Liu, D., Piao, X. y Lai, C. 2014. Predicting corn digestible and metabolizable energy content from its chemical composition in growing pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 5(1): 11.
- Linneen, S.K., DeRouchey, J.M., Dritz, S.S., Goodband, R.D., Tokach, M.D. y Nelssen, J.L. 2008. Effects of dried distillers grains with solubles on growing and finishing pig performance in a commercial environment. *J. Anim. Sci.* 86(7): 1579–1587.

- Liu, K. 2009. Effects of particle size distribution, compositional and color properties of ground corn on quality of distillers dried grains with solubles (DDGS). *Bioresour. Technol.* 100(19): 4433–4440.
- Liu, K. 2011. Chemical composition of distillers grains, a review. *J. Agric. Food Chem.* 59: 1508–1526.
- Liu, P., Souza, L.W.O., Baidoo, S.K. y Shurson, G.C. 2012. Impact of distillers dried grains with solubles particle size on nutrient digestibility, DE and ME content, and flowability in diets for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 90: 4925–4932.
- Minagri, Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. 2010. Plan Estratégico Agroalimentario y Agroindustrial Participativo y Federal 2010-2020. 160 pp.
- Minagro, Ministerio de Agroindustria de la Nación. 2018a. Anuario Avícola Año 2017. República Argentina. 17 pp.
- Minagro, Ministerio de Agroindustria de la Nación. 2018b. Anuario 2017 Porcinos. República Argentina. 36 pp.
- Mueller, S. 2010. National dry mill corn ethanol survey. *Biotechnol. Lett.* 32: 1261–1264.
- Mumm, R.H., Goldsmith, P.D., Rausch, K.D. y Stein, H.H. 2014. Land usage attributed to corn ethanol production in the United States: Sensitivity to technological advances in corn grain yield, ethanol conversion, and co-product utilization. *Biotechnol. Biofuels* 7: 61.
- Naidu, K., Singh, V., Johnston, D.B., Rausch, K.D. y Tumbleson, M.E. 2007. Effects of ground corn particle size on ethanol yields and thin stillage soluble solids. *Cereal Chem.* 84(1): 6–9.
- Noblet, J. y Perez, J.M. 1993. Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical composition. *J. Anim. Sci.* 71: 3389–3398.
- Noblet, J., Shi, X. S., y Dubois, S. 1994. Effect of body weight on net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 72:648-657.
- Noblet, J. 1996. Digestive and metabolic utilization of dietary energy in pig feeds: Comparison of energy systems. In: Garnsworthy PC, Wiseman J, Haresign W (Eds), *Recent Advances in Animal Nutrition*. Nottingham University Press, Nottingham, U.K. pp. 207-231.

- NRC, National Research Council. 1998. Nutrient Requirements of Swine. 10th ed. National Academic Press, Washington, DC. 212 pp.
- NRC, National Research Council. 2012. Nutrient Requirements of Swine. 11th ed. National Academy Press, Washington, DC. pp. 110–142.
- Nyachoti, C.M., House, J.D., Slominski, B.A. y Seddon, I.R. 2005. Energy and nutrient digestibilities in wheat dried distillers' grains with solubles fed to growing pigs. *J. Food Agric. Sci.* 85: 2581–2586.
- Nyachoti, C.M., Zijlstra, R.T., de Lange, C.F.M., y Patience, J.F. 2004. Voluntary feed intake in growing-finishing pigs: A review of the main determining factors and potential approaches for accurate predictions. *Can. J. Anim. Sci.* 84: 549–566.
- OCDE/FAO, Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico/Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2017. OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2017-2026. OCDE, París. 152 pp.
- OECD, Organization for Economic Cooperation and Development. 2017. Meat consumption (indicator). Disponible: <https://data.oecd.org/agroutput/meat-consumption.htm>. Acceso: 16/12/2018
- Pedersen, C., Boersma, M.G., y Stein, H.H. 2007. Digestibility of energy and phosphorus in ten samples of distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 85: 1168–1176.
- R Core Team. 2017. A language and environment for statistical computing. Disponible: <http://www.R-project.org/>. Vienna, Austria.
- Rausch, K.D. y Belyea, R.L. 2006. The future of coproducts from corn processing. *Appl. Biochem. Biotech.* 128: 47–86.
- Rausch, K.D., Belyea, R.L., Ellersieck, M.R., Singh, V., Johnston, D.B., Tumbleson, M.E. 2005. Particle size distributions of ground corn and DDGS from dry grind processing. *Trans. ASAE.* 48: 273–277.
- RFA, Renewable Fuels Association. 2017. Ethanol Industry Outlook. “Building partnerships | growing markets”. Washington, DC, USA. 38 pp.
- Rosenfelder, P., Eklund, M. y Mosenthin, R. 2013. Nutritive value of wheat and wheat by-products in pig nutrition: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 185: 107–125.

- Rosentrater, K.A., Ileleji, K. y Johnston, D.B. 2012. Manufacturing of fuel ethanol and distillers grains – current and evolving processes. In: Liu K y Rosentrater KA (Eds). *Distillers Grains: Production, properties and utilization*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. Pp. 79–99.
- Rostagno, H.S., Teixeira Albino, L.F., Hannas, M.I., Lopes Donzele, J., Sakomura, N.K., Perazzo, F.G.*et al.* 2017. *Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos: Composición de alimentos y requerimientos nutricionales*. 4th ed. Traducido SC Salguero Cruz. Viçosa, MG, Brasil: Departamento de Zootecnia, UFV. 488 pp.
- SAS Institute. 2009. *SAS/STAT® 9.2. Users's Guide Release*. Cary, NC: SAS Institute Inc., USA.
- Schmit, T.M., Verteramo, L., y Tomek, W.G. 2009. Implications of growing biofuel demands on northeast livestock feed costs. *Agric. Resour. Econ. Rev.* 38: 200–212
- Seabolt, B.S., van Heughten, E., Ange-van Heughten, K.D. y Roura. 2008. Feed preference in nursery pigs fed diets containing varying fractions and qualities of dried distiller's grains with solubles (DDGS). *J. Anim. Sci.* 86(Suppl. 1): 447.
- Senne, B.W., Hancock, J.D., Sorrell, P.S., Kim, I.H., Traylor, S.L., Hines, R.H. y Behnke, K.C. 1995. Effects of distillers grains on growth performance in nursery and finishing pigs. In: *Swine Day, Kansas Agricultural Experiment Station Research, Kansas State Univ., Manhattan, KS, USA*. Pp 63–66.
- Sharma, V., Rausch, K.D., Tumbleson, M.E. y Singh, V. 2007. Comparison between granular starch hydrolyzing enzyme and conventional enzymes for ethanol production from maize starch with different amylase: amylopectin ratios. *Starch/Starke* 59(11): 549–556.
- Shurson, G.C., Spiels, M y Whitney, M.H. 2004 “The use of maize distiller's dried grains with solubles in pig diets. *Pig News and Information* 25: 75–83.
- Shurson, G.C., Spiels, M., Whitney, M., Baidoo, S., Johnston, L., Shanks, B., Wulf, D., 2001. The value of distillers dried grains with solubles in swine diets. In: *Mn. Nutr. Conf. Mn. Corn Growers Assoc. Tech. Sympos., Bloomington, MN*.
- Shurson, J. y Alghamdi, A.S. 2008. Quality and new technology to produce corn co-products from ethanol production. In: Babcock BA, Hayes DJ y Lawrence JD (eds). *Using Distiller's Grains in the U. S. And International Livestock and Poultry*

- Industries. Midwest Agribusiness Trade Research and Information Center at the Center for Agricultural and Rural Development, Iowa State Univ., Ames, IA, USA. Pp. 231–259.
- Sotak-Peper, K.M., Gonzalez-Vega, J.C. y Stein, H.H. 2015. Concentrations of digestible, metabolizable, and net energy in soybean meal produced in different areas of the United States and fed to pigs. *J. Anim. Sci.* 93: 5694–5701.
- Spencer, J.D., Petersen, G.I., Gaines, A.M. y Augsburger, N.R. 2007. Evaluation of different strategies for supplementing distillers dried grains with solubles (DDGS) to nursery pig diets. *J. Anim. Sci.* 85(Suppl. 2): 96–97.
- Spiehs, M.J., Whitney, M.H. y Shurson, G.C. 2002. Nutrient database for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. *J. Anim. Sci.* 80(10): 2639–2645.
- Spragg, J. y Mailer, R. 2007. Canola meal value chain quality improvement. Final report prepared for AOF and Pork CRC. JCS Solutions Pty Ltd. Victoria, Australia. 31 pp.
- Stein, H.H. y Shurson, G.C. 2009. Board-invited review: The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *J. Anim. Sci.* 87: 1292–1303.
- Stein, H.H., Connot, S. y Pedersen, C. 2009. Energy and nutrient digestibility in four sources of distillers dried grains with solubles produced from corn grown within a narrow geographical area and fed to growing pigs. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 2: 1016–1025.
- Stein, H.H., Gibson, M.L., Pedersen, C. y Boersma, M.G. 2006. Amino acid and energy digestibility in ten samples of distillers dried grain with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 84: 853–860.
- Stein, H.H. 2007. Distillers dried grains with solubles (DDGS) in diets fed to swine. *Swine Focus* n° 01. 8 pp.
- Tanghe, S., De Boever, J., Ampe, B., De Brabander, D., De Campeneere, S. y Millet, S. 2015. Nutrient composition, digestibility and energy value of distillers dried grains with solubles and condensed distillers solubles fed to growing pigs and evaluation of prediction methods. *Anim. Feed Sci. Technol.* 210: 263–275.
- Tyner, W.E. y Taheripour, F. 2007. Renewable energy policy alternatives for the future. *Am. J. Agric. Econ.* 89: 1303–1310.

- Urriola, P.E., Li, M., Kerr, B.J. y Shurson, G.C. 2014. Evaluation of prediction equations to estimate gross, digestible, and metabolizable energy content of maize dried distiller's grains with solubles (DDGS) for swine based on chemical composition. *Anim. Feed Sci. Technol.* 198: 196–202.
- Urriola, P.E., Shurson, G.C. y Stein, H.H. 2010. Digestibility of dietary fiber in distiller's coproducts fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 88: 2373–2381.
- USDA, United States Department of Agriculture. 2018a. *Livestock and Poultry: World Markets and Trade – October, 2018.* 28 pp.
- USDA, United States Department of Agriculture. 2018b. *Biofuels Annual Report, Buenos Aires, Argentina – March, 2018.* 16 pp.
- Van Soest, P.J. 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. 2. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 46: 829–835.
- Weber, E.K., Stalder, K.J. y Patience, J.F. 2015. Wean-to-finish feeder space availability effects on nursery and finishing pig performance and total tract digestibility in a commercial setting when feeding dried distillers grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 93: 1905–1915.
- Weimer, D., Stevens, J., Schinckel, A., Latour, M. y Richert, B. 2008. Effects of feeding increasing levels of distillers dried grains with solubles to grow-finish pigs on growth performance and carcass quality. *J. Anim. Sci.* 86(Suppl. 2): 51.
- Whitney, M.H., Shurson, G.C., Johnson, L.J., Wulf, D.M., y Shanks, B.C. 2006. Growth performance and carcass characteristics of grower-finisher pigs fed high-quality corn distillers dried grain with solubles originating from a modern Midwestern ethanol plant. *J. Anim. Sci.* 84: 3356–3363.
- Widmer, M.R., McGinnis, L.M., Wulf, D.M. y Stein, H.H. 2008. Effects of feeding distillers dried grains with solubles, high-protein distillers dried grains, and corn germ to growing-finishing pigs on pig performance, carcass quality, and the palatability of pork. *J. Anim. Sci.* 86(8): 1819–1831.
- Widyaratne, G.P. y Zijlstra, R.T. 2007. Nutritional value of wheat and corn distiller's dried grain with solubles: Digestibility and digestible contents of energy, amino acids and phosphorus, nutrient excretion and growth performance of grower-finisher pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 87: 103–114.

- Winkler-Moser, J.K. y Breyer, L. 2011. Composition and oxidative stability of crude oil extracts of corn germ and distillers grains. *Ind. Crop Prod.* 33: 572–578.
- Xu, G., Baidoo, S.K., Johnston, L.J., Cannon, J.E. y Shurson, G.C. 2007. Effects of adding increasing levels of corn dried distillers grains with solubles (DDGS) to corn-soybean meal diets on growth performance and pork quality of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 85(Suppl. 2): 76.
- Xu, G., Baidoo, S.K., Johnston, L.J., Cannon, J.E. y Shurson, G.C. 2010. Effects of feeding diets containing increasing content of corn distillers dried grains with solubles to grower-finisher pigs on growth performance, carcass composition, and pork fat quality. *J. Anim. Sci.* 88: 1398–1410.
- Zeng, Z.K., Shurson, G.C. y Urriola, P.E. 2017. Prediction of the concentration of standardized ileal digestible amino acids and safety margins among sources of distillers dried grains with solubles for growing pigs: A meta-analysis approach. *Anim. Feed Sci. Technol.* 231: 150–159.
- Zijlstra, R.T. y Beltranena, E. 2013. Swine convert co-products from food and biofuel industries into animal protein for food. *Animal Frontiers* 3(2): 48–53.

ANEXO 1

Determinaciones analíticas en los ingredientes y dietas experimentales

1. Humedad

La determinación de humedad se realizó empleando el método 44-16.01 (AACC, 1995) Se pesaron 3 g de muestra completamente homogénea en cápsulas previamente secadas y taradas. Se colocó la muestra en una estufa modelo SL60S (SanJor – San Andrés, BA, Argentina) durante 24 h a 105 °C y luego se pasó a un desecador y se pesó cuando alcanzó temperatura ambiente. El cálculo se realizó por diferencia de peso.

2. Proteína bruta

Se utilizó el método 46-12.01 (AACC, 1995). Para la determinación, el método de Kjeldahl calcula la proteína bruta que es equivalente a la materia nitrogenada total mediante una digestión ácida (H₂SO₄), por lo tanto el nitrógeno presente es convertido a sal de amonio, que es destilado y transformado en amoníaco (digestión alcalina), que se destila y cuantifica por medio de una titulación indirecta del ácido sulfúrico que queda sin reaccionar. Para su determinación se pesaron 0,1 g de muestra que se colocaron en un tubo de digestor con 4 ml de H₂SO₄ concentrado y una mezcla reactiva de K₂SO₄, CuSO₄ y Se. Dicho tubo fue calentado en un block digestor (Biotec – Pergamino, BA, Argentina) a gas a 320 °C por 1 h y posteriormente fue puesto en una unidad de destilación (Biotec – Pergamino, BA, Argentina). El amoníaco fue capturado en una solución de ácido bórico al 2%, siendo titulado con H₂SO₄ 0,05 N. Se utilizó una solución indicadora de rojo de metilo-azul de metileno en etanol.

El porcentaje de nitrógeno se calculó por la siguiente fórmula:

$$\%N = \frac{(V1 - V2) * meqN * NormH_2SO_4}{M} * 100$$

Donde:

%N: porcentaje de nitrógeno;

V1: volumen en ml de H₂SO₄ gastados en la muestra;

V2: volumen en ml de H₂SO₄ gastados en el blanco;

meq N: miliequivalente de nitrógeno;

Norm H₂SO₄: normalidad de la solución de H₂SO₄ para la titulación;

M: masa de la muestra en gramos.

Los resultados se reportaron como porcentaje de proteína, usando el valor de 6,25 como factor de conversión de porcentaje de nitrógeno a porcentaje de proteínas.

3. *Extracto etéreo*

Para la determinación se utilizó el método AACC30-25.01. Con esta técnica se determina el extracto etéreo por medio de una extracción en forma directa con solventes orgánicos que en este caso fue hexano con un equipo de Twisselman.

El valor de extracto etéreo se determinó a través de la siguiente relación:

$$\% \text{grasa} = \frac{P - p}{M} * 100$$

Donde:

P: masa del matraz con grasa en gramos;

p: masa del matraz vacío en gramos;

M: masa de la muestra en gramos.

4. *Fibra cruda*

La fibra cruda (FC) se define como el residuo obtenido tras el tratamiento de los vegetales con ácidos y álcalis. Es decir, se refiere fundamentalmente a los elementos fibrosos de la pared de la célula vegetal, que en su mayor parte corresponden a celulosa, pectinas y lignina. Para la determinación se utilizó el método 32-10.01 (AACC 1995). La FC fue determinada por una digestión secuencial de la muestra con H₂SO₄ al 1,25% y luego con NaOH al 1,25%. El residuo insoluble se obtuvo por filtración, el cual fue secado y pesado.

Por lo tanto los cálculos respectivos son:

$$\%FC = \frac{M_{Placa} - tara}{M} * 100$$

Donde:

%FC: porcentaje de fibra cruda;

MPlaca: masa de la placa de filtración con el material retenido en gramos;

Tara: masa de la placa de filtración;

M: masa de la muestra en gramos.

5. Cenizas

Para la determinación de cenizas, se utilizó el método 08-01.01 (AACC; 1995). El procedimiento consistió en colocar un crisol a masa constante, en el cual se pesaron 2g de muestra; se colocó el crisol en una mufla Dalvo (Ojalvo S.A. – Santa Fe, SF, Argentina) modificada con un termostato digital para efectuar la calcinación completa a 550 °C por 5 hs, hasta obtener cenizas grises o blancas. Se dejó enfriar en la mufla y se transfirió al desecador para su completo enfriamiento, se determinó la diferencia de masa del crisol y se calculó el valor a través de la siguiente fórmula:

$$\%cenizas = \frac{(P - p)}{M} * 100$$

Donde:

P: masa del crisol con las cenizas en gramos;

p: masa del crisol vacío en gramos;

M: masa de la muestra en gramos.

6. Fibra detergente neutro

Se considera fibra detergente neutra (FDN), al residuo obtenido luego de la digestión del material en una solución detergente, predominantemente hemicelulosa, celulosa y lignina. Su determinación se realizó (con agregado de α -amilasa) a través del Método: Goering y Van Soest 1970, mediante Analizador de Fibra ^{200/220} ANKOM, según la siguiente ecuación:

$$\% \text{ FDN (base recepcionada)} = \frac{100 \times (W3 - (W1 \times C1))}{W2}$$

Donde:

W1 = Tara de la bolsa

W2 = Peso de la muestra

W3 = Peso seco de la bolsa con fibra luego del proceso de extracción

C1 = Corrección bolsa vacía (promedio del peso final seco en horno dividido por el peso original de la bolsa vacía)

7. Fibra detergente ácido

La fibra detergente ácida (FDA) se define como el residuo luego de la digestión de la muestra en ácido sulfúrico (H₂SO₄) y bromuro de hexadeciltrimetilamonio; se obtienen mayormente celulosa y lignina. La determinación se realizó por el método Van Soest 1963, mediante Analizador de Fibra ^{200/220} ANKOM determinada en forma secuencial, según la ecuación:

$$\% \text{ FDA (en base recepcionada)} = \frac{100 \times (W3 - (W1 \times C1))}{W2}$$

Donde:

W1 = Tara de la bolsa

W2 = Peso de la muestra

W3 = Peso seco de la bolsa con fibra luego del proceso de extracción

C1 = Corrección bolsa vacía (promedio del peso final seco en horno dividido por el peso original de la bolsa vacía)