

## Nutritional value and application of dried distillery grains with solubles from different sources in rabbit feeding

### Valor nutritivo y aplicación de los granos de destilerías secas con solubles de diferentes fuentes en la alimentación cunícola

Ysnagmy Vázquez<sup>1</sup>, H. Bernal<sup>2</sup>, M. Valdiviá<sup>1</sup>, E. Gutiérrez<sup>2</sup>, L. M. Mora<sup>3</sup> and C. A. Hernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México

<sup>3</sup>Instituto de Investigaciones Porcinas, Código Postal 19200, la Lisa, Ciudad de la Habana, Cuba

Email: ysnagmy@ica.co.cu

The objective of this study was to gather information related to nutritional composition of dried distillery grains with solubles from different sources (maize, sorghum, wheat and barley), as well as to summarize research that has been conducted with the use of this by-product in rabbits. It is also reported about the advantages and limitations of dried distillery grains with solubles for this species, with the knowledge that it is possible that digestive specificities of rabbits make that some of the nutritional losses observed in other monogastric animals are not so relevant for rabbits. Dried distillery grains with solubles constitute a good protein source, digestible energy, neutral detergent fiber and phosphorus, which makes them a favorable food ingredient to be used in rabbit feeding.

Key words: *feeding, rabbits, dried distillery grains with solubles, inclusion levels, nutritional value*

Se recopila la información relacionada con la composición nutritiva de los granos de destilería secas con solubles de diferentes fuentes (maíz, sorgo, trigo y cebada) y se realiza un resumen de las investigaciones que se han realizado con el uso de este subproducto en conejos. Se informa además, acerca de las ventajas y limitaciones de los granos de destilería secas con solubles para esta especie, con el conocimiento de que es posible que las particularidades digestivas del conejo hagan que algunas de las pérdidas nutritivas observadas en otros monogástricos no sean tan relevantes para los conejos. Los granos de destilería secas con solubles constituyen una buena fuente de proteína, energía digestible, fibra neutro detergente y fósforo, lo cual hace que sean un ingrediente alimenticio favorable para ser utilizados en la alimentación cunícola.

Palabras clave: *alimentación, conejos, granos de destilería secas con solubles, niveles de inclusión, valor nutritivo*

#### INTRODUCTION INTRODUCCION

Currently, the global energy crisis and the increase in the price of crude oil have led human beings to seek new means for obtaining alternative and less polluting energies that gradually replace oil as a non-renewable resource. With this purpose, biofuels emerged (Aristizabal 2016 and Jones and Mayfield 2016).

Biofuels represent the final product of the use of crops like sugar cane, maize, soy bean, sunflower, rapeseed and others. This technology, despite contributing to environmental decontamination, has brought a new source of volatility in the markets of basic agricultural products, affecting the food security of many countries, especially those that are importers of these foods (Romero 2013). This industry generates a large amount of byproducts, and dried distillery grains with solubles (DDGS) are among them, which availability, nutritional value and costs are an opportunity for animal feed.

DDGS are used in the feeding of all types of animals, whether they are ruminants or monogastric animals, mainly pigs and birds (Adedokun *et al.* 2015 and Wu *et al.* 2016). However, there is still limited

Actualmente, la crisis energética mundial y el aumento del precio del crudo han llevado al ser humano a buscar nuevas formas de obtención de energías alternativas y menos contaminantes que suplan paulatinamente al petróleo, como recurso no renovable. Con este propósito surgen los biocombustibles (Aristizabal 2016 y Jones y Mayfield 2016).

Los biocombustibles representan el producto final de la utilización de cultivos como la caña de azúcar, el maíz, la soja, el girasol, la colza y otros. Esta tecnología, a pesar que contribuye a la descontaminación ambiental, ha traído una nueva fuente de volatilidad en los mercados de productos agrícolas básicos, afectando la seguridad alimentaria de muchos países, especialmente los que son importadores de estos alimentos (Romero 2013). Esta industria genera una gran cantidad de subproductos, entre los que se encuentran los granos de destilería secas con solubles (DDGS, por sus siglas en inglés), cuya disponibilidad, valor nutricional y costos constituyen una oportunidad para la alimentación animal.

Los DDGS se emplean en la alimentación de todo tipo de animales, sean rumiantes como monogástricos, fundamentalmente cerdos y aves (Adedokun *et al.* 2015 y

knowledge about its use in rabbits, since rabbit breeding studies are scarce.

The objective of this review is to collect information related to the nutritional composition of DDGS from different sources (maize, sorghum, wheat and barley), as well as to summarize the research that has been carried out with the use of this byproduct in rabbits.

## **OBTAINING DDGS OBTENCIÓN DE LOS DDGS**

Ethanol can be produced from a cereal or from a combination of different cereals. The most commonly used are maize, in the United States, wheat in Canada, sorghum in certain American states (Kansas) and barley in northern European countries. In Spain, these four cereals have been used indistinctly during the last years. The name of the grain that is used in greater quantity is taken to denominate the resulting by-product. Maize distillery grains, for example, generated in ethanol production plants, receive this denomination because maize is the most used cereal (US Grains Council 2007).

The process of developing DDGS is relatively simple. Grains are milled, moistened and cooked under pressure to gelatinize the starch (occurs between 50 and 70 °C) and significantly reduce the microbial population of the mixture.

For the complete hydrolysis of the starch polymer, a combination of thermostable amylases, such as  $\alpha$  amylase and glucoamylase, is added. Then yeast (*Sacharomyces cerevisiae*) is included to convert sugars into alcohol (ethanol). Approximately, after 40-72 h of fermentation, ethanol is distilled and the residual mixture is separated into light distillate and coarse solids. Maize oil is extracted from the light distillate and water is removed by centrifugation to produce condensed distillers solubles (CDS). Finally, 75 to 100 % of the CDS are mixed with the fraction of humid grains and dried using rotary dryers to produce DDGS (Rosentrater *et al.* 2012).

Among the by-products of dry-mill ethanol plants, dried distillery grains (DDGS), distillery dried solubles (DDS) and dried distillers' grains with solubles or DDGS are included.

## **GLOBAL PRODUCTION OF DDGS PRODUCCIÓN MUNDIAL DE DDGS**

The United States is the world's largest producer of ethanol and, consequently, of DDGS. Its productions have increased in recent years from 2.7 million tons in 2000 to 40 million tons in 2015, with forecasts for 2018 of 44 million (Jensen *et al.* 2013). For the same year, globally, a production of approximately 57 million tons of DDGS is projected (table 1) (Jensen *et al.* 2013).

Wu *et al.* 2016). No obstante, existe aún un conocimiento limitado acerca de su utilización en conejos, puesto que los estudios en cunicultura son escasos.

El objetivo de esta reseña es recopilar información relacionada con la composición nutritiva de los DDGS de diferentes fuentes (maíz, sorgo, trigo y cebada), así como hacer un resumen de las investigaciones que se han realizado con el uso de este subproducto en conejos.

El etanol se puede producir a partir de un cereal o de una combinación de diferentes cereales. Los más utilizados son el maíz, en los Estados Unidos, el trigo en Canadá, el sorgo en ciertos estados americanos (Kansas) y la cebada en los países del norte de Europa. En España, durante los últimos años se han utilizado indistintamente estos cuatro cereales. El nombre del grano que se emplea en mayor cuantía se toma para denominar el subproducto resultante. Los granos de destilería de maíz, por ejemplo, generados en las plantas de producción de etanol, reciben esta denominación porque es el maíz el cereal usado en mayor proporción (US Grains Council 2007).

El proceso de elaboración de los DDGS es relativamente simple. Los granos se muelen, se humedecen y se cocinan bajo presión para gelatinizar el almidón (ocurre entre los 50 y 70 °C) y reducir significativamente la población microbiana de la mezcla.

Para la completa hidrólisis del polímero de almidón se añade una combinación de amilasas termoestables, como son la  $\alpha$  amilasa y la glucoamilasa. Luego se añade levadura (*Sacharomyces cerevisiae*) para convertir los azúcares en alcohol (etanol). Aproximadamente, después de 40-72 h de fermentación, se destila el etanol y la mezcla residual se separa en destilado ligero y sólidos gruesos. El aceite de maíz se extrae del destilado ligero y el agua se elimina por centrifugación para producir solubles de destilerías condensados (CDS). Finalmente, del 75 a 100 % de los CDS se mezclan con la fracción de los granos húmedos y se secan utilizando secadores rotativos para producir DDGS (Rosentrater *et al.* 2012).

Entre los subproductos de las plantas de etanol de molienda en seco, se incluyen los granos de destilería secos (DDGS), solubles secos de destilería (DDS) y granos de destilería secos con solubles o DDGS.

Estados Unidos, es el mayor productor mundial de etanol y por consiguiente, de DDGS. Sus producciones han aumentado en los últimos años de 2.7 millones de toneladas en el 2000 a 40 millones de toneladas en 2015, con pronósticos para el 2018 de 44 millones (Jensen *et al.* 2013). Para este mismo año, a nivel global, se proyecta una producción de aproximadamente 57 millones de toneladas de DDGS (tabla 1) (Jensen *et al.* 2013).

Table 1. Projection of world production of DDGS for 2018

Country or region	DDGS (millions of t)
United States	44
European Union	9
China and the rest of the world	2.5
Canada	1

Table 2. Main species consuming DDGS in the USA (%)

Milking cattle	Meat cattle	Pigs	Poultry	Sources
45	35	11	5	Martínez (2006)
14	66	12	8	FAO (2014)

Regarding the use in animal production, the largest consumers of DDGS in the United States are ruminants, with an intake of 80 % of the total DDGS produced, followed by pigs that already reach 12 %, while poultry industry uses around 8 % (table 2). There is little evidence of significant amounts being used in aquaculture.

En cuanto al uso en la producción animal, los mayores consumidores de DDGS en Estados Unidos son los rumiantes, con un consumo del 80 % del total de los DDGS producidos, seguidamente los porcinos que ya alcanzan el 12 %, mientras que la industria avícola consume alrededor del 8 % (tabla 2). Hay poca evidencia de cantidades significativas siendo utilizadas en la acuicultura.

### CHEMICAL COMPOSITION OF DDGS OF DIFFERENT GRAINS COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS DDGS DE DIFERENTES GRANOS

Processing conditions before grain fermentation for the production of ethanol may affect, to a large extent, the quantity, quality and nutritional composition of the different by-products. Likewise, due to the variation of nutrient composition of the grains that are used to produce ethanol varies, the nutrient composition of resulting distillery grains also changes. Table 3 shows the composition of nutrients (under dry basis) of DDGS from different sources.

In general, DDGS from different sources have a high content of crude protein (28.2-37.3 %), which is related to starch extraction during fermentation, by tripling the proportion of protein and other nutrients (de Blas and Mateos 2010). DDGS of wheat show the highest value. In relation to sulfur amino acids, methionine and cystine have a high contribution, which allows achieving a good balance of these nutrients. As for lysine, grains of barley, maize, wheat and sorghum have low content (from 2.7 to 3.6 % of PB) (FEDNA 2012). Therefore, protein levels of their DDGS are also low in lysine (from 0.91 to 3.0 % PB).

Total ash content is among the permissible values and varies from 4.5- 5.9 %. The high phosphorus content is highlighted, higher in wheat DDGS, which is associated with the normal variation of phosphorus in the grain (Widyaratne and Zijlstra 2007). According to Pedersen *et al.* (2007), total digestibility of phosphorus in DDGS is 59 %, while the available phosphorus reaches values between 62 and 100 %.

This improvement in the availability of P is attributed

Las condiciones de procesado previas a la fermentación del grano para la producción de etanol pueden afectar, en gran medida, la cantidad, calidad y composición nutricional de los diferentes subproductos. Igualmente, debido a que varía la composición de nutrientes de los granos que se usan para producir etanol, también se modifica la composición de los nutrientes de los granos de destilería resultantes. En la tabla 3 se presenta la composición de nutrientes (en base seca) de DDGS de diferentes fuentes.

En general, los DDGS de las diferentes fuentes tienen alto contenido de proteína bruta (28.2 – 37.3 %), que está relacionado con la extracción del almidón durante la fermentación, al triplicarse la proporción de proteína y otros nutrientes (de Blas y Mateos 2010). Los DDGS de trigo son los que muestran el mayor valor. En relación con los aminoácidos azufrados, metionina y cistina, su aporte es alto, lo que permite lograr un buen balance de dichos nutrientes. En cuanto a la lisina, los granos de cebada, maíz, trigo y sorgo tienen bajo contenido (de 2.7 a 3.6 % de la PB) (FEDNA 2012). Por consiguiente, los niveles de proteína de sus DDGS también son bajos en lisina (de 0.91 a 3.0 % PB).

El contenido de cenizas totales se encuentra entre los valores permisibles y varía de 4.5- 5.9 %. Se destaca el alto contenido de fósforo, que es mayor en los DDGS de trigo, lo que se asocia a la variación normal de fósforo en el grano (Widyaratne y Zijlstra 2007). Según Pedersen *et al.* (2007), la digestibilidad total del fósforo en los DDGS es de 59 %, mientras que el fósforo disponible alcanza valores entre 62 y 100 %.

Este mejoramiento de la disponibilidad del P se

Table 3. Nutritional composition (under dry basis) of DDGS from different sources

Nutrient (% DM)	DDGS			
	Sorghum	Maize	Wheat	Barley
Dry Matter (DM)	89.9	89.0	90.6	91.3
Crude Protein (CP)	33.5	29.5	37.3	28.2
Gross Fat (GF)	8.0	10.1	5.0	7.5
Crude Fiber	8.1	7.9	7.7	13.8
Neutral Detergent Fiber (NDF)	38.5	34.2	34.0	60.1
Acid Detergent Fiber (ADF)	19.8	13.6	14.5	23.8
Hemicelluloses	No found data	25.74	21.26	27.25
Neutral Detergent Soluble Fiber (NDSF)	No found data	21.73	20.26	20.98
Total ashes	4.5	5.4	5.9	5.4
Ca	0.8	1.6	2.1	2.0
Phosphorous	0.48	0.86	1.10	0.49
Digestible Energy in rabbits (DE), MJ kg DM <sup>-1</sup>	12.55	15.8	15.6	11.30
Amino acids, % of protein				
Alanine	8.9	7.1	3.8	4.4
Arginine	4.3	4.3	4.0	5.1
Cysteine	3.4	2.0	1.9	1.6
Histidine	2.5	2.7	2.1	2.0
Isoleucine	4.3	3.8	3.5	3.7
Leucine	13.2	11.6	6.6	7.5
Lysine	2.8	3.0	2.3	2.5
Methionine	1.8	2.0	1.5	1.4
Phenylalanine	5.1	4.8	4.5	4.8
Threonine	3.6	3.7	3.0	3.6
Tryptophan	0.8	0.8	1.0	1.27
Tyrosine	No found data	3.1	2.9	3.0
Valine	5.5	5.1	4.3	5.3

Sources: Stein *et al.* (2006), Widyaratne y Zijlstra (2007), Depenbusch *et al.* (2009), Avelar *et al.* (2010), Cozannet *et al.* (2010), Martínez (2011), Alagón (2012), FEDNA (2012), Alagón (2013) and Abdelqader and Oba (2013).

to the extracellular phytases that release yeasts during the fermentation process and that hydrolyze the phytic acid (Morales and Valdivié 2011). All this represents a nutritional advantage for rabbits, which allows to reduce the use of inorganic phosphorus, when using DDGS in diets.

Regarding digestible energy, DDGS of barley and sorghum are less energetic than DDGS of maize and wheat. Their values range from 11.30 - 15.8 MJ kg DM<sup>-1</sup> and are in the recommended range for rabbits, according to Machado *et al.* (2011). These figures depend, to a large extent, on the amount of solubles added and the lipid content, so their determination is basic when included in diets for monogastric animals (Martínez 2011).

With respect to fiber, contents of NDF, ADF and hemicelluloses ranged from 34.0-60.1 %; 13.6-23.8 % and from 21.26-27.25 %, respectively. All were superior in the DDGS of barley regarding DDGS of maize and wheat, which also corresponds to the fiber composition of these cereals (de Blas *et al.* 2010). Also, DDGS of different sources showed high

atribuye a las fitasas extracelulares que liberan las levaduras durante el proceso de fermentación y que hidrolizan el ácido fítico (Morales y Valdivié 2011). Todo esto representa una ventaja nutricional para los conejos, lo que permite reducir el uso de fósforo inorgánico, cuando se utilizan DDGS en las dietas.

En cuanto a la energía digestible, los DDGS de cebada y sorgo son menos energéticos que los DDGS de maíz y trigo. Sus valores oscilan de 11.30 – 15.8 MJ kg MS<sup>-1</sup> y se hallan en el rango recomendado para conejos, según Machado *et al.* (2011). Estas cifras dependen, en gran medida, de la cantidad de solubles que se añadan y del contenido de lípidos, por lo que su determinación es básica al incluirlos en las dietas para animales monogástricos (Martínez 2011).

Con respecto a la fibra, los contenidos de FDN, FDA y hemicelulosas oscilaron de 34.0 - 60.1 %; 13.6 – 23.8 % y de 21.26 – 27.25 %, respectivamente. Todos fueron superiores en los DDGS de cebada con respecto a los DDGS de maíz y trigo, lo que también se corresponde con la composición en fibras de estos cereales (de Blas *et al.* 2010). También los DDGS de las diferentes fuentes

values of soluble fiber in neutral detergent (NDSF), from 20.26 - 21.73 %. This component is of great interest, since it is attributed functional properties in the intestinal health of weaned rabbits (Alagón 2012).

This review do not show values of the composition of vitamins of DDGS. It is known that DDGS, like almost all foods generated in fermentation processes, where yeasts participate, are rich in water-soluble vitamins. This is due to the fact that live yeasts, during the fermentation process, release their enzymes and B complex vitamins in the substrate (Morales and Valdivié 2011), which contributes to the richness of water-soluble vitamins in DDGS.

mostraron altos valores de fibra soluble en detergente neutro (FSDN), de 20.26 – 21.73 %. Este componente es de gran interés, ya que se le atribuyen propiedades funcionales en la salud intestinal de conejos destetados (Alagón 2012).

En esta reseña no se muestran valores de la composición en vitaminas de los DDGS. Se conoce que los DDGS, como casi todos los alimentos generados en procesos de fermentación donde participan las levaduras, son ricos en vitaminas solubles en agua. Esto se debe a que las levaduras vivas durante el proceso de fermentación liberan sus enzimas y vitaminas del complejo B en el sustrato (Morales y Valdivié 2011), lo que contribuye a la riqueza de vitaminas hidrosolubles en los DDGS.

## **USE OF DRIED DISTILLERS GRAINS WITH SOLUBLE IN RABBIT FEED UTILIZACIÓN DE LOS GRANOS DE DESTILERÍA SECOS CON SOLUBLES EN LA ALIMENTACIÓN DE CONEJOS**

Very little research has been carried out to evaluate the nutritional value of DDGS in rabbits. Studies have been carried out on growth-fattening rabbits on the chemical characterization of DDGS from different sources (Alagón 2012), productive performance (Vázquez *et al.* 2011 and Chelminska and Kowalska 2013), digestive and physiological studies (Villamide *et al.* 1989, Petkova *et al.* 2011, Alagón *et al.* 2012 and Vázquez *et al.* 2016), as well as carcass yield (Vázquez 2014 and Alagón *et al.* 2015). Trials have also been aimed at the study of the partial or total substitution of ingredients of the diet for DDGS (Bernal *et al.* 2010 and Soliman *et al.* 2010) and the analysis of the combination of this by-product with different enzymes (Liñán 2012 and Khattab *et al.* 2014).

Muy pocas investigaciones se han llevado a cabo para evaluar el valor nutritivo de los DDGS en conejos. Se han realizado estudios en conejos en crecimiento-ceba sobre caracterización química de DDGS de diferentes fuentes (Alagón 2012), comportamiento productivo (Vázquez *et al.* 2011 y Chelminska y Kowalska 2013), estudios digestivos y fisiológicos (Villamide *et al.* 1989 y Petkova *et al.* 2011, Alagón *et al.* 2012 y Vázquez *et al.* 2016) así como, rendimiento en canal (Vázquez 2014 y Alagón *et al.* 2015). Los ensayos también han estado dirigidos al estudio del reemplazo parcial o total de ingredientes de la dieta por DDGS (Bernal *et al.* 2010 y Soliman *et al.* 2010) y al análisis de la combinación de este subproducto con diferentes enzimas (Liñán 2012 y Khattab *et al.* 2014).

### **A) STUDIES ON CHEMICAL CHARACTERIZATION A) ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN QUÍMICA.**

Alagón (2012) conducted a study of chemical characterization and determination of the nutritional value of DDGS from barley, maize and wheat in growing rabbits. DDGS of wheat and maize obtained higher CP contents (35.32 and 30.31 % DM, respectively) while those of maize were richer in crude fat (14.13 % DM) and those of barley had the highest content of NDF (40.10 % DM) and ADF (12.85 % DM). Regarding NDSF, contents were considerably high (21 % DM on average) and did not differ among the different types of DDGS.

Saturated fatty acids (SFA) were found in greater proportion in the DDGS of barley and wheat, while the latter had, in addition, higher concentration of polyunsaturated (PUFA), and those of maize with more monounsaturated (MUFA). Digestibilities of dry matter (DM), organic matter (OM) and gross energy (GE) increased with the inclusion of DDGS of maize (59.65, 59.98 and 60.62 %) and wheat (60.03, 60.47

Alagón (2012) realizó un estudio de caracterización química y determinación del valor nutricional de los DDGS de cebada, maíz y trigo en conejos en crecimiento. Los DDGS de trigo y maíz obtuvieron mayores contenidos de PB (35.32 y 30.31 % MS, respectivamente) mientras que los de maíz fueron más ricos en grasa bruta (14.13 % MS) y los de cebada tuvieron mayor contenido en FDN (40.10 % MS) y FDA (12.85 % MS). En cuanto a FSDN, los contenidos fueron considerablemente altos (como promedio 21 % MS) y no difirieron entre los diferentes tipos de DDGS. Los ácidos grasos saturados (SFA) se encontraron en mayor proporción en los DDGS de cebada y trigo, mientras que estos últimos presentaron además, mayor concentración de poliinsaturados (PUFA), y los de maíz de monoinsaturados (MUFA). Las digestibilidades de materia seca (MS), materia orgánica (MO) y energía bruta (EB) aumentaron con la incorporación de los DDGS de maíz (59.65, 59.98 y 60.62 %) y trigo (60.03, 60.47 y 60.87 %), mientras que

and 60.87%), while the inclusion of DDGS of barley only increased the digestibility of the FDA (13.38%). CP digestibility was not affected by the inclusion of DDGS. Values of amino acid digestibility for lysine, threonine and methionine were higher in feeds with DDGS of maize (0.94, 0.83 and 0.34%) and wheat (0.97, 83 and 0.33%), with respect to those that included DDGS of barley (0.87, 0.72 and 0.32%). In this study of Alagón (2012), values of 11.9, 14.7 and 15.7 MJ of DE/kg DM were obtained, and of 168, 221 and 263 g of DP/kg of DM (digestible protein per kg of DM) for DDGS of barley, maize and wheat, respectively.

This study indicates that, for rabbits, DDGS may be considered good protein sources, especially those of wheat and maize. Likewise, due to the high content of NDF and NDSF, as well as due to the increase in their digestibility, DDGS may also be evaluated as fiber sources, which is an aspect that is of interest, since functional properties in the intestinal health of rabbits are attributed.

## **B) STUDIES ON PRODUCTIVE PERFORMANCE B) ESTUDIOS DE COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO**

Vázquez *et al.* (2011) conducted a study to determine the effect of adding 0, 10 or 20 % of DDGS in the productive performance of growing rabbits. These authors found no differences on studied variabilities (initial and final weight, daily gain, food intake and food conversion).

Amani *et al.* (2012) led an essay to evaluate the nutritional value and the effect of inclusion of 0, 10, 20 or 30 % of DDGS in the feeding of growing rabbits, weaned at 42 d old. In these results, rabbits fed 10, 20 and 30 % of DDGS reduced food intake in 6.0, 6.6 y 7.2 % respectively, compared to rabbits fed control diet. Final weight and daily mean gain did not differ among treatments. Food conversion was significantly better for rabbits fed 30 % of DDGS (1.89), compared to those fed 0 % and 20 % of DDGS (1.97 y 1.94) and to control group (2.09). These results show that rabbits that ingested 30 % of DDGS needed less amount of food per kilogram of weight gain. The authors suggested this inclusion level on the diet of growing rabbits because they did not find differences in the final weight of animals.

In another study by Vázquez *et al.* (2013), the effect of including 0, 10, 20 or 30 % of DDGS in diets of sorghum-soybean meal for fattening rabbits was determined. These authors used 56 rabbits, 40 d of age and average liveweight of 752 g. As a result, they found no differences in animal weight or feed intake. Rabbits that ingested 20% of DDGS achieved the highest liveweight gain, without significantly differing from those fed diets with inclusion levels of 0 and 10 %, and those fed with 30% of DDGS.

la incorporación de los DDGS de cebada solo aumentó la digestibilidad de la FDA (13.38 %). La digestibilidad de la PB no se afectó por la incorporación de los DDGS. Los valores de digestibilidad de aminoácidos para la lisina, treonina y metionina fueron más altos en los piensos con DDGS de maíz (0.94, 0.83 y 0.34 %) y trigo (0.97, 83 y 0.33 %), con respecto a los que incluían DDGS de cebada (0.87, 0.72 y 0.32 %). En este trabajo de Alagón (2012) se obtuvieron valores de 11.9, 14.7 y 15.7 MJ de ED/kg MS y de 168, 221 y 263 g de PD/kg MS (proteína digestible por kg de MS) para los DDGS de cebada, maíz y trigo, respectivamente.

Este estudio indica que para conejos los DDGS se pueden considerar buenas fuentes de proteína, en especial los de trigo y maíz. Igualmente, por el elevado contenido en FDN y FSDN, así como por el aumento de su digestibilidad, los DDGS también pueden ser valorados como fuentes fibrosas, aspecto que es de interés, pues se les atribuyen propiedades funcionales en la salud intestinal de los conejos.

Vázquez *et al.* (2011) realizaron un estudio para determinar el efecto de añadir 0, 10 o 20 % de DDGS en el comportamiento productivo de conejos en crecimiento. Estos autores no encontraron diferencias en las variables estudiadas (peso inicial y final, ganancia diaria, consumo alimento y conversión alimentaria).

Amani *et al.* (2012) condujeron un ensayo para evaluar el valor nutritivo y el efecto de la inclusión de 0, 10, 20 o 30 % de DDGS en la alimentación de conejos en crecimiento, destetados a los 42 d de edad. En los resultados, los conejos alimentados con 10, 20 y 30 % de DDGS redujeron el consumo de alimento en 6.0, 6.6 y 7.2 % respectivamente, en comparación con los conejos alimentados con la dieta control. El peso final y la ganancia media diaria no difirieron entre tratamientos. La conversión alimentaria fue significativamente mejor para los conejos alimentados con 30 % de DDGS (1.89) en comparación con los alimentados con 0 % y 20 % de DDGS (1.97 y 1.94) y con el grupo control (2.09). Estos resultados expresan que los conejos que ingirieron 30% de DDGS necesitaron menor cantidad de alimento por kilogramo de ganancia de peso. Por no encontrar diferencias en el peso final de los animales, los autores sugirieron este nivel de inclusión en la dieta de conejos en crecimiento.

En otro estudio de Vázquez *et al.* (2013) se determinó el efecto de incluir 0, 10, 20 ó 30 % de DDGS en dietas de sorgo-harina de soya para conejos en ceba. Estos autores utilizaron 56 conejos de 40 d de edad y peso vivo promedio de 752 g. Como resultado, no encontraron diferencias en el peso de los animales ni en el consumo de alimento. Los conejos que ingirieron 20 % de DDGS lograron mayor ganancia de peso vivo, sin diferir

Feed conversion was significantly lower in animals that ingested 10 % of DDGS, which only differed from those who ingested 30 % of DDGS. With these results, cited authors recommended the inclusion of DDGS only up to 20 %.

Chelminska and Kowalska (2013) observed a decrease in body weight, food intake and weight gain in rabbits fed 10% of inclusion of DDGS on the diet, compared to those who received the control diet and 5 % of DDGS. Food conversion also showed differences, and was lower in the group fed 10 % of DDGS. In correspondence with these results, studies on meat quality and yield showed lower carcass yield in rabbits that ingested 10 % of DDGS, so the authors suggested the inclusion of up to 5 % of DDGS in the diet of growing rabbits.

Rohloff Junior (2015) evaluated the effect of including 0, 6, 12, 18 and 24 % of DDGS in the productive performance of growing rabbits. By including 24 % of the by-product, animals showed no difference in liveweight or weight gain. However, as the level of DDGS increased, food consumption and food conversion decreased.

Although these researches were carried out in different environments and conditions, results indicate that it is possible to include up to 30 % of DDGS in diets of growing rabbits.

significativamente de los alimentados con dietas con niveles de inclusión de 0 y 10 %, y sí de los alimentados con 30 % de DDGS. La conversión alimentaria fue significativamente menor en los animales que ingirieron 10 % de DDGS, que solo difirió de los que ingirieron 30 % de DDGS. Con estos resultados, los autores citados recomendaron la inclusión de DDGS solo hasta 20 %.

Chelminska y Kowalska (2013) observaron disminución en el peso corporal, consumo de alimentos y ganancia de peso en conejos alimentados con 10 % de inclusión de DDGS en la dieta, en comparación con los que recibieron la dieta control y con 5 % de DDGS. La conversión alimentaria también mostró diferencias, y fue menor en el grupo alimentado con 10 % de DDGS. En correspondencia con estos resultados, los estudios del rendimiento y calidad de la carne evidenciaron menor rendimiento de la canal en los conejos que ingirieron 10 % de DDGS, por lo que los autores sugirieron incluir hasta 5 % de DDGS en la dieta de conejos en crecimiento.

Rohloff Junior (2015) evaluó el efecto de incluir 0, 6, 12, 18 y 24 % de DDGS en el comportamiento productivo de conejos en crecimiento. Al incluir 24 % del subproducto, los animales no mostraron diferencias en el peso vivo ni en las ganancias de peso. Sin embargo, en la medida que se incrementó el nivel de DDGS disminuyó el consumo de alimento y la conversión alimentaria.

A pesar que estas investigaciones se desarrollaron en ambientes y condiciones diferentes, los resultados indican que es posible la inclusión de hasta 30 % de DDGS en las dietas de conejos en crecimiento.

### C) DIGESTIVE AND PHYSIOLOGICAL STUDIES C) ESTUDIOS DIGESTIVOS Y FISIOLÓGICOS

Regarding these studies, Villamide *et al.* (1989), in Spain, compared nutrient digestibility of wheat bran, maize gluten meal and DDGS in hybrid New Zealand x California rabbits. Basal diet contained a low amount of energy (8.37 MJ/kg of dry matter) and a high protein energy relation (25 Kcal of DE/g of digestible protein). Although fiber content of the diet was similar, the energy digestibility and the ADF was higher for rabbits fed DDGS diet (74.0 % and 58.3 %, respectively) compared to rabbits receiving diets containing wheat bran (59.4 % and 9.6%, respectively) and maize gluten meal (65.0 % and 27.7%, respectively).

In addition, rabbits fed DDGS diet had the highest level of protein digestibility (70.1 %) compared to those who received wheat bran (66.6 %) and maize gluten meal (61.4%). These results indicate that DDGS is a suitable ingredient for rabbit diets, providing more energy, ADF and digestible protein than wheat bran and maize gluten meal.

Petkova *et al.* (2011) evaluated the effect of three fiber sources on biochemical and physiological changes of growing rabbits. These authors used a control treatment, with 30 % of alfalfa hay, a second treatment

En cuanto a estos estudios, Villamide *et al.* (1989) en España compararon la digestibilidad de nutrientes del salvado de trigo, la harina de gluten de maíz y los DDGS en conejos híbridos Nueva Zelanda x California. La dieta basal contenía una cantidad baja de energía (8.37 MJ/kg de materia seca) y una relación alta de energía proteína (25 Kcal de ED/g de proteína digestible). Aunque el contenido de fibra de la dieta fue similar, la digestibilidad de la energía y la FDA fue mayor para los conejos alimentados con la dieta de DDGS (74.0 % y 58.3 %, respectivamente) en comparación con los conejos que recibieron dietas que contenían salvado de trigo (59.4 % y 9.6 %, respectivamente) y harina de gluten de maíz (65.0 % y 27.7 %, respectivamente). Además, los conejos alimentados con la dieta de DDGS tuvieron el nivel más alto de digestibilidad de proteína (70.1 %) en comparación con los que recibieron el salvado de trigo (66.6 %) y la harina de gluten de maíz (61.4 %). Estos resultados indican que los DDGS son un ingrediente apto para las dietas de conejos, al proporcionar más energía, FDA y proteína digestibles que el salvado de trigo y la harina de gluten de maíz.

Petkova *et al.* (2011) evaluaron el efecto de tres fuentes de fibra en los cambios bioquímicos y

with 10 % of DDGS of wheat plus 20 % of hay and a third treatment with 15 % DDGS of wheat plus 15 % of wheat straw. Results showed that there was no incidence of digestive disorders in experimental groups.

Alagón *et al.* (2012) performed a digestibility test with 72 rabbits kept in different environmental temperature conditions to determine coefficients of nutrient digestibility and digestible energy (DE) content, digestible protein (DP) of DDGS and beet pulp. Treatments consisted of a control diet and the substitution of 20% of this diet for DDGS or beet pulp. These authors reported that environmental conditions affected all apparent digestibility coefficients. Animals subjected to heat stress showed significantly lower daily food intake, as well as an increase in apparent digestibility coefficients of the main nutrients (DM, CP, GE, NDF and ADF) in comparison with those that stayed under normal conditions and received the diet independently. Values of digestible energy were less affected by environment, being the DE of 11.6 and 11.7 MJ/kg of DM for DDGS and of 15.0 and 14.2 MJ/kg of DM of beet pulp under heat stress conditions and under normal temperature conditions, respectively.

Mohamed *et al.* (2013) used maize-soybean diets with 0, 10, 20, 30 or 40 % of DDGS to evaluate nutrient digestibility and productive response of growing rabbits. DDGS were replaced by maize and soybean to maintain constant levels of total lysine (0.35 %). There was no influence of these DDGS levels on weight, gain, intake or feed conversion.

Strychalski *et al.* (2014) evaluated the use of DDGS of wheat and rapeseed cake and its effect on the physiological changes of the gastrointestinal tract of rabbits. They used four diets: a control group with 5 % of soybean meal, 5 % of rapeseed cake, 5 % of DDGS of wheat and one last treatment with 2.5 % rapeseed cake plus 2.5 % of DDGS of wheat. They did not find differences in the performance of animals. Nutrient digestibility and energy and nitrogen retention were higher in the control group than in rabbits receiving DDGS. In turn, these animals were the ones with the highest weight of the small intestine. The activity of bacterial enzymes of the cecum was similar in all groups. The enzymatic activity of the colon microbiota of rabbits that ingested 2.5 % of rapeseed cake plus 2.5 % of DDGS of wheat had higher effect in the use of the nutrients of the diet regarding those that received 5 % of DDGS of wheat. Results indicated that soybean meal in rabbit diets can be replaced by 5% rapeseed cake and by 2.5 % rapeseed cake, plus 2.5 % of DDGS of wheat.

Rohloff Junior (2015) also evaluated the effect of including 0 and 30 % of DDGS of maize on nutrient digestibility of growing rabbits. This author found high digestibility, in particular for protein (74.10 %) and lipids (81.51 %), as well as high content

fisiológicos de conejos en crecimiento. Utilizaron un tratamiento control, con 30 % de heno de alfalfa; un segundo tratamiento con 10 % de DDGS de trigo más 20 % de heno y un tercer tratamiento, con 15 % de DDGS de trigo más 15 % de paja de trigo. Los resultados obtenidos mostraron que no hubo incidencia de trastornos digestivos en los grupos experimentales.

Alagón *et al.* (2012) realizaron un ensayo de digestibilidad con 72 conejos alojados en diferentes condiciones ambientales de temperatura para determinar los coeficientes de digestibilidad de nutrientes y el contenido de energía digestible (ED) y proteína digestible (PD) de los DDGS y pulpa de remolacha. Los tratamientos consistieron en una dieta control y en la sustitución de 20 % de esta dieta por DDGS o pulpa de remolacha. Estos autores informaron que las condiciones ambientales afectaron a todos los coeficientes de digestibilidad aparente. Los animales sometidos a estrés por calor mostraron consumo diario de alimentos significativamente menor, así como aumento de los coeficientes de digestibilidad aparente de los principales nutrientes (MS, PC, EB, FDN, FDA) en comparación con los que se alojaron en condiciones normales y recibieron la dieta de forma independiente. Los valores de energía digestible se afectaron menos por el entorno climático, siendo la ED de 11.6 y 11.7 MJ/kg de MS para los DDGS y de 15.0 y 14.2 MJ/kg de MS de pulpa de remolacha en las condiciones de estrés por calor y en condiciones normales de temperatura, respectivamente.

Mohamed *et al.* (2013) utilizaron dietas de maíz-soya con 0, 10, 20, 30 o 40 % de DDGS para evaluar la digestibilidad de nutrientes y la respuesta productiva de conejos en crecimiento. Los DDGS se sustituyeron por maíz y soya para mantener niveles constantes de lisina total (0.35 %). No obtuvieron influencias de estos niveles de DDGS en el peso, ganancia, consumo ni conversión alimentaria.

Strychalski *et al.* (2014) evaluaron el uso de los DDGS de trigo y torta de colza y su efecto en los cambios fisiológicos del tracto gastrointestinal de conejos. Utilizaron cuatro dietas: un grupo control con 5 % de harina de soya, 5 % de torta de colza, 5 % de DDGS de trigo y un último tratamiento con 2.5 % de torta de colza más 2.5 % de DDGS de trigo. No encontraron diferencias en el comportamiento de los animales. La digestibilidad de nutrientes y la retención de nitrógeno y energía fueron más altas en el grupo control que en los conejos que recibieron DDGS. A su vez, estos animales fueron los que presentaron mayor peso del intestino delgado. La actividad de enzimas bacterianas del ciego fue similar en todos los grupos. La actividad enzimática de la microbiota del colon de los conejos que ingirieron 2.5 % de torta de colza más 2.5 % de DDGS de trigo tuvo mayor efecto en la utilización de los nutrientes de la dieta con respecto a los que se les suministró 5 % de DDGS de trigo. Los resultados indicaron que la harina de soya en las dietas de los conejos se puede reemplazar por 5 % de torta de colza y por 2.5 % de torta de colza, más 2.5 % de DDGS de trigo.



of digestible protein (21.85 %) and digestible energy (2.979 kcal/kg).

Recently, Vázquez *et al.* (2016) determined the morphometry of the gastrointestinal tract (GIT) and internal organs in growing rabbits, by including 0, 10, 20 and 30 % of DDGS of maize in the diet. With 30 % of DDGS, these authors obtained the highest weights of full and empty stomach, absolute (93.75 and 33.75 g) as relative (4.54 and 1.58 g) and metabolic (0.31 and 0.11 g g<sup>0.75</sup><sup>-1</sup>). These authors also showed a decrease in the absolute weight of liver with the inclusion of 30 % of this by-product, but these differences disappeared when the metabolic weights were analyzed.

These researches suggest that the use of 20 % of DDGS increases nutrient digestibility of the diet, mainly of CP, ADF, NDF and energy, while the inclusion of up to 30 % of this byproduct does not cause morphometric disorders of the gastrointestinal tract and internal organs of growing rabbits.

DDGS contain oligosaccharides from mannan, from the walls of yeast, which have the potential to improve immunity. Results obtained by these authors can be attributed to the beneficial effect of the oligosaccharides, favoring the development of intestinal villi and improving liveweight gain and absorption efficiency and use of nutrients (Morales 2007).

Rohloff Junior (2015) también evaluó el efecto de incluir 0 y 30 % de DDGS de maíz en la digestibilidad de nutrientes de conejos en crecimiento. Encontró elevada digestibilidad, en particular para la proteína (74.10 %) y lípidos (81.51 %), así como alto contenido de proteína digestible (21.85 %) y energía digestible (2.979 kcal/kg).

Recientemente, Vázquez *et al.* (2016) determinaron la morfometría del tracto gastrointestinal (TGI) y órganos internos en conejos en crecimiento, al incluir 0, 10, 20 y 30 % de DDGS de maíz en la dieta. Con 30 % de DDGS obtuvieron los mayores pesos del estómago lleno y vacío, absoluto (93.75 y 33.75 g) como relativo (4.54 y 1.58 g) y metabólico (0.31 y 0.11 g g<sup>0.75</sup><sup>-1</sup>). Estos autores evidenciaron además, disminución del peso absoluto del hígado con la inclusión de 30 % de este subproducto, pero estas diferencias desaparecieron cuando se analizaron los pesos metabólicos.

Estas investigaciones sugieren que el empleo de 20 % de DDGS aumenta la digestibilidad de los nutrientes de la dieta, fundamentalmente de la PB, FDA, FDN y la energía, mientras que la inclusión de hasta 30 % de este subproducto no ocasiona trastornos en la morfometría del tracto gastrointestinal y órganos internos de conejos en crecimiento.

Los DDGS contienen oligosacáridos de mananos, procedentes de las paredes de las levaduras, que tienen potencial para mejorar la inmunidad. Los resultados obtenidos por estos autores se pueden atribuir al efecto beneficioso de los oligosacáridos, al favorecer el desarrollo de las vellosidades intestinales y mejorar la ganancia de peso vivo y la eficiencia en la absorción y uso de los nutrientes (Morales 2007).

#### **D) STUDIES ON CARCASS PERFORMANCE D) ESTUDIOS DE RENDIMIENTO EN CANAL**

Vázquez (2014) evaluated the quality characteristics of carcasses and meat in rabbits fed 0DDGS (0, 10, 20 or 30 %). He did not find differences in the performance of the carcass nor in the performance of edible viscera (liver, heart, kidneys and spleen). Out of the commercial parts of the carcass, the highest percentages were of hinder limbs and loin. In the sensorial analysis of meat, pleasant smell, pale color and smooth texture were evident. With these results, the author concluded that it is possible to include up to 30% of DDGS in rabbit diets, without changes in the quality of the meat.

Vázquez (2014) evaluó las características de calidad de la canal y de la carne en conejos alimentados con DDGS (0, 10, 20 ó 30 %). No encontró diferencias en el rendimiento de la canal ni en el rendimiento de vísceras comestibles (hígado, corazón, riñones y bazo). De las partes comerciales de la canal, los mayores porcentajes fueron de extremidades posteriores y lomo. En el análisis sensorial de la carne, se evidenció olor agradable, color pálido y textura suave. Con estos resultados, la autora concluyó que es posible la inclusión de hasta 30 % de DDGS en las dietas de los conejos, sin cambios en la calidad de la carne.

#### **E) STUDIES ON PARTIAL OR TOTAL REPLACEMENT DIET INGREDIENTS BY DDGS E) ESTUDIOS DE REEMPLAZO PARCIAL O TOTAL DE INGREDIENTES DE LA DIETA POR DDGS**

Bernal *et al.* (2010) determined the effect of partially replacing sorghum grain and soybean meal with DDGS in isonitrogenated (17.4 % PC) and isoenergetic diets (11.72 MJ/kg) of growing rabbits. No significant differences were found in the

Bernal *et al.* (2010) determinaron el efecto de sustituir parcialmente el grano de sorgo y la harina de soya por DDGS en dietas isonitrogenadas (17.4 % PC) e isoenergéticas (11.72 MJ/kg) de conejos en crecimiento. No se hallaron diferencias significativas

performance of rabbits, so the authors concluded that it is possible to replace 30 % of the sorghum and soy of the diet by DDGS in the feeding of growing rabbits.

Soliman *et al.* (2010) published their results on the partial replacement of diet protein by DDGS in growing rabbits. For the study, they used six diets with the inclusion of DDGS to replace 10, 20, 30, 40 and 50 % of the protein from the protein source (soybean meal) of the control diet or 6.25, 12.50, 18.75, 25.00 and 31.25 % of the total diet, respectively. They found no negative effects on the productive performance of rabbits fed DDGS, as well as on carcass traits and organoleptic characteristics of meat, regardless of the substitution level, except for the food conversion that was unfavorable with 40 and 50 % substitution. The lowest values of liveweight, weight gain and food conversion were obtained in rabbits fed diet containing 50 % of substitution, as well as a significant increase in the pH and ammonia of the caecum. The best nutrient digestibility coefficients and the lowest cost/kg of liveweight gain were obtained in rabbits fed 30 % of substitution. They concluded that it is possible to replace 30 % of DDGS (or 18.75 % of the diet) as protein source in rabbit feeding.

Both results show that DDGS can partially replace the protein in the diet, without negative effects on the development of growing rabbits.

## F) STUDIES ON COMBINATION OF DDGS WITH DIFFERENT ENZYMES F) ESTUDIOS DE COMBINACIÓN DE DDGS CON DIFERENTES ENZIMAS

In this regard, Liñán (2012) conducted an experiment to evaluate the use of DDGS and enzymes (hemicellulases and glucanases) in growing rabbits to see their effect on carcass composition and meat quality. For this, this author used four diets, which consisted of a basal diet (T1) based on alfalfa hay, milled grain of sorghum and soybean meal, T2 = basal diet, added with hemicellulases enzymes and glucanases, T3 = basal diet including 30 % DDGS and T4 = basal diet supplemented with hemicellulase and glucanase enzymes, and with 30 % DDGS. Liñán (2012) found a higher proportion of loin in rabbits that received diets without DDGS. The proportion of legs was increased in rabbits fed diets supplemented with enzymes, but without inclusion of DDGS (T2), whereas this effect was not observed in rabbits consuming diets containing DDGS. The chemical composition of rabbit leg meat was similar between treatments. In conclusion, the inclusion of hemicellulase and glucanase enzymes in the diet of growing rabbits did not have major effects on carcass composition or meat quality, so the inclusion in the diet of up to 30 % of DDGS was recommended, without affecting those indicators.

Khattab *et al.* (2014) evaluated the partial

en el comportamiento de los conejos, por lo que los autores concluyeron que es posible sustituir 30 % del sorgo y la soya de la dieta por DDGS en la alimentación de conejos en crecimiento.

Soliman *et al.* (2010) publicaron sus resultados sobre el reemplazo parcial de la proteína de la dieta por DDGS en conejos en crecimiento. Para el estudio emplearon seis dietas con la inclusión de DDGS para sustituir 10, 20, 30, 40 y 50 % de la proteína de la fuente proteica (harina de soya) de la dieta control o 6.25, 12.50, 18.75, 25.00 y 31.25 % de la dieta total, respectivamente. No encontraron efectos negativos en el comportamiento productivo de los conejos alimentados con DDGS, así como en los rasgos de la canal y características organolépticas de la carne, independientemente del nivel de sustitución, excepto la conversión de alimento que fue desfavorable con 40 y 50 % de sustitución. Los valores más bajos de peso vivo, ganancia de peso y conversión de alimento se obtuvieron en los conejos alimentados con la dieta que contenía 50 % de sustitución, así como aumento significativo en el pH y el amoníaco del ciego. Los mejores coeficientes de digestibilidad de nutrientes y el menor costo/kg de ganancia de peso vivo se obtuvieron en los conejos alimentados con 30 % de sustitución. Concluyeron que es posible la sustitución de 30 % de DDGS (o 18.75 % de la dieta) como fuente proteica en la alimentación del conejo.

Ambos resultados demuestran que los DDGS pueden reemplazar parcialmente la proteína de la dieta, sin efectos negativos en el desarrollo de conejos en crecimiento.

Al respecto, Liñán (2012) condujo un experimento para evaluar el uso de DDGS y enzimas (hemicelulasas y glucanasas) en conejos en crecimiento para ver su efecto acerca de la composición de la canal y calidad de la carne. Para ello utilizó cuatro dietas, que consistieron en una dieta basal (T1) basada en heno de alfalfa, grano molido de sorgo y harina de soya, T2 = la dieta basal adicionada con enzimas hemicelulasas y glucanasas, T3 = la dieta basal con inclusión de 30 % DDGS y T4 = una dieta basal adicionada con enzimas hemicelulasas y glucanasas y con 30 % DDGS. Liñán (2012) encontró mayor proporción del lomo en los conejos que recibieron dietas sin DDGS. La proporción de piernas se incrementó en conejos alimentados con dietas adicionadas con enzimas, pero sin inclusión de DDGS (T2), mientras que este efecto no se observó en conejos cuyas dietas contenían DDGS. La composición química de la carne de pierna de conejo fue similar entre tratamientos. En conclusión, la inclusión de enzimas hemicelulasa y glucanasa a la dieta de conejos en crecimiento no tuvo mayores efectos en la composición de la canal ni calidad de la carne, por lo que se recomendó la inclusión en la dieta de hasta 30 % de DDGS sin afectación de estos indicadores.

Khattab *et al.* (2014) evaluaron la sustitución parcial

replacement of maize and soybean meal by DDGS and supplementation with a natural multi-enzymatic complex (Allzyme SSF®) consisting of seven active enzymes: amylase, beta-glucanase, protease, cellulase, pectinase, phytase and xylanase, in a factorial arrangement of 2x3, with the use of weaned rabbits at 30 d of age. Diets included 0 or 0.02 % of the enzyme complex and the inclusion of 0, 10 or 20 % of DDGS, forming six experimental diets. Rabbits had free access to their respective diets. In the results, these levels of DDGS and the enzymatic complex did not influence on weight, gain and food intake. However, the feed conversion decreased with the inclusion of 20% DDGS, without supplementation of the enzyme complex.

Both studies show the feasibility of the combination of DDGS with hemicellulase and glucanase enzymes and with the combination of the natural multi-enzymatic complex Allzyme SSF®. The use of enzymes in diets of animals increases the availability and digestibility of nutrients in food and, thereby, improves animal performance.

### G) STUDIES WITH DDGS FROM DIFFERENT SOURCES G) ESTUDIOS CON DDGS DE DIFERENTES FUENTES

Alagón *et al.* (2014) conducted a research to determine the productive performance and the caecal development of growing rabbits. For this, four experimental diets were formulated: T1 = control diet without DDGS, T2 = inclusion of 20 % of DDGS of barley, T3 = inclusion of 20 % of DDGS of wheat, T3 and T4 = inclusion of 20 and 40 % of DDGS of maize, respectively. At 59 d of age, they found that rabbits fed 20 % of DDGS of wheat achieved higher weight gain and dry matter intake, which did not differ from rabbits that received 20 % of DDGS of barley and maize. Food conversion was significantly better in rabbits fed 20 % of DDGS of maize, which only differed from rabbits that ingested DDGS of barley. The weight of the full digestive tract and full stomach did not show differences among treatments. The weight of caecum was higher in the animals of control group and differed from those fed 20 and 40 % of DDGS of maize. The authors concluded that the inclusion of DDGS of barley, wheat or maize in the diet of fattening rabbits up to 20 % can be an interesting alternative, since adequate productive yields are obtained, without negative consequences in the digestive tract of rabbits.

Alagón *et al.* (2015) published their results with the use of DDGS from different sources (20 % of DDGS of barley, 20 % of DDGS of wheat and 20 or 40 % of DDGS of maize) in the quality of carcass and meat of the *Longissimus dorsi* muscle of fattening rabbits. They found no effects on most of the carcass features, texture or water retention capacity. Rabbits fed 20 % of DDGS of barley had higher percentage of

de maíz y harina de soya por DDGS y la suplementación con un complejo multi-enzimático natural (Allzyme SSF®) que consiste en siete enzimas activas: amilasa, betaglukanasa, proteasa, celulasa, pectinasa, fitasa y xilanasa en un arreglo factorial de 2 x 3, con la utilización de conejos destetados a los 30 d de edad. Las dietas incluyeron 0 o 0.02 % del complejo enzimático y la inclusión de 0, 10 o 20 % de DDGS, conformando seis dietas experimentales. Los conejos tuvieron libre acceso a sus respectivas dietas. En los resultados no obtuvieron influencias de estos niveles de DDGS y del complejo enzimático en el peso, ganancia y consumo de alimento. Sin embargo, la conversión alimentaria empeoró con la inclusión de 20 % de DDGS, sin suplementación del complejo enzimático.

Ambos estudios demuestran que es factible la combinación de DDGS con enzimas hemicelulasa y glucanasa y con la combinación del complejo multi-enzimático natural Allzyme SSF®. El uso de enzimas en las dietas de los animales aumenta la disponibilidad y digestibilidad de los nutrientes de los alimentos y con ello, mejora el comportamiento animal.

Alagón *et al.* (2014) realizaron una investigación para determinar el comportamiento productivo y el desarrollo cecal de conejos en crecimiento. Para ello formularon cuatro dietas experimentales: T1 = dieta control sin DDGS, T2= inclusión de 20 % de DDGS de cebada, T3= inclusión de 20 % de DDGS de trigo, T3 y T4= inclusión de 20 y 40 % de DDGS de maíz, respectivamente. A los 59 d de edad encontraron que los conejos alimentados con 20 % de DDGS de trigo lograron mayor ganancia de peso y consumo de materia seca, que no difirió de los conejos que recibieron 20 % de DDGS de cebada y de maíz. La conversión alimentaria fue significativamente mejor en los conejos alimentados con 20 % de DDGS de maíz, que solo difirió de los conejos que ingirieron DDGS de cebada. El peso del tracto digestivo lleno y del estómago lleno no mostró diferencias entre tratamientos. El peso del ciego fue mayor en los animales del grupo control y difirió de los alimentados con 20 y 40 % de DDGS de maíz. Los autores concluyeron que la inclusión de DDGS de cebada, trigo o maíz en la dieta de conejos de engorde hasta 20 % puede ser una alternativa interesante, ya que se obtienen rendimientos productivos adecuados, sin consecuencias negativas en el tracto digestivo de los conejos.

Alagón *et al.* (2015) publicaron sus resultados con el uso de DDGS de diferentes fuentes (20 % de DDGS de cebada, 20 % de DDGS de trigo y 20 o 40 % de DDGS de maíz) en la calidad de la canal y la carne del músculo *Longissimus dorsi* de conejos en ceba. No encontraron efectos en la mayoría de los rasgos de la canal, textura ni capacidad de retención de agua. Los conejos alimentados con 20 % de DDGS de cebada tuvieron mayor porcentaje

fat (inguinal, scapular and dissectable) with respect to the control diet. The reddish color of the meat and pH was more evident in rabbits fed DDGS of wheat. The concentration of meat proteins and saturated fatty acids decreased with the inclusion of 40 % of DDGS of maize. These researchers concluded that the use of DDGS, regardless of the source of the grain, did not affect most traits of carcass and meat quality in rabbits. However, DDGS of barley increased the percentage of fat and wheat DDGS increased, also, the reddish color of the meat.

In summary, in growth-fattening rabbits, the studies cited in this review (Bernal *et al.* 2010, Soliman *et al.* 2010, Vázquez *et al.* 2011, Petkova *et al.* 2011, Amani *et al.* 2012, Liñán, 2012, Vázquez *et al.* 2013, Vázquez 2014, Rohloff Junior 2015 and Vázquez *et al.* 2016) have demonstrated the possibility of including up to 30 % of DDGS, without negative effects on the performance, digestibility and morphometry of digestive organs, as well as on the performance of the carcass of animals. However, other studies (Mohamed *et al.* 2013) suggest the possibility of including up to 40 % (table 4). Likewise, it is possible to combine DDGS with exogenous enzymes as natural alternative products to complement the endogenous enzymatic capacity and the nutritional value of feed and, thereby, improve animal performance (Liñán 2012 and Khattab *et al.* 2014). Research comparing the incorporation of 20 % of DDGS of barley, wheat or maize (Alagón *et al.* 2012, Alagón *et al.* 2014 and Alagón *et al.* 2015) into the performance of rabbits indicate that it is possible to include them in the diet, regardless of the source of the grain.

de grasa (inguinal, escapular y disecable) con respecto a la dieta control. El color rojizo de la carne y el pH fue más evidente en los conejos alimentados con DDGS de trigo. La concentración de proteínas de la carne y de ácidos grasos saturados disminuyó con la inclusión de 40 % de DDGS de maíz. Estos investigadores concluyeron que el uso de DDGS, independientemente de la fuente del grano, no afectó a la mayoría de los rasgos de la calidad de la canal y la carne de los conejos. Sin embargo, los DDGS de cebada aumentaron el porcentaje de grasa y el DDGS de trigo, el color rojizo de la carne.

En resumen, en conejos en crecimiento-ceba, los estudios citados en esta revisión (Bernal *et al.* 2010, Soliman *et al.* 2010, Vázquez *et al.* 2011, Petkova *et al.* 2011, Amani *et al.* 2012, Liñán 2012, Vázquez *et al.* 2013, Vázquez 2014, Rohloff Junior 2015 y Vázquez *et al.* 2016) han demostrado la posibilidad de incluir hasta 30 % de DDGS, sin efectos negativos en el desempeño, digestibilidad y morfometría de los órganos digestivos, así como en el rendimiento de la canal de los animales. No obstante, otros estudios (Mohamed *et al.* 2013) plantean la posibilidad de inclusión de hasta 40 % (tabla 4). Igualmente, es posible la combinación de DDGS con enzimas exógenas como productos alternativos naturales para complementar la capacidad enzimática endógena y el valor nutritivo de la alimentación y mejorar con ello el desempeño de los animales (Liñán 2012 y Khattab *et al.* 2014). Las investigaciones que comparan la incorporación de 20 % de DDGS de cebada, trigo o maíz (Alagón *et al.* 2012, Alagón *et al.* 2014 y Alagón *et al.* 2015) en el comportamiento de conejos indican que es posible su inclusión en la dieta, independientemente de la fuente del grano.

Hay que señalar que las diferencias encontradas en

Table 4. Effect of DDGS on the productive performance of growth-fattening rabbits

	% DDGS	DMG, g/d		Intake, g/d		Conversion	
		Control	DDGS	Control	DDGS	Control	DDGS
Bernal <i>et al.</i> 2010 <sup>a</sup>	30	22.0	19.0	95.0	97.0	4.4	4.2
Amani <i>et al.</i> 2012 <sup>b</sup>	30	41.9	43.0	87.9	81.5	2.0	1.8
Vázquez <i>et al.</i> 2013 <sup>a</sup>	20	21.8	23.2	95.4	96.4	4.4	4.2
Mohamed <i>et al.</i> 2013 <sup>c</sup>	40	19.5	16.4	67.9	58.7	3.4	3.6
Chelminska and Kow-alska 2013 <sup>b</sup>	10	30.6	26.4	153.7	91.8	3.6	2.4
Vázquez 2014 <sup>a</sup>	30	21.5	19.2	95.0	97.3	4.4	5.1
Alagón <i>et al.</i> 2014 <sup>d</sup>	40	46.8	47.2	109.2	106.2	2.2	2.3
Khattab <i>et al.</i> 2014 <sup>e</sup>	20	27.9	25.9	118.0	139.6	4.2	5.4

<sup>a</sup> Basal diet (sorghum and soybean)

<sup>b</sup> Basal diet (maize, barley, wheat and soybean)

<sup>c</sup> Basal diet (maize and soybean)

<sup>d</sup> Basal diet (barley, wheat and soybean)

<sup>e</sup> Basal diet (maize, wheat and soybean)

It should be noted that the differences found in the cited research may be related to the variability in the form of presentation of food and types of diets. It would also be necessary to consider the factors that

las investigaciones citadas pueden estar relacionadas con la variabilidad en cuanto a la forma de presentación del alimento y los tipos de dietas. Habría que considerar además, los factores que pudieron repercutir en los

could have an impact on the results of the different researches, such as age, weight at the beginning of the experimental phase, breed, environment and sex, among other aspects.

Although progress has been made in the studies with the use of DDGS in growing rabbits, there is still a lack of research with the use of this by-product in other rabbit categories. Similarly, studies should be conducted to determine the influence of DDGS on reproduction, prolificacy and pre-weaning growth.

### ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF THE USE OF DDGS IN RABBITS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LOS DDGS EN CONEJOS

In rabbit nutrition, the main advantages of DDGS (maize, wheat, sorghum or barley) are their high content of protein, NDF and digestible energy and phosphorus. Similarly, its use in diets generally decreases the costs of partial or total substitution of maize and soybean, which depends on the prices of DDGS and the previously mentioned raw materials.

Several studies have demonstrated that a correct digestive transit in rabbits requires a minimum of insoluble fiber, which is between 30 and 34 % of NDF (Machado *et al.* 2011). This requirement can be covered by using DDGS in rabbit diets, so, together with the contributions of ADF and NDSF that DDGS possesses, they can be considered as alternative fibrous sources in the diet of rabbits.

The main disadvantage is the price of DDGS, which until the end of the first semester of this year was around 243.00 USD/t (US Grains Council 2017). In this regard, Couso (2011) and Martínez (2011) determined, by means of a formula, the limit price at which it is feasible to buy DDGS in Cuba for their inclusion in the diets for poultry and pigs. These authors reported that with import prices of soybean meal, maize meal and monocalcium phosphate, it would be feasible to buy DDGS up to 286 USD/t for poultry and \$ 329 USD/t for pigs, prices that have never been reached by this by-product, despite the increase in the costs of raw materials for the production of balanced diets.

On the quality of the DDGS protein, studies carried out on pigs (Stein *et al.* 2006) showed a reduction of lysine digestibility related to the thermal treatment of this by-product. Apparently, this unfavorable aspect was not evident in rabbits. In this regard, Alagón (2012) obtained digestibilities for lysine of 78.4, 85.4 and 88.2 % in diets prepared with DDGS of barley, maize and wheat, respectively, in rabbits, which are much higher results than data reported by Stein *et al.* (2006) in pigs. It is probable that cecal digestion and cecotrofia would reduce this effect, because, in rabbits, the amino acids produced by bacteria may be available through this way (especially lysine, sulfur amino acids and threonine).

Another unfavorable aspect to consider is the

resultados obtenidos en las diferentes investigaciones, como la edad, el peso al comenzar la fase experimental, la raza, el ambiente y el sexo, entre otros aspectos.

A pesar que se ha avanzado en los estudios con la utilización de DDGS en conejos en crecimiento, aún faltan investigaciones con el uso de este subproducto en otras categorías cunícolas. Del mismo modo, se deben realizar estudios para determinar la influencia de los DDGS en la reproducción, prolificidad y crecimiento predestete.

En la nutrición del conejo, las ventajas principales de los DDGS (maíz, trigo, sorgo o cebada) son su elevado contenido de proteínas, FDN y energía digestible y fósforo. De igual forma, su uso en las dietas disminuye, generalmente, los costos por la sustitución parcial o total de maíz y soya, lo que depende de los precios de los DDGS y de las materias primas mencionadas.

Varios estudios han demostrado que en el conejo para un correcto tránsito digestivo requiere un mínimo de fibra insoluble, que se encuentra entre 30 y 34 % de FDN (Machado *et al.* 2011). Este requerimiento se puede cubrir al utilizar DDGS en las dietas cunícolas, por lo que unido a los aportes de FDA y FSDN que poseen los DDGS, se pueden considerar como fuentes fibrosas alternativas en la dieta de los conejos.

La principal desventaja es el precio de los DDGS, que hasta el cierre del primer semestre del presente año oscilaba, aproximadamente, de 243.00 USD/t (US Grains Council 2017). Al respecto, Couso (2011) y Martínez (2011) determinaron mediante una fórmula el precio límite al que es factible comprar en Cuba los DDGS para su inclusión en las dietas para aves y cerdos. Estos autores informaron que con los precios de importación de la harina de soya, la harina de maíz y el fosfato monocálcico, sería factible comprar los DDGS hasta 286 USD/t para aves y 329 USD/t para cerdos, precios a los que nunca ha llegado este subproducto, a pesar del incremento en los costos de las materias primas para la elaboración de dietas balanceadas.

Sobre la calidad de la proteína de los DDGS, los estudios realizados en cerdos (Stein *et al.* 2006) evidenciaron reducción de la digestibilidad de la lisina relacionado con el tratamiento térmico de este subproducto. Al parecer, este aspecto desfavorable no se evidencia en los conejos. Al respecto, Alagón (2012) obtuvo en conejos digestibilidades para la lisina de 78.4, 85.4 y 88.2 % en dietas elaboradas con DDGS de cebada, maíz y trigo, respectivamente, resultados muy superiores a los datos informados en cerdos por Stein *et al.* (2006). Es probable que la digestión cecal y la cecotrofia reduzcan este efecto, debido a que en conejos los aminoácidos producidos por las bacterias pueden estar disponibles por esta vía (especialmente la

mycotoxin content of DDGS. According to the US Grains Council (2007), in the process of ethanol production and subsequent development of DDGS, mycotoxins are not destroyed, therefore, their original concentration in cereals triples in DDGS.

When information on the mycotoxin content of a batch of DDGS is not available, it is most appropriate to include a maximum of 10 % of DDGS in the diets for rabbits, because with this dose, concentrations of mycotoxins in the diet do not exceed those that provides 30 % of maize not characterized for mycotoxins, which is something very common in international practice.

It can be concluded that dried distillery grains with solubles constitute, due to their nutritional properties, an alternative for rabbit feeding. The high content of protein, digestible energy, NDF and phosphorus of this by-product makes dried distillery grains with solubles a partial substitute for some protein ingredients that can be very expensive in the market, such as soybean meal; energy foods, such as maize, and minerals, like phosphorus (mono- or di-calcium phosphate).

lisina, aminoácidos sulfurados y treonina).

Otro aspecto desfavorable a tener en cuenta es el contenido de micotoxinas de los DDGS. Según US Grains Council (2007), en el proceso de producción de etanol y posterior elaboración de los DDGS, no se destruyen las micotoxinas por lo tanto, su concentración original en los cereales se triplica en los DDGS.

Cuando no se dispone de información acerca del contenido de micotoxinas de un lote de DDGS, lo más apropiado es incluir como máximo 10 % de DDGS en las dietas de los conejos, pues con esta dosis las concentraciones de micotoxinas en la dieta no sobrepasan las que aporta 30 % de maíz no caracterizado para micotoxinas, lo cual es algo muy común en la práctica internacional.

Se puede concluir que los granos de destilería secos con solubles constituyen, por sus propiedades nutricionales, una alternativa en la alimentación de conejos. El alto contenido de proteína, energía digestible, FDN y fósforo de este subproducto hace que los granos de destilería secos con solubles sean un sustituto parcial de algunos ingredientes proteicos que pueden resultar muy caros en el mercado, como la harina de soya; energéticos, como el maíz, y minerales, como el fósforo (fosfato mono o di-cálcico).

## References

- Abdelqader, M.M. & Oba, M. 2013. Lactation performance of dairy cows fed increasing concentrations of wheat dried distillers grains with solubles. *J. Dairy Sci.* 95: 3894. ISSN: 0022-0302.
- Adedokun, S.A., Jaynes, P., Payne, R.L. & Applegate, T.J. 2015. Standardized Ileal Amino Acid Digestibility of Corn, Corn Distillers' Dried Grains with Solubles, Wheat Middlings, and Bakery By-Products in Broilers and Laying Hens. *Poultry Science* .94:2480. ISSN: 1349-0486.
- Alagón, G. 2012. Caracterización química y valor nutritivo de los DDGS de cebada, maíz y trigo para conejos en crecimiento. M.Sc. Tesis, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 40 p.
- Alagón, G. 2013. Use of barley, wheat and corn distillers dried grain with solubles in diets for growing rabbits: nutritive value, growth performance and meat quality. PhD Thesis. Department of Animal Sciences. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 160. p.
- Alagon, G., Arce, O. N., Martínez-Paredes, E., Rodenas, L., Cervera, C. & Pascual, J. J. 2014. Effect of inclusion of distillers dried grains and solubles from barley, wheat and corn in isonutritive diets on the performance and caecal environment of growing rabbits. *World Rabbit Sci.* 22:195. ISSN: 1989-8886.
- Alagón, G., Arce, O. N., Martínez-Paredes, E., Ródenas, L., Pascual, J. J. & Cervera, C. 2012. Digestible value of two rabbit feedstuffs in two climatic environments. 10 th World Rabbit Congress, Sharm El- Sheikh, Egypt. p. 1025. ISSN 2308-1910.
- Alagón, G., Arce, O., Serrano, P., Ródenas, L., Martínez-Paredes, E., Cervera, J.J. & Pascual, M. 2015. Effect of feeding diets containing barley, wheat and corn distillers dried grains with solubles on carcass traits and meat quality in growing rabbits. *Meat Science.* 101:56. ISSN: 0309-1740.
- Amani, W. Y., Abd El-Magid, S., El-Gawad, A. H., El-Daly, E. F. & Ali, H. M. 2012. Effect of Inclusion of Distillers Dried Grains with Solubles (DDGs) on the Productive Performance of Growing Rabbits. *Am-Euras J Agric & Environ Sci.* 12: 321. ISSN: 1818-6769.
- Aristizabal, R. D. 2016. Uso de coproductos de la industria del Etanol en la alimentación animal. *Zoociencia.* 3:4. ISSN 2462-7763.
- Avelar, E., Jha, R., Beltranena, E., Cervantes, M., Morales, A. & Zijlstra, R.T. 2010. The effect of feeding wheat distillers dried grain with solubles on growth performance and nutrient digestibility in weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 160:73. ISSN: 0377-8401.
- Bernal, H., Vázquez, Y., Valdiviá, M., Hernández, C.A., Cerrillo, M.A., Juarez, A.S. & Gutierrez, E. 2010. Substitution of sorghum and soybean meal by distillers dried grain with solubles in diets for fattening rabbits. *J. Anim. Sci.* 88. (E-Suppl. 2): 368. ISSN: 1525-3163.
- Chelminska, A. & Kowalska, D. 2013. The effectiveness of maize DDGS in rabbit diets. *Ann. Anim. Sci.* 13(3):571-585. ISSN: 2300-8733, DOI: 10.2478/aoas-2013-0032.
- Couso, F. Z. 2011. Precios y utilización de los granos secos de destilería deshidratados con solubles (DDGS o Norgold) en las dietas de inicio para reemplazo de ponedoras en Cuba. M.Sc. Thesis, Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba, 60 p.
- Cozannet, P., Lessire, M., Métayer, J.P., Gady, C., Primot, Y., Geraert, P.A., Le Tutour, L., Skiba, F. & Noblet, J. 2010. Nutritive value of wheat and maize distillers dried grains with solubles for poultry. *Inra Prod. Anim.* 23: 405. ISSN: 0990-0632.

- de Blas, C. & Mateos, G.G. 2010. Feed formulation. In: The Nutrition of the Rabbit. 2<sup>nd</sup> Ed. de Blas, C. & Wiseman, J. Ed. CABI International. Wallingford (UK), p. 222. ISBN-13: 978 1 84593 669 3.
- de Blas, C., Mateos, G. & García-Rebollar, P. 2010. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. 3<sup>ra</sup> Ed. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid. p. 502.
- Depenbusch, B. E., Loe, E. R., Sindt, J. J., Cole, N. A., Higgins, J. J. & Drouillard, J. S. 2009. Optimizing use of distillers grains in finishing diets containing steam-flaked corn. *J. Anim. Sci.* 87:2644. ISSN: 1525-3163.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2014. Biofuel co-products as livestock feed. Opportunities and challenges, Technical Summary by Harinder P.S. Makkar. Rome, Italy.
- FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal). 2012. Granos y solubles de cebada (DDGS). Available: <[http://www.fundacionfedna.org/ingredientes\\_para\\_piensos/granos-y-solubles-de-cebada-ddgs-actualizado-nov-2011](http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/granos-y-solubles-de-cebada-ddgs-actualizado-nov-2011)> [Consulted: 10 de mayo de 2016].
- Jensen, H.G., Björnsson, A.H. & Lind, K.M. 2013. By-products from ethanol production – the forgotten part of the equation: possibilities and challenges. Department of Food and Resource Economics, University of Copenhagen. (IFRO Report; No. 219).
- Jones, C.S. & Mayfield, S.P. 2016. Our Energy Future: Introduction to Renewable Energy and Biofuels. University of California Press, Oakland, California. 221 p. ISBN- 0520964284.
- Khattab, W., Abughazaleh, A., Fievez, V., Zahran, K., Adel-Fattah, F., Ahmed, T. 2014. Dried distiller's grains with solubles (DDGS) inclusion and allzyme ssf® supplementation in growing-finishing rabbit diets: impact on growth performance. *Benha Veterinary Medical Journal.* 26:171. ISSN: 1110 – 6581
- Liñán, M. A. 2012. Efecto de la adición de granos secos de destilería con solubles (DDGS) y enzimas hemicelulasa y glucanasa sobre la composición de la canal y calidad de la carne de conejos. M.Sc. Thesis, Universidad Autónoma de Nuevo León, Aramberri, Nuevo León, México, 52 p.
- Machado, L.C., Motta, W., Scapinello, C., Sangoi, M. & Castro, A. 2011. Manual de formulação de ração e suplementos para coelhos. Associação Científica Brasileira de Cunicultura. 24 p. ISBN 978-85-912388-1-1.
- Martínez, M. 2006. Evaluación de un subproducto de destilería con solubles (DDGS) en la alimentación de cerdos. La Habana. M.Sc. Thesis, Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba, 99 p.
- Martínez, M. 2011. Evaluación de los granos de destilería secos con solubles en la alimentación de cerdos en crecimiento y reproductoras porcinas. Ph.D. Thesis, Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba, 130 p.
- Mohamed, Kh., Osman, A.M., Soliman, M.A. & Toson, E.M. 2013. Using dried distillers grains with solubles (DDGS) by-product in fattening rabbit diets. *Egypt. Poult. Sci.* 33:695. ISSN: 1110-5623.
- Morales, R. 2007. Las paredes celulares de levaduras cereviseae: Un aditivo natural, capaz de mejorar la productividad y salud del pollo de engorde. Ph.D. Thesis, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España, 276 p.
- Morales, H. & Valdiviá, M. 2011. Grãos De Destilaria de Milho Secos com Solventes (DDGS). En el libro: Alimentação de animals monogástricos. Mandioca e outros alimentos não- convencionals. Editado por FEPAF. 225 p. ISBN: 978-85-98187-39-6.
- Pedersen, C., Boersma, M.G. & Stein, H.H. 2007. Digestibility of energy and phosphorus in ten samples of distillers dried grains with soluble fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 85:1168. ISSN: 1525-3163.
- Petkova, M., Grigorova, S. & Abadjieva, D. 2011. Biochemical and physiological changes in growing rabbits fed different sources of crude fiber. *Biotechnology in Animal Husbandry.* 27:1367. ISSN: 1450-9156.
- Rohloff Junior, N. 2015. Coproduto seco de destilária com solúveis de milho na alimentação de coelhos. M.Sc. Thesis, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil, 38 p.
- Romero, P.A. 2013. Impacto de la producción de biocombustibles en Estados Unidos en el Mercado del maíz (*Zea mays* L.) en México. M.Sc. Thesis, Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas, Montecillo, Estado de México, 140 p.
- Rosentrater, K.A., Iileji, K. & Johnston, D.B. 2012. Manufacturing of fuel ethanol and distillers grains – current and evolving process. In: K. S. Liu and K. A. Rosentrater, editors, Distillers grains: Production, properties, and utilization. CRC Press, Boca Raton, FL. p. 73–102. ISBN: 13: 978-1-4398-1726-1.
- Soliman, A.Z., Ahmed, F., El-Manyawi, M. A. & Abd-El-Ghany, F. 2010. Effect of corn distiller's dried grains with solubles (DDGS) on growing rabbit performance. *Egypt. Poult. Sci.* 20: 31. ISSN: 1110-5623.
- Stein, H.H., Pedersen, C., Gibson, M.L. & Boersma, M.G. 2006. Amino acid and energy digestibility in ten samples of distillers dried grain with solubles by growing pigs. *J. Anim. Sci.* 84:853. ISSN: 1525-3163.
- Strychalski, J., Juśkiewicz, J., Gugolek, A., Wyczling, P., Daszkiewicz, T. & Zwoliński, C. 2014. Usability of rapeseed cake and wheat-dried distillers' grains with solubles in the feeding of growing Californian rabbits. *Anim Nutrition.* 68(3):227-244. ISSN: 1477-2817, DOI:10.1080/1745039X.2014.921482.
- US Grains Council. 2007. Nutrient Content of DDGS. Variability and Measurement. DDGS. Users Handbook. US Grains Council, Washington, DC. 18 p.
- US Grains Council. 2017. Precios DDGS. Disponible en <http://www.zafranet.com/2017/06/precios-ddgs/> . Consultado 30 de octubre de 2017.
- Vázquez, Y. 2014. Evaluación de la utilización de los granos de destilería secos con solubles (DDGS) en conejo en ceba. M.Sc. Thesis, Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba, 121 p.
- Vázquez, Y., Bernal, H., Valdiviá, M., Gutiérrez, E., Mora, L. M. & Hernández, C. A. 2016. Effect of distillers dried grains with solubles on the morphometric of the gastrointestinal tract and internal organs of growing rabbits. Technical note. *Cuban J. Agric. Sci.* 50:267. ISSN 0864-0408.
- Vázquez, Y., Bernal, H., Valdiviá, M., Gutiérrez, E., Mora, L. M., Hernández, C. A. Juárez, A. & Cerrillo, M. A. 2013. Use

- of dehydrated distillery grains with solubles in diets for fattening Rabbits. Cuban J. Agric. Sci. 47:45. ISSN 0864-0408.
- Vázquez, Y., Valdivié, M. & Mora, L. 2011. Norgold: Alimentación de equinos y ceba de conejos. Revista ACPA. No 2. p. 23. ISSN: 0138-6247.
- Villamide, M.J., de Blas, J.C. & Carabano, R. 1989. Nutritive value of cereal by-products for rabbits. 2. Wheat bran, corn gluten feed and dried distillers grains and solubles. J. Appl. Rabbit Res.12:152. ISSN: 0008-3984.
- Widyaratne, G.P. & 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. ISSN: 0008-3984
- Wu, W., Johnston, L.J., Urriola, P.E., Hilbrands, A.M. & Shurson, G.C. 2016. Evaluation of ME predictions and the impact of feeding maize distillers dried grains with solubles with variable oil content on growth performance, carcass composition, and pork fat quality of growing-finishing pigs. Animal Feed Science and Technology. 213:128. ISSN: 0377-8401.

**Received: February 20, 2017**