



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA
PRODUCCIÓN
Y DE LA SALUD ANIMAL
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**Biodisponibilidad de fósforo, aminoácidos, energía y xantofilas en
pollos y gallinas alimentados con granos secos de destilería con
solubles bajos en aceite**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS
PRESENTA:

Arturo Cortes Cuevas

Tutor: Carlos López Coello (FMVZ-UNAM)

Comité Tutorial: Ernesto Ávila González (FMVZ-UNAM)

**José Arce Menocal (Programa de doctorado en Ciencias de la Producción y de la Salud
Animal)**

México D.F.

Febrero, 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatorias

PRIMERAMENTE GRACIAS A DIOS POR SU COMPAÑÍA Y AYUDA EN TODOS LOS MOMENTOS DE MI VIDA

EN MEMORIA DE MI MADRE EULALIA CUEVAS LEON, GRACIAS POR TU GRANDEZA COMO MUJER Y UNA EXCELENTE MAMÁ

COMO OLVIDAR A MIS HIJOS: ERICK, ARTURO Y NATALI, MIS MOTIVOS DE SEGUIR SUPERANDOME EN LA VIDA, GRACIAS POR SER MIS HIJOS, LOS QUIERO MUCHO, QUE DIOS LOS ACOMPAÑE POR SIEMPRE.

A MI HERMANO ARMANDO CORTES CUEVAS, POR SU APOYO INCONDICIONAL DE TODA LA VIDA, QUE DIOS TE ACOMPAÑE POR SIEMPRE, ERES UN GRAN HERMANO, MUCHISIMAS GRACIAS

EN FORMA ESPECIAL A MI HERMANO ANTONIO CORTES CUEVAS, POR SU AYUDA EN TODO MOMENTO Y SU GRAN CALIDAD HUMANA COMO PERSONA Y COMO HERMANO, GRACIAS MUCHAS GRACIAS

A MIS DEMAS HERMANOS: MIGUEL, ERNESTO, ARNULFO, MARIA DE JESUS, JOEL Y FERNANDO POR SU APOYO DE SIEMPRE Y POR COMPARTIR MOMENTOS DE HERMANDAD DUARANTE NUESTRA VIDA, A TODOS USTEDES, UN MILLON DE GRACIAS.

Agradecimientos

A LA FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, POR HABERME PERMITIDO REALIZAR MIS ESTUDIOS DE DOCTORADO, MUCHAS GRACIAS

AL CENTRO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN EN PRODUCCION AVICOLA DE LA FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA DE LA UNAM, POR EL FINANCIAMIENTO DEL PRESENTE PROYECTO DE TESIS

A LA EMPRESA DSM NUTRITIONAL PRODUCTS MEXICO S.A. DE C.V. POR LA APORTACION ECONOMICA Y LA DONACION DE MATERIA PRIMA PARA LA REALIZACION DEL PROYECTO

A LA EMPRESA EVONIK S.A. DE C.V. POR LA AYUDA RECIBIDA EN LOS ANALISIS DE AMINOACIDOS DE LAS MATERIAS PRIMAS Y LIOFILIZADOS DE LAS DIGESTAS PARA LA REALIZACION DEL PROYECTO DE DOCTORADO

A LA EMPRESA DANISCO MEXICO S.A. DE C.V. POR EL APOYO DE LABORATORIO PARA EL ANALISIS DE FOSFORO EN LAS MUESTRAS DE LA MATERIA PRIMA UTILIZADA EN LA TESIS DE DOCTORADO

Resumen

Con la finalidad de estudiar la biodisponibilidad de fósforo (Pi), proteína cruda (PC), aminoácidos (AA), energía metabolizable aparente (EMA_n), respuesta productiva, rendimiento de la canal y la eficiencia pigmentante en yema de huevo, piel y grasa abdominal de dos muestras de Granos Secos de Destilería con Solubles (GSDS) A y B reducidas en aceite (A=6.54% y B=5.39%) en pollos de engorda y gallinas de postura. Se llevaron a cabo 2 partes experimentales. En la primera parte, se llevaron a cabo 2 experimentos: en el Experimento 1, se utilizaron 210 pollos machos de 7-21 días de edad de la estirpe Ross 308, distribuidos aleatoriamente en 21 corrales con 7 tratamientos de 3 repeticiones con 10 aves cada uno. Los tratamientos consistieron en la suplementación a una dieta basal sorgo-soya deficiente en fósforo disponible (0.14% de Pi) con 0.05% y 0.10% de fósforo a partir de fosfato monodivalente (FMD) o de GSDS A y B. A los 21 días de edad, de los datos de cenizas en tibias, se determinó la biodisponibilidad relativa de Pi por el método de comparación de pendientes. En el Experimento 2, se utilizaron 200 pollos machos de 7-21 días de edad de la estirpe Ross 308, distribuidos aleatoriamente en 20 corrales con 5 tratamientos de 4 repeticiones con 10 aves cada uno. Los tratamientos consistieron en adicionar a una dieta testigo sorgo-soya 5 o 10% de GSDS A y B bajos en aceite y se determinó la biodisponibilidad de AA y EMA_n . En la segunda parte experimental, se relizaron 2 experimentos. En el Experimento 1, se utilizaron 360 gallinas de la estirpe Bovans White, de 69 a 77 semanas de edad; se empleó un diseño completamente al azar con 5 tratamientos con 6 replicas de 12 aves cada una. Los tratamientos consistieron en una dieta testigo sorgo-soya y otras con 6 y 12% de GSDS A y B bajos en aceite. En el Experimento 2, se emplearon 375 pollos de engorda de 0 a 42 días de edad, donde se utilizó un diseño completamente al azar con 5 tratamientos con 3 replicas de 25 pollos cada una. Los tratamientos, en ambos experimentos, consistieron en una dieta basal sorgo-pasta de soya suplementada con 0, 6 y 12% de GSDS A y B bajos en aceite respectivamente.

Los resultados del Experimento 1 en la primera parte experimental, para ganancia de peso y consumo de alimento incrementaron conforme al nivel de fósforo aumentó en la dieta. Con los datos obtenidos de consumo de fósforo y porcentaje de cenizas en tibias se determinó la biodisponibilidad relativa de Pi (72 y 86% para GSDS A y B respectivamente), las cuales fueron más altas que el valor estimado por el NRC (1994) basado en los valores de tablas y el contenido de fósforo no fítico. Los resultados del Experimento 2, para ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia indicaron que no se detectaron diferencias ($P>0.05$) entre tratamientos a la inclusión de 5 y 10% de GSDS A y B en la dieta. Los coeficientes de digestibilidad aparente ileal de AA (metionina, cistina, lisina, treonina, arginina, leucina, isoleucina, valina, fenilalanina, histidina) no mostraron diferencias ($P>0.05$) entre muestras en promedio 76.5 %. Los datos obtenidos de EMA_n en base seca de las dos muestras de GSDS A y B fueron de 2828 y 2854 kcal/kg respectivamente. Los resultados del Experimento 1 de la segunda parte experimental, para rendimiento productivo, no mostraron diferencias estadísticas significativas ($P>0.05$) entre tratamientos. Los resultados de la coloración de la yema, mostraron un incremento lineal en el enrojecimiento y amarillamiento, conforme se incrementó el nivel de inclusión de GSDS A o B. Los resultados del Experimento 2, en 42 días de experimentación para rendimiento productivo, rendimiento en canal y grasa abdominal, no indicaron diferencias estadísticas ($P<0.05$) entre tratamientos. Los resultados de pigmentación en piel en la canal caliente, canal fría y grasa abdominal aumentaron ($P<0.05$) con la inclusión de GSDS A o B. Con los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede concluir que los GSDS A y B tuvieron una biodisponibilidad de Pi 72 y 86% respectivamente, los coeficientes de digestibilidad aparente ileal de AA fue en promedio 76.5 %, el contenido de EMA_n de 2828 y 2854 kcal/kg. Por último, la inclusión de 6 o 12% de GSDS no afectó el comportamiento productivo en pollos y gallinas además de mejorar la pigmentación de la yema del huevo y la piel del pollo.

Abstract

In order to study the bioavailability of phosphorus (Pi), crude protein (CP), amino acids (AA), apparent metabolizable energy (AMEn), growth performance, carcass yield and efficiency pigmenting egg yolk, skin and fat abdominal two samples of Distillers Dried Grains with Solubles (DDGS) A and B reduced oil (A = B = 6.54% and 5.39%) in broilers and laying hens. 2 were conducted experimental parts. In the first part, conducted two experiments: in Experiment 1, 210 male chicks 7-21 days old Ross 308 strain were used, randomly allocated to 21 pens with 7 treatments of 3 reps with 10 birds each one. The treatments consisted of supplementation to sorghum-soybean meal basal diet deficient in available phosphorus (0.14% of Pi) with 0.05% and 0.10% phosphorus from monophosphate (FMD) or DDGS A and B. At 21 days old data tepid ash, the relative bioavailability of Pi by comparison method slope technique. In Experiment 2, 200 male chicks 7-21 days old Ross 308 strain were randomly divided into 20 pens with 5 treatments with 4 replicates with 10 birds each were used. Treatments consisted of adding to a control diet sorghum-soybean meal with 5 or 10% of DDGS A and B in oil and low bioavailability and AA determined AMEn. In the second experimental part, 2 experiments were conducted. In Experiment 1, 360 hens were used White Bovans lineage of 69-77 weeks old; a completely randomized design with 5 treatments with 6 replicates of 12 birds each were used. Treatments consisted of a control diet sorghum-soybean meal with 6 or 12% of A and B DDGS low in oil. In Experiment 2, 375 broilers were used 0 to 42 days of age, where a completely randomized design with 5 treatments with 3 replicates of 25 chicks each were used. Treatments, in both experiments consisted of a basal diet supplemented sorghum-soybean meal with 0, 6 and 12% of DDGS A and B respectively low in oil. The results of Experiment 1 in the first experimental part, for weight gain and feed intake increased as the phosphorus level in the diet increased. With the data obtained from phosphorus intake and percentage of ash in tibia the relative bioavailability of Pi (72 and 86% for DDGS A and B respectively) was determined, which were higher than estimated by the NRC (1994) value based values in tables

and non phytate phosphorus content. The results of Experiment 2 for weight gain, feed intake and feed conversion showed no differences ($P > 0.05$) between treatments for the inclusion of 5 and 10% DDGS A and B in the diet were detected. The coefficients of apparent ileal digestibility of AA (methionine, cystine, lysine, threonine, arginine, leucine, isoleucine, valine, phenylalanine, histidine) showed no difference ($P > 0.05$) between samples averaged 76.5%. AMEn data from dry basis of the two samples A and B were DDGS 2828 and 2854 kcal / kg respectively. The results of Experiment 1 of the second experimental part, showed no statistically significant differences ($P > 0.05$) between treatments. The results of the color of the egg yolk, showed a linear increase in redness and yellowness, as the level of inclusion of DDGS increased A or B. The results of Experiment 2, in 42 days of experimentation, carcass yield and abdominal fat showed no statistical differences ($P < 0.05$) between treatments. The results of skin pigmentation in carcass with viscera, carcass chilling and abdominal fat increased ($P < 0.05$) with the inclusion of DDGS A or B. With the results obtained in the present study, we can conclude that DDGS A and B were Pi bioavailability of 72 and 86% respectively, the coefficients of apparent ileal digestibility of AA was on average 76.5%, the content of AMEn 2828 and 2854 kcal / kg. Finally, the inclusion of 6 or 12% DDGS did not affect performance in chicks and improved pigmentation of egg yolk and broiler skin.

Contenido

Lista de Cuadros.....	x
Lista de Figuras.....	XII
Abreviaturas.....	XIII
I.Introducción.....	1
II.Revisión de Literatura.....	3
Generalidades sobre GSDS convencionales.....	3
Contenido y biodisponibilidad de fósforo en GSDS.....	13
Digestibilidad de proteína y aminoácidos en GSDS.....	15
Energía metabolizable en GSDS.....	19
Contenido y biodisponibilidad de pigmentos en GSDS.....	23
El uso de GSDS en la alimentación de las aves.....	25
GSDS bajos en aceite un nuevo co-producto.....	30
III.Objetivos.....	33
IV.Hipótesis.....	35
V. Parte experimental I. Biodisponibilidad de fósforo, aminoácidos y energía de granos secos de destilería con solubles bajos en aceite para el pollo de engorda.....	36
Resumen.....	36
Introducción.....	37
Material y métodos.....	38
Resultados y discusión.....	41
Conclusiones.....	45
Referencias.....	46

VI. Parte experimental II. El uso de granos secos de destilería con solubles (GSDS) bajos en aceite en dietas para pollos y gallinas y su eficiencia pigmentante en yema de huevo y piel del pollo.....	57
Resumen.....	57
Introducción.....	58
Material y métodos.....	59
Resultados y discusión.....	62
Conclusiones.....	66
Referencias.....	67
VII. Artículo I. Aceptado para su publicación en la Revista Brazilian Journal of Poultry Science vol. 17, No. 2, 2015. Effect of feeding low-oil DDGS to laying hens and broiler chickens on performance and egg yolk and skin pigmentation.....	80
VIII. Artículo II. En revisión para su publicación en la Revista Brazilian Journal of Poultry Science. Phosphorus Bioavailability, Amino Acid Digestibility, and Metabolizable Energy of Low-Oil Distillers Dried Grains With Solubles in Broiler Chickens.....	103
IX. Referencias.....	124

Lista de Cuadros	Pag.
Cuadro 1. Variación del contenido de minerales en tres muestras de GSDS en diferentes partes del procesamiento de GSDS.....	5
Cuadro 2. Análisis químicos de muestras de GSDS de diferentes plantas productoras de etanol en EUA reportados por distintos autores.....	8
Cuadro 3. Composición química de GSDS citada por algunos autores.....	9
Cuadro 4. Contenido de micotoxinas de varias muestras de GSDS provenientes de diferentes plantas productoras de etanol (Zhang et al, 2009).....	12
Cuadro 5. Contenido de fósforo total en muestras de GSDS reportadas por distintos autores.....	14
Cuadro 6. Contenido de aminoácidos esenciales y no esenciales en diferentes muestras de GSDS convencionales.....	16
Cuadro 7. Promedio de EMV _n en diferentes muestras de GSDS obtenidas por cuatro autores en pollos de engorda.....	20
Cuadro 8. Contenido de xantofilas totales en muestras de GSDS determinadas por tres autores.....	23
Cuadros presentes en la parte experimental I	
Cuadro 1. Análisis químicos, energía bruta, calcio y fósforo de dos muestras de GSDS bajos en aceite.....	50
Cuadro 2. Composición de la dieta basal para pollos de 7-21 días de edad (Exp. 1).....	51
Cuadro 3. Composición de las dietas experimentales para pollos de 7-21	52

días con diferentes cantidades de GSDS A y B bajos en aceite (Exp. 2).....

Cuadro 4. Resultados de parámetros productivos, consumo de fósforo y porcentaje de cenizas en tibias en pollos de 7-21 días de edad (Exp. 1)..... 53

Cuadro 5. Contenido de aminoácidos total y digestible de las muestras de GSDS A y B empleadas en las dietas experimentales para pollos de 1-21 días de edad (Exp. 2)..... 54

Cuadro 6. Resultados obtenidos en pollos de engorda de 7 – 21 días para ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia (Exp. 2)... 55

Cuadros presentes en la parte experimental II

Cuadro 1: Composición química y valores de luminisidad (L*), enrojecimiento (a*) y amarillamiento (b*) de las dos muestras de GSDS bajos en aceite..... 70

Cuadro 2: Composición de las dietas experimentales para gallinas Bovans White de 69 semanas (Exp. 1) en kg..... 71

Cuadro 3: Composición de las dietas experimentales para pollos de engorda de 0 a 10 días de edad (Exp. 2) en kg..... 72

Cuadro 4: Composición de las dietas experimentales para pollos de engorda de 11 a 21 días de edad (Exp. 2) en kg..... 73

Cuadro 5: Composición de las dietas experimentales para pollos de engorda de 22 a 42 días de edad (Exp. 2) en kg..... 74

Cuadro 6: Parámetros productivos obtenidos en gallinas de postura en 14 semanas de experimentación (Exp 1)..... 75

Cuadro 7: Valores de Luminosidad (L*), enrojecimiento (a*), amarillamiento

(b*), y los obtenidos mediante el abanico de DSM en 8 semanas de experimentación (Exp. 1).....	76
--	----

Cuadro 8: Resultados de los parámetros productivos de pollos de engorda en 42 días de edad (Exp. 2).....	77
---	----

Cuadro 9: Rendimiento en canal y peso de la grasa abdominal en pollos de engorda a los 42 días de edad (Exp. 2).....	78
---	----

Cuadro 10: Resultados de amarillamiento (b) en la piel de pollos de engorda en 42 días de edad (Exp. 2).....	79
---	----

Lista de Figuras

Figura 1. Localización de las plantas productoras de etanol en Estados Unidos.....	4
Figura 2. Proceso general en la producción de GSDS a partir del grano de maíz.....	7

Figuras presentes en la parte experimental I

Figura 1. Respuesta en cenizas de tibias al incrementar los niveles de fósforo a partir de fosfato mono-dicálcico o de GSDS A y B en pollos de 8 a 21 días de edad.....	56
--	----

Abreviaturas

a*: Enrojecimiento.

AA: Aminoácidos.

b*: Amarillamiento.

CED: Concentración Estandarizada Digestible.

DDGS: Distillers dried grains with soluble.

DSM: Dutchland South Mine (Abanico DSM).

EB: Energía Bruta.

EDI: Energía digestible ileal

EM: Energía Metabolizable.

EMA: Energía Metabolizable Aparente.

EMAn: Energía Metabolizable Aparente Corregida a Nitrógeno.

EM_n: Energía Metabolizable Corregida a Nitrógeno.

EMV_n: Energía Metabolizable Verdadera Corregida a Nitrógeno.

EN: Energía Neta.

FEDNA: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal.

FMD: Fosfato mono-dicálcico.

GSD: Granos secos de destilería.

GSDS: Granos Secos de Destilería con Solubles.

L*: Luminosidad.

NRC: National Research Council.

PC: Proteína Cruda.

Pi: Fósforo inorgánico.

PNA: Polisacáridos no amiláceos.

EUA: Estados Unidos de América.

I. Introducción

La política de producción de biocombustibles aunado a los cambios en el mercado energético, han contribuido a un aumento significativo en la producción global de biocombustibles en los últimos años. En el año 2010, se empleó un estimado de 95 millones de toneladas de grano para producir etanol, de los cuales 47.5 millones de toneladas se ofrecieron en el mercado como co-producto en la alimentación animal (Licht, 2011). Además, se estimó una producción global de biodisel en 2010 de 17.9 millones de toneladas y se proyectó un incremento de 21 millones de toneladas para el año 2011 (Rosentrater et al, 2011). Actualmente, la gran mayoría de las plantas productoras de etanol, remueven parcialmente el aceite a partir de los solubles de destilería condensados del maíz al final del proceso mediante centrifugación para la obtención de biodisel, esto trae como consecuencia la generación de un nuevo co-producto llamados GSDS bajos en aceite. Este co-producto tiene menor contenido de grasa y ligeramente mayor concentración de proteína y otros nutrientes contenidos en los GSDS convencionales. Por otra parte, la importación de estos nuevos GSDS bajos en aceite cada vez será mayor en México y América latina (U.S. Grains Council, 2014). Sin embargo, el conocimiento sobre la digestibilidad de aminoácidos, biodisponibilidad fósforo y contenido de energía metabolizable de este nuevo ingrediente es escasa, Kim et al. (2008a) reportaron una biodisponibilidad de fósforo del 60 y 56% en GSDS con 10 y 2.9% de grasa) y similar digestibilidad de aminoácidos en ambos GSDS en pollos de engorda. Lumpinks y Batal (2005), encontraron biodisponibilidad del 68 y 80% para lisina y fósforo respectivamente empleando GSDS con 9.8% de grasa en pollos de engorda. Pahm et al. (2009), indicaron una biodisponibilidad de lisina de 69% en 7 muestras de GSDS que contenían de 9.0 a 13.2% de grasa. Por otro lado, la extracción de aceite en los GSDS, reduce el contenido de xantofilas en relación a los GSDS convencionales (Winkler y Vaughn, 2009). El contenido de luteína y zeaxantina, se ha informado

que los GSDS bajos en aceite contienen cantidades menores (10 a 30 mg/g) en relación a los convencionales (25-50 mg/g) (Winkler y Vaughn, 2009; Moreau et al. 2010). Roberson et al. (2005), indican que al incluir hasta 15% de GSDS convencionales en dietas para gallinas ligeras, hubo un incremento en el color de la yema. De igual manera en gallinas Bovans White de segundo ciclo de postura, Loar et al. (2010), señalan que conforme aumentó la inclusión de GSDS convencionales en la dieta, se incrementó el color de la yema. En un estudio realizado en pollos de engorda, incluyeron 0, 6, 12, 18 y 24 % de GSDS convencionales, los autores encontraron que con los diferentes porcentajes de GSDS en la dieta, no mostraron cambios significativos en la pigmentación de la carne de pechuga cocinada (Schilling et al, 2010). Sin embargo, no hay reportes de investigación sobre el efecto pigmentante de la yema de huevo y piel de pollo de engorda mediante el uso de GSDS bajos en aceite en dietas sorgo-soya para pollos y gallinas, ya que en México resulta importante la pigmentación de la yema y la piel en las canales del pollo para su adecuada comercialización (Cuca et al, 2009).

Con estos antecedentes, surgió la necesidad de reevaluar en pollos de engorda la biodisponibilidad de fósforo, digestibilidad ileal de aminoácidos, contenido de energía metabolizable, rendimiento productivo, rendimiento de la canal y la capacidad pigmentante de la yema de huevo así como de la piel del pollo a partir de dos muestras de GSDS "A" y "B" bajos en aceite (6.53 y 5.35%) en dietas sorgo+pasta de soya; ya que esto permitirá generar nueva información al respecto empleando este nuevo co-producto.

II. Revisión de literatura

Generalidades sobre GSDS

Los granos secos de destilería con solubles son un co-producto de la industria de la bio-destilación para la obtención del etanol a partir de la fermentación de almidones de granos de cereales con levaduras *Saccharomyces cerevisiae* (Loar et al, 2010). Aproximadamente de un bushel de maíz (26 kg) que es procesado para la producción de etanol, se obtienen 8kg de granos de destilería, 8kg de dióxido de carbono y 10 litros de etanol (Hoffman y Baker, 2010).

El maíz es la principal fuente de almidones para la producción de etanol en los Estados Unidos de Norteamérica (Fastinger et al, 2006). El bioetanol puede ser producido a partir de muchos granos tales como el sorgo, trigo, centeno, cebada o la combinación de estos granos dependiendo de la disponibilidad o región geográfica (Cuca et al, 2009). A pesar de que los GSDS pueden ser producidos a partir de la fermentación de varios granos, la producción de etanol a partir de maíz, ha sido la industria más exitosa económicamente y a gran escala (Rosentrater, 2005). Los GSDS producidos en las nuevas plantas de etanol mediante procesos industriales con alta tecnología, han favorecido la uniformidad de este co-producto, con lo cual aunado al volumen generado, a la disponibilidad y costo del mismo, convierten a los GSDS en una alternativa real como ingrediente para la nutrición de las aves (Fastinger et al, 2006).

Actualmente existen 200 plantas productoras de GSDS en Estados Unidos distribuidas en diferentes estados tal como se aprecia en la Figura1, estas plantas tienen la capacidad de producir 14 billones de galones de etanol y 30 millones de toneladas de GSDS (U.S. Grains Council, 2014).

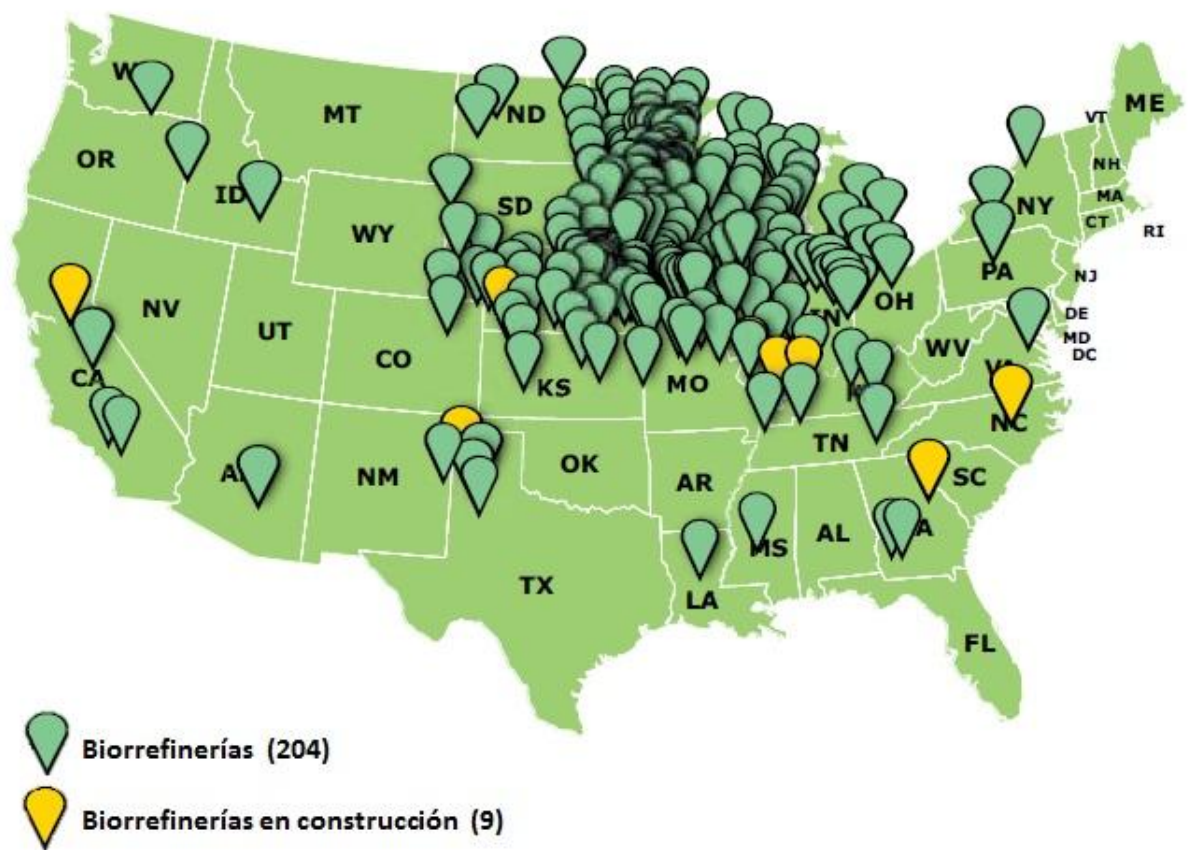


Figura 1. Ubicación de las plantas productoras de etanol en Estados Unidos (Modificado de: Keshun y Rosentrater 2012)

Los GSDS han sido utilizados ampliamente en la alimentación animal, predominantemente en rumiantes, por ejemplo, las vacas lecheras consumen aproximadamente el 42%, seguido por el ganado de engorda (38%), producción porcina (14%) y la producción avícola (5%) (Kalscheur et al, 2006, Noll y Brannon, 2008).

Las principales exportaciones de GSDS provenientes de Estados Unidos de América son dirigidas a México, representando en el 2011, alrededor del 22% de las exportaciones totales de EUA seguido por China (19%). Sin embargo para el

periodo de enero a noviembre del 2013, el primer lugar en cuanto a la importación de GSDS fue China, seguido de México (U.S. Grains Council, 2014).

Los GSDS como ingredientes en la alimentación de las aves, son una fuente considerable de proteína (PC), aminoácidos (AA), fósforo y en menor grado de energía. Sin embargo, una limitante de su empleo desde hace algunos años es la gran variabilidad en el contenido de nutrientes y su calidad (Cuca et al, 2009). En cuanto al contenido de minerales, cerca del 95% de los minerales en los cereales consiste en fosfatos y sulfatos de potasio, magnesio y calcio. Parte del fósforo está presente en forma de fitato (Schlemmer et al, 2009). Los minerales traza como el hierro, manganeso, zinc y cobre están presentes en pequeñas cantidades. Durante el proceso de secado de los GSDS, los minerales en su forma original en los ingredientes como el maíz, son concentrados tres veces más en los GSDS respecto al grano original. Sin embargo el sodio, azufre y calcio fueron encontrados en más de tres veces la cantidad respecto al maíz, presumiblemente debido a la adición de compuestos que contienen esos minerales durante el proceso (Liu y Han, 2001) Por otro lado, los autores anteriores indican que existe una gran variabilidad en el contenido de minerales en las diferentes etapas del proceso de producción de GSDS. En el Cuadro 1, se puede ver el contenido promedio de minerales de tres muestras de GSDS comparado con el promedio de tres muestras de masa fermentada de GSDS y de solubles condensados.

Cuadro 1. Variación del contenido de minerales en tres muestras de GSDS en diferentes partes del procesamiento de GSDS

Muestra	K	P	Mg	S	Na	Ca	Fe	Zn	Mn	Cl
Masa fermentada	4.17	3.94	3.89	6.82	314.7	6.40	2.45	3.38	3.81	3.43
Solubles condensados	7.77	6.41	6.73	9.74	699.5	9.13	3.55	3.60	5.06	4.11
GSDS	2.92	2.95	2.85	6.40	262.7	5.13	2.38	2.92	2.97	2.90

Keshun y Rosentrater (2012)

Los GSDS, se obtienen como producto del proceso de fermentación del almidón con levaduras del género *Saccharomyces cerevisiae*, el cual se describe de forma esquemática en la Figura 2 (Davis, 2001, Keshun y Rosentrater 2012), e incluye los siguientes pasos:

1.-Limpieza del maíz para disminuir el riesgo de contaminación por material extraño.

2.-Molienda del grano en molino de martillos, con el fin de reducir el tamaño de las partículas de maíz y exponer al almidón al proceso de fermentación.

3.-El maíz molido es mezclado con agua, para posteriormente, pasar por una estufa de chorro con el fin de eliminar microorganismos que pueden competir con la levadura durante la fermentación.

4.-Licuefacción, con la acción de la enzima alfa amilasa que rompe las uniones alfa 1-4 glucosídicas, dando principalmente como resultado dextrosa y maltosa, además de glucosa, maltotriosa y tetrosa.

5.- Sacarificación y fermentación simultanea. La enzima glucoamilasa es empleada para romper la dextrina de los azúcares. Los azúcares posteriormente son fermentados por la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Durante esta fase, el dióxido de carbono producido es ventilado a la atmósfera.

6.-La masa fermentada es llevada al proceso de destilación para producir etanol, que es el producto principal, separando los residuos del maíz con los solubles (destilado entero).

7.-Los residuos de maíz con solubles se centrifugan. La centrifugación separa a los granos húmedos de destilería y el líquido destilado. El líquido destilado se

concentra en un evaporador y se venden como solubles de destilería o se mezcla con los granos húmedos y se secan para dar como resultado a los granos secos de destilería con solubles.

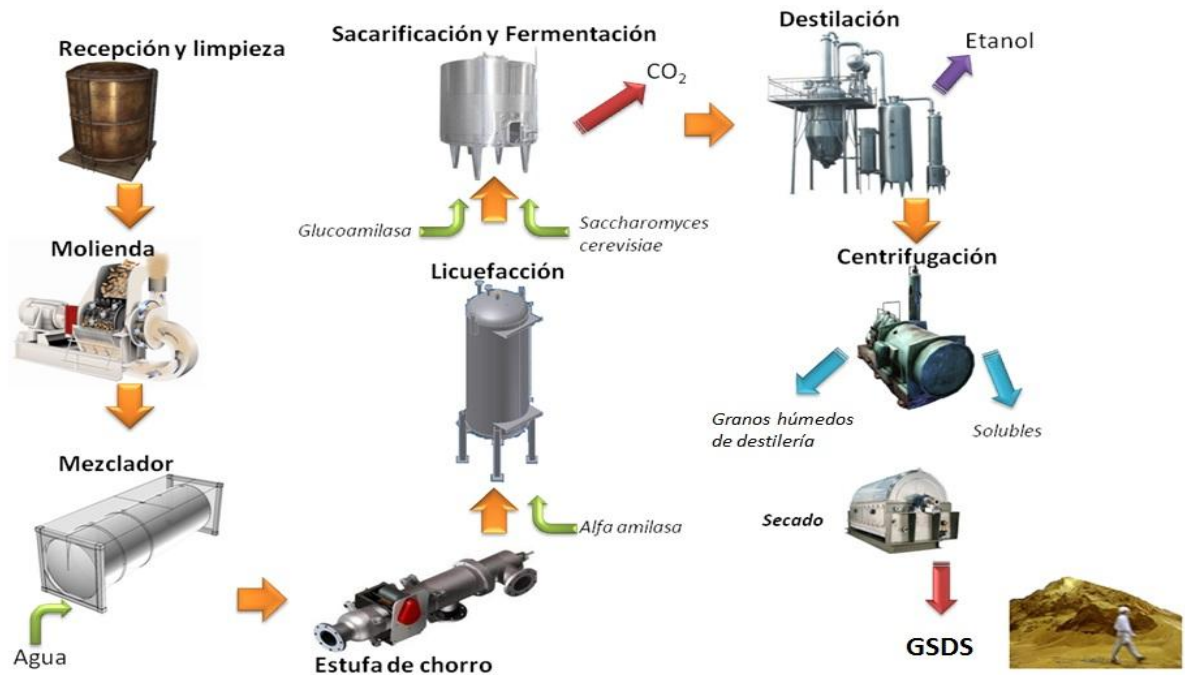


Figura 2. Proceso general en la producción de GSDS a partir del grano de maíz (Keshun y Rosentrater, 2012).

De la producción de etanol, se generan tres productos: etanol (principal producto), residuos de maíz no fermentable (GSDS) dirigidos a la industria de los alimentos para animales y por último el dióxido de carbono, el cual es dirigido a los mercados de gas comprimido o bien es eliminado al medio ambiente (U.S Grains Council, 2008). La incorporación global de etanol en las mezclas de gasolina empleadas para el área automotriz alcanzó el 5.4% en 2008 en países como Estados Unidos el etanol es empleado en un 10% (United Nations Environment Programme, 2009).

Los GSDS altos en proteína (35-57%), regularmente contienen bajas cantidades de aceite (2.86-4.12%), esto es debido a que contienen una gran cantidad de

germen (alto en proteína), y a que se le ha extraído parcialmente el aceite (Díaz y Rosentrater, 2012; Rochelle et al, 2011). Para la obtención de GSDS bajos en aceite, el aceite es parcialmente extraído después de la fermentación y antes del proceso de secado, generalmente por centrifugación (Díaz y Rosentrater, 2012; Shurson et al, 2012; Schulze, 2013). Después de la extracción de una gran parte del aceite (3.5-7.5%), el contenido de energía metabolizable disminuye (2540 kcal/kg aproximadamente); sin embargo, el contenido de otros nutrientes como la proteína aumenta (27.5-30%), dando como resultado un nuevo coproducto llamado GSDS bajos en aceite (Rochelle et al, 2011; Noll y Purdum, 2013). Algunos estudios reportan datos del análisis químico de varias muestras de GSDS analizadas en el laboratorio con el método de Kjeldahl (materia seca, proteína, aceite, cenizas, almidones, azúcares totales y fibra cruda), tal como se puede apreciar en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Análisis químicos de muestras de GSDS de diferentes plantas productoras de etanol en EUA reportados por distintos autores.

Nutriente	Spiels et al. (2002)	Belyea et al. (2004)	Liu (2008)
No. de muestras	118	235	6
Materia seca	88.9	ND	ND
Proteína	30.2	31.4	27.4
Aceite	10.9	12.0	11.17
Cenizas	5.8	4.6	4.4
Almidones	ND	5.3	4.9
Azúcares totales	53.1	52.1	56.5
Fibra cruda	8.8	10.2	ND

A inicios de 2011, se estimó que aproximadamente una tercera parte de las plantas productoras de etanol en EUA incrementaron la extracción de aceite para

la obtención de biodiesel, dando como resultado la generación de GSDS bajos en aceite (USDA, 2011, Keshun y Rosentrater, 2012). El aceite obtenido también es utilizado para la producción de compuestos fitoquímicos (tocotrienos, fitoesteroles, tocoferoles entre otros), empleados como alimentos funcionales, cosméticos y como suplementos dietéticos (Keshun y Rosentrater, 2012).

La composición nutricional de los GSDS citada por algunos investigadores se pueden observar en el Cuadro 3, donde se presentan los datos de GSDS convencionales y GSDS bajos en aceite (FEDNA, 2012; Waldroup et al, 2007; Rochelle et al, 2011; Guney et al, 2013). En específico, el contenido de aceite en GSDS convencionales es del 7 al 12%, con un valor promedio de 10% (Salim et al, 2010). Los principales ácidos grasos que componen a los GSDS son: el ácido linoleico, seguido de los ácidos oleico, palmítico, esteárico y linolénico (Keshun y Rosentrater, 2012; FEDNA, 2012). En el caso de los GSDS bajos en aceite (2.5-7.0%), presentan un menor valor energético al contener menor cantidad de aceite (Díaz y Rosentrater, 2012).

Cuadro 3. Composición química de GSDS citada por algunos autores.

Nutriente %	*FEDNA (2013)	*Waldroup et al. (2007)	**Rochelle (2011)	**Guney et al. (2013)
Proteína	25	26.4	34.7	27.8
Extracto etéreo	9.3	10.1	3.15	4.52
Fibra cruda	7.8	6.7	8.69	6.29
Metionina digestible	0.45	0.43	ND	ND
Cistina digestible	ND	0.42	ND	ND
Treonina digestible	0.89	0.72	ND	ND
Triptofano digestible	0.19	0.18	ND	ND
Fenilalanina digestible	ND	1.15	ND	ND
Leucina digestible	ND	2.70	ND	ND
Isoleucina digestible	0.93	0.78	ND	ND
Calcio	0.07	0.07	ND	ND

Fósforo total	0.78	0.77	ND	ND
Fósforo disponible	0.52	0.48	ND	ND
EM (kcal/kg)	2310	2845	2146	2940

* Datos de GSDS convencionales **Datos de GSDS bajos en aceite ND: No determinado

Durante el procesamiento de molienda seca, los azúcares son convertidos en azúcares simples los cuales son fermentados a etanol y dióxido de carbono. Sin embargo, algunos carbohidratos como las paredes celulares, permanecen relativamente sin cambios químicos. Los GSDS también contienen compuestos orgánicos que están presentes en el grano o generados durante el proceso. Existen carbohidratos que permanecen intactos durante el procesamiento por lo que hay residuos de carbohidratos y azúcares en el nuevo co-producto (Liu, 2008). La composición de azúcares difiere entre las mismas muestras de GSDS, en general entre los principales azúcares que los componen se encuentra la glucosa (11.9%), xilosa (8.5%), glicerol (7.8%), arabinosa (6.4%), galactosa (1.9%) y manosa (1.6%). Estos azúcares se encuentran en forma compuesta o compleja en las paredes celulares y estos son determinados después de la hidrólisis. Dichos carbohidratos complejos consisten de glucanos (residuos de carbohidratos y celulosa), xilanos y arabinoxilanos con un total de carbohidratos de 59% en los GSDS (Kim et al, 2008b).

Por otro lado, el tamaño de la partícula ha sido demostrado que afecta el volumen, la aceptabilidad y digestibilidad cuando se emplean GSDS en dietas para animales (Abbott et al, 1991, Wondra et al, 1995). En un estudio realizado por Liu (2008), encontró que el tamaño de las partículas de 11 muestras de GSDS se encontraba entre 0.5 y 1.0 mm de diámetro, con un promedio de 0.660mm de diámetro. Este estudio demostró que existe una gran variación en la composición química entre las muestras de diferentes plantas procesadoras de GSDS. Muy pocas muestras de GSDS contienen altas cantidades de carbohidratos residuales

(11.1 a 17.6%) en materia seca contra 5% para el resto. A pesar de que el tamaño de la partícula y el color tienen una baja correlación con la composición de los GSDS, sin embargo, existen pocos estudios respecto al tamaño de la partícula.

Por otro lado, las micotoxinas son contaminantes inevitables de las semillas en el campo agrícola y en condiciones de almacenamiento, por lo tanto dependiendo de ello, serán el tipo y cantidad de micotoxinas que se pueden presentar en el maíz empleado para la producción de etanol (CAST, 2003). Varias micotoxinas pueden ser encontradas en el maíz como: aflatoxinas, deoxinivalenol, fumonisinas, tricotecenos, y zearalenona. Estas micotoxinas pueden estar presentes desde el desarrollo de la semilla, hasta la cosecha dependiendo de algunos factores como la temperatura y exceso de humedad en el medio ambiente donde se siembra el grano. Al final del proceso de fermentación del maíz para la producción de GSDS, estos pueden concentrarse hasta tener tres veces la cantidad de micotoxinas que contiene el grano original si este estuviera contaminado (Bothast et al 1992), pero no se generan las micotoxinas por el proceso; por lo cual en caso de no estar contaminado, no tendrán micotoxinas. Como resultado de esto, las plantas productoras de etanol, han tenido una mayor atención en el control de calidad de los granos empleados en la producción de etanol y evitar que los GSDS como co-producto se contamine con micotoxinas (Benett y Richard, 1996).

En un estudio realizado por Zhang et al. (2009) determinaron aflatoxinas, deoxinivalenol, fumonisina, tricotecenos, y zearalenona en 162 muestras de GSDS convencionales provenientes de diferentes plantas productoras de etanol y encontraron que solo dos muestras de GSDS en la planta A y ocho muestras de GSDS de cuatro plantas combinadas, se obtuvieron datos por encima de las 5 ppm de fumonisina, estos datos se pueden observar en el Cuadro 4. Sin embargo a pesar de estos resultados, todas las 162 muestras presentaron valores del contenido de micotoxinas que estuvieron por debajo del nivel permitido por la FDA de Estados Unidos para su uso en la alimentación de animales, lo cual indica que

los productores de etanol de los Estados Unidos de América, cada vez tienen mayor control de calidad en la compra de maíz y su empleo en la producción de etanol y GSDS para evitar la contaminación con micotoxinas y poder exportar GSDS en todo el mundo.

Cuadro 4. Contenido de micotoxinas de varias muestras de GSDS provenientes de diferentes plantas productoras de etanol (Zhang et al, 2009).

Micotoxina	# Muestra	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio
		1	2	3
Planta A				
Aflatoxina (ppb)	69	<1	2.56	0.08
Deoxinivalenol (ppm)	69	<0.1	1.42	0.64
Fumonisina (ppm)	69	0.12	5.88	2.33
Tricotecenos (ppm)	69	<0.1	<0.1	0.0
Zearalenona (ppm)	69	<0.05	0.123	0.025
Planta B				
Aflatoxina (ppb)	16	<1	1.21	0.15
Deoxinivalenol (ppm)	16	0.13	1.68	1.02
Fumonisina (ppm)	16	0.28	2.77	1.47
Tricotecenos (ppm)	16	<0.1	<0.1	0.0
Zearalenona (ppm)	16	<0.05	0.113	0.042

4 plantas				
Aflatoxina (ppb)	77	<0.1	1.12	0.01
Deoxinivalenol (ppm)	77	0.2	1.9	0.5
Fumonisina (ppm)	77	<0.2	7.2	2.7
Tricotecenos (ppm)	ND	ND	ND	ND
Zearalenona (ppm)	77	<0.2	<0.2	0.0

Las micotoxinas de mayor importancia en aves, son principalmente las producidas por los hongos del género *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*, los cuales contaminan en la pre-cosecha, durante la cosecha, en el almacenamiento de los granos o ingredientes o bien durante la elaboración de alimentos si las condiciones climáticas no son adecuadas (Díaz, 2005). En la actualidad, la mayoría de las empresas productoras de alimentos incluyen secuestrantes de micotoxinas como los aluminosilicatos, mananoligosacáridos y paredes celulares solas o en combinación para controlar el impacto negativo de las micotoxinas en la productividad de las aves (Cuca et al, 2009).

Contenido y biodisponibilidad de fósforo en GSDS

La biodisponibilidad de fósforo en el maíz es en promedio del 30%, mientras que en los GSDS es mucho más elevado debido a que el calor destruye el fitato durante el proceso de secado y a la adición de enzimas microbianas amilolíticas y fitasas durante la fermentación (Martínez et al, 2004; Martínez y Parsons, 2007). Los GSDS son una buena fuente de fósforo, contienen 0.72% de fósforo total (NRC, 1994). Los solubles de los GSDS de maíz contienen tres veces más fósforo que el grano original, con un rango entre 0.59-0.95% (Spiehs et al, 2002; Stein et al, 2009; Kim et al, 2010). Esta diferencia, se atribuye a la cantidad de solubles

contenidos al final en los GSDS (Martínez et al., 2004). En el Cuadro 5, se pueden observar datos del contenido de fósforo total en muestras de GSDS analizadas por varios autores.

Cuadro 5. Contenido de fósforo total en muestras de GSDS reportadas por distintos autores.

Autor	Fósforo total %
Martínez et al. (2004)	0.77
Lumpkins y Batal (2005)	0.74
Cheon et al. (2008)	0.77
Kim et al. (2008)	0.76
Salim et al. (2010)	0.76
Pekel et al. (2013)	0.72

En investigaciones realizadas por Martínez et al. (2004) indicaron que los valores de biodisponibilidad de fósforo en GSDS son más altos que los reportados por el NRC 1994, ya que en los solubles existe una mayor cantidad de este elemento. Además, estimaron la biodisponibilidad de fósforo mediante los valores de cenizas en tibias empleando el método de comparación de pendientes y encontraron una biodisponibilidad relativa de fósforo en un rango de 69-102% entre muestras de GSDS con diferentes porcentajes de digestibilidad de lisina. La biodisponibilidad de fósforo de GSDS aparenta ser inversamente correlacionada a la digestibilidad de lisina y algunos autores sugieren que el daño por calor reduce la digestibilidad de lisina pero incrementa la biodisponibilidad de fósforo (Noll et al, 2007, Loar et al, 2009). En un estudio realizado por Lumpkins y Batal (2005) determinaron la biodisponibilidad de fósforo en dos muestras de GSDS en relación al ácido

fosfórico dipotásico como 100% disponible y observaron biodisponibilidades del 68 y 54%.

Por otro lado, la adición de enzimas fitasas comerciales liberan de 0.049% a 0.072% de fósforo biodisponible, lo que representa de 20 a 28% más de fósforo disponible. Sin embargo, la eficacia de la enzima fitasa depende de la cantidad de fitatos contenidos en los GSDS, la cual puede ser alterada por el efecto del calor durante el proceso de secado (Martínez et al, 2006).

En algunas investigaciones han encontrado que el contenido de fósforo en los GSDS altos en proteína (50%) es más bajo que los GSDS convencionales (0.3% vs 0.7% respectivamente), sin embargo, esto se ha evaluado en solo algunas muestras de GSDS altos en proteína. Kim et al. (2008) y Jung y Batal (2003) mostraron una relativa biodisponibilidad de fósforo de solo 25 a 30% respecto al ácido fosfórico dipotásico en muestras de germen de maíz deshidratado. El contenido de fósforo y presumiblemente la disponibilidad de este mineral en los co-productos del maíz fraccionado previo a la fermentación, dependen en forma crítica del método de fragmentación empleada (Martínez et al, 2007; Kim et al, 2008b, Jung y Batal, 2009).

Digestibilidad de proteína y aminoácidos en GSDS

El contenido de proteína varía entre 23-32%, este amplio rango es debido a las diferencias en el contenido de proteína y almidones en el grano de maíz usado para producir GSDS (Paham et al, 2009) Por lo que el contenido total de AA puede variar, en el caso de metionina la literatura indica un rango de 0.42-0.65% (Batal y Dale, 2006). El contenido de AA en los GSDS pueden variar sustancialmente, por ejemplo, la concentración del primer AA limitante en las aves que es la metionina, se encuentra en un rango de 0.42% a 0.65% (Sphies et al, 2002; Fastinger et al, 2006); el aporte de AA en los GSDS está entre las principales razones para incluir

este co-producto en la formulación de raciones para aves. Algunos investigadores, han informado el contenido de proteína y aminoácidos esenciales y no esenciales de varias muestras de GSDS convencionales, tal como se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Contenido de aminoácidos esenciales y no esenciales en diferentes muestras de GSDS convencionales.

Aminoácido	Batal y Dale (2006)	Han y Liu (2010)	Kim et al. (2008a)
No. de Muestra	8	3	1
Esenciales %			
Arginina	1.09	1.29	1.4
Histidina	0.69	0.91	0.8
Isoleucina	0.97	1.03	1.1
Leucina	3.05	3.50	3.3
Lisina	0.71	1.04	1.0
Metionina	0.54	0.72	0.6
Fenilalanina	1.31	1.50	1.4
Treonina	0.96	1.17	1.1
Triptofano	0.20	ND	0.2
Valina	1.33	1.56	1.5
No esenciales %			
Alanina	1.78	2.07	1.9
Acido aspártico	1.75	1.97	1.7
Cistina	0.56	0.57	0.5
Glutamina	3.49	5.48	3.3
Glicina	ND	1.19	1.1
Prolina	1.99	2.19	2.0
Serina	1.09	1.45	1.2
Tirosina	0.96	1.02	1.2

ND= Dato no disponible

Nota: Los nutrientes son expresados en base seca, excepto en los de Batal y Dale los datos son expresados en base húmeda.

La digestibilidad verdadera de AA de los GSDS varía entre las plantas de etanol principalmente por el efecto del proceso, incluyendo la fermentación, y en particular las elevadas temperaturas y tiempo de secado (Batal y Dale, 2006; Fontaine et al, 2007). Las temperaturas elevadas disminuyen la digestibilidad de los AA. En primera instancia la digestibilidad de lisina varía sustancialmente ya que este AA es el más susceptible al calor debido a que el grupo amino épsilon reacciona con azúcares reducidos (reacción de Maillard), con lo que disminuye la biodisponibilidad (Fastinger et al, 2006). Este efecto se debe también a que las aves no producen las enzimas que rompen la unión entre la lisina y los residuos del azúcar provenientes de la reacción de Maillard (Fontaine et al, 2007).

Batal y Dale (2006) investigaron la digestibilidad verdadera de lisina en gallos cecoectomizados de diferentes muestras de GSDS y encontraron que oscilaba entre 46-78% con un promedio de digestibilidad de 70%. Además analizaron el contenido total de lisina y observaron que muestras de GSDS de baja digestibilidad tuvieron 0.39% de lisina total y muestras de GSDS de alta digestibilidad de 0.86% de lisina total. En una investigación realizada por Fastinger et al. (2006) evaluaron la digestibilidad verdadera de AA de cinco muestras diferentes de GSDS y encontraron que la digestibilidad verdadera de lisina fue la que tuvo mayor variación (65% a 82%) respecto a los demás AA, datos que se correlacionaron con el contenido total de lisina en los GSDS, estos autores lo atribuyen al sobrecalentamiento que tuvieron los GSDS durante el proceso.

Es importante indicar que los valores de digestibilidad de lisina en GSDS reportados por el NRC (1994), corresponden a experimentos realizados en aves alimentadas con dietas maíz-soya-GSDS realizados cuando menos hace 30 años,

provenientes de plantas productoras de alcohol de aquella época para consumo humano y no de plantas biodestiladoras de etanol con alta tecnología, por lo que representan dos productos diferentes.

También se ha evaluado *in vitro* por el método de lisina reactiva para predecir la concentración estandarizada digestible (CED) de lisina, encontrando una correlación positiva con la concentración de lisina reactiva, estas reacciones entre aminoácidos y azúcares generan la coloración oscura en los GSDS, lo cual indica el daño que pueden sufrir los aminoácidos y disminuir su digestibilidad (Cromwell et al, 1993; Batal y Dale 2006). Pahn et al. (2009) observaron que la CED de lisina fue correlacionada ($r^2=0.84$, $P<0.05$) con la concentración de lisina reactiva en los GSDS. Estos investigadores concluyen que los valores de lisina reactiva pueden ser empleados para estimar la concentración CED de lisina.

Por otra parte, algunos investigadores han observado que al medir la coloración de muestras de GSDS con el fotocolorímetro de reflectancia y estos muestran una coloración mayormente amarilla; es decir con valores altos en luminosidad (L^*) y amarillamiento (b^*) respectivamente del sistema CieLab, tienden a tener mayores valores de digestibilidad de AA y mayores valores de digestibilidad verdadera de AA (Keshun y Rosentrater, 2012; Kim et al, 2012).

En otro estudio realizado por Ergul et al. (2003) encontraron una correlación positiva entre la digestibilidad de lisina, cistina y treonina con los valores de L^* y b^* de los GSDS. Algunos autores indican que la proporción de solubles contenidos en los GSDS puede cambiar el color de estos, a mayor cantidad de solubles mayor el color café de los GSDS, lo cual se refleja con menores valores de L^* y b^* . Esto se correlaciona con una disminución en la digestibilidad verdadera de lisina (Noll et al, 2007). Sin embargo, otros autores no observaron relación alguna entre la cantidad de solubles contenidos en los GSDS y la digestibilidad verdadera de AA (Martínez y Parsons, 2007).

La digestibilidad de AA puede variar dependiendo de la cantidad de proteína que contengan los GSDS. Los GSDS convencionales contienen en promedio 28% de proteína, mientras que los GSDS altos en proteína contienen 44%; Jung y Batal (2009), indican que el total de lisina contenida en GSDS altos en proteína varía en un rango de 1.13% a 1.38% y que aproximadamente contiene dos veces más de AA, sobre todo de lisina respecto a los GSDS convencionales. Estos autores reportan valores en el contenido total de AA ligeramente más altos que los reportados por Kim et al. (2008a). La digestibilidad verdadera de AA en GSDS altos en proteína es generalmente más alta que los GSDS convencionales, con excepción en lisina, donde no hubo diferencia entre estos GSDS (Jung y Batal, 2009; Kim et al, 2008a).

Applegate *et al.* (2009), sustituyeron 50% de pasta de soya por GSDS alto en proteína (54%) sin afectar el peso corporal de pollos de engorda ni la digestibilidad de AA y concluyen que si es factible reemplazar 50% de la pasta de soya por GSDS, pero aumentará el nitrógeno en las heces por la menor digestibilidad de la PC en los GSDS.

Oryschak *et al.* (2010), realizaron un estudio de digestibilidad ileal de AA para comparar el efecto de extruir o no a los GSDS de maíz y trigo y encontraron un mayor coeficiente de digestibilidad en los pollos alimentados con GSDS extruidos; también resultó mejor el coeficiente de digestibilidad con GSDS de maíz respecto a los GSDS de trigo.

Energía metabolizable en GSDS

El contenido de energía es el principal nutriente que le da valor económico a varios ingredientes seguido por la proteína; sin embargo, es importante conocer la disponibilidad de este nutriente antes de ser incluido en la formulación de

raciones. El contenido de energía metabolizable verdadera corregida a nitrógeno (EMV_n) en los GSDS se ha reportado entre 2308 y 3434 kcal/kg. Algunos investigadores han realizado estudios sobre el contenido de EMV_n en GSDS, por ejemplo Lumpkins et al. (2004) indicaron que una muestra de GSDS contenía 2905 kcal/kg y en otro estudio donde evaluaron 17 muestras de seis diferentes plantas productoras de etanol encontraron un rango en el contenido de EMV_n de 2490 a 3190 kcal/kg (Batal y Dale 2006). Otros autores, encontraron que el contenido de EMV_n de varias muestras de GSDS fue de 2871 kcal/kg con una variación considerable entre las muestras evaluadas (Fastinger et al, 2006). En el cuadro 7, se muestran datos de EMV_n en diferentes muestras de GSDS convencionales obtenidos por algunos investigadores.

Cuadro 7. Promedio de EMV_n en diferentes muestras de GSDS obtenidas por cuatro autores en pollos de engorda.

Autor	Lumpkins et al. (2004)	Rochell et al. (2011)	Adeola y Zhai (2012)	Meloche et al. (2013)
No. de muestras GSDS	1	6	1	15
EMV_n (kcal/kg)	2905	2705	2688	2309

Parson et al. (2006) determinaron el valor de EMV_n en 20 muestras de GSDS con un valor de entre 2863 y 3310 kcal/kg. Sin embargo, Roberson et al. (2005), determinaron la energía metabolizable aparente corregida a nitrógeno (EMA_n) de una muestra de GSDS en gallinas de postura con un valor de 2770 kcal/kg. Esta misma muestra de GSDS la evaluaron en gallos adultos y encontraron que un valor más bajo (4% aproximadamente) respecto al obtenido con gallinas. Waldroup et al. (2007), recomiendan en general un valor promedio de EM de 2851 kcal/kg para GSDS convencionales. Otros autores indican, que existen otros factores que contribuyen en la variabilidad en el contenido de EM independientemente de la zona geográfica, por ejemplo Stein (2009) realizó un estudio de cuatro muestras de GSDS provenientes de diferentes plantas de etanol

ubicadas a 250 km entre ellas y encontraron una variación de 3575-3975 kcal/kg de EM.

Para determinar si la energía bruta puede ser usada para estimar la EMV_n en GSDS, Fastinger et al. (2006), evaluaron cinco muestras de GSDS, basados en el promedio de energía bruta de 4900 kcal/kg y 2871 kcal/kg de EMV_n , lo cual indica que este último valor estuvo cerca del 60% del total de la energía bruta, similar a la relación energía bruta: EMV_n encontrada en ingredientes altos en proteína como la pasta de soya (Leske et al, 1991).

Varios investigadores han empleado la composición química y la energía bruta para estimar el contenido de EM en GSDS convencionales. Batal y Dale (2006), predijeron el contenido de EM utilizando la siguiente ecuación: $EM=2732.7+36.4$ (grasa)-76.3 (fibra)+14.5 (proteína)-26.2 (cenizas) con una $R^2=0.45$. Estos mismos autores indican que la cantidad de solubles en los granos húmedos influye en el contenido de EM.

Noll et al. (2007) reportan que el contenido de solubles contienen tres veces más grasa que los granos húmedos y que la proporción de solubles contenidos en los GSDS durante el procesamiento, está directamente relacionado con el contenido de EM en los GSDS ($R^2=0.88$). El contenido de aceite en muestras de GSDS que varía de 2.5 a 16%, lo que se refleja en una gran variación en el contenido de EM (Batal y Dale, 2006 y Parson et al, 2006). Sin embargo una R^2 relativamente baja sugiere que esa predicción deberá servir solo como una guía. El NRC (1994) indica que las ecuaciones de predicción de EM_n para varios ingredientes, incluyendo a los GSDS, están basadas en la composición química. Cuando el contenido de EM_n en los GSDS es calculado solo por análisis químico proximal dentro de la ecuación sugerida por el NRC (1994), se observa que se subestima el contenido de EM_n (Batal y Dale, 2006) en los GSDS cuando se compara con lo determinado por Batal y Dale (2006), aún tomando en consideración que los

valores de EMV_n en los GSDS son entre 4% y 5% más bajos que los valores reales de EMV_n (Roberson et al, 2005). A pesar de que la predicción de la EMV_n mediante la ecuación de regresión sugerida por Batal y Dale (2006), es mejor que los valores calculados empleando la ecuación del NRC (1994), deberá ser verificado con muchas muestras de GSDS antes de ser usada, debido a que hay una baja correlación ($R^2=0.45$) (Black, 1995).

Por otra parte, Pekel et al. (2013), indican que el color de los GSDS y el contenido de solubles tienen una fuerte correlación inversa ($R^2=0.98$) a mayor adición de solubles, el color oscuro de los GSDS y el contenido de EM. Sin embargo, la diferencia en el color de los GSDS y su relación lineal con la EM no es un indicador del nivel de EM contenida en los GSDS (Fastinger et al, 2006; Dale y Batal, 2005).

Ning et al. (2014) estimaron los valores de energía neta y eficiencia energética de maíz, GSDS (con 8.81% de aceite) y harina de trigo en gallinas de postura basados en un método calorimétrico indirecto. Estos investigadores encontraron diferencia significativa ($P<0.001$) en los valores de energía metabolizable aparente (EMA), energía metabolizable aparente corregida a nitrógeno (EMA_n) y energía neta (EN) con mayores valores en los diferentes tipos de energía en el maíz seguidos por los GSDS y con menores valores en la harina de trigo. Además, observaron una mayor eficiencia energética en el maíz, en segundo lugar los GSDS y al último la harina de trigo (65.25, 57.92 y 53.12% respectivamente).

Adeola y Ileleji, (2009) determinaron por el método de regresión, el contenido de EM y EM_n en dos tipos de dietas: prácticas (maíz-soya con 30 y 60% de GSDS) y semipurificadas (solo 30 y 60% de GSDS). Los resultados arrojados del estudio, indicaron diferencias ($P<0.01$) en el contenido de energía entre las dietas, con 2904 y 2787 kcal/kg para las dietas prácticas y 3013 y 2963 kcal/kg de EM y EM_n respectivamente.

Contenido y biodisponibilidad de pigmentos en GSDS

En general el maíz que se emplea para la fermentación en la producción de etanol, contiene aproximadamente 20 ppm de xantofilas (luteína y zeaxantina) NRC (1994), lo que sugiere que los GSDS deben contener una mayor cantidad de xantofilas (60 ppm aproximadamente) y por ende una buena fuente de estos pigmentos. Algunos estudios han determinado la cantidad de xantofilas totales contenidas en muestras de GSDS tal como se puede apreciar en el Cuadro 8. Sin embargo, durante el proceso de secado podría haber destrucción de xantofilas, por ejemplo en un estudio realizado por Roberson et al. (2005), quienes analizaron dos muestras de GSDS una de color dorado y otra de color café oscuro; los resultados indicaron que la muestra de color dorado contenía 29.75 ppm de xantofilas y 3.48 ppm la muestra de color café oscuro, lo cual fue atribuible al daño producido por el exceso de calor durante el procesamiento.

Cuadro 8. Contenido de xantofilas totales en muestras de GSDS determinadas por tres autores.

Autor	Xantofilas totales ppm
Roberson et al. (2005)	29.75
Salim et al. (2010)	36.72
Cortes et al. (2014)	24.9

A pesar de esto, los GSDS son una buena fuente de xantofilas, por lo que su inclusión en dietas para gallinas de postura puede mejorar el contenido de luteína en la yema de huevo. Cuando las xantofilas son consumidas por las aves, estas son absorbidas y depositadas en la piel, tejido adiposo y yema de huevo cambiando su color a uno más amarillo o amarillo naranja (Leeson y Caston, 2004).

En un estudio realizado por Sun et al. (2012), incluyeron 0, 17, 35 y 50% de GSDS en dietas maíz-soya para gallinas de postura y evaluaron la coloración de la yema con el abanico colorimétrico de DSM y encontraron una mayor coloración (5.5, 7.0, 7.9 y 8.7) con incremento lineal ($P < 0.05$) a la cantidad de GSDS adicionados a la dieta. Los resultados de este estudio coinciden con los obtenidos por Roberson et al. (2005). Sin embargo, Lumpkins et al. (2005) y Shalash et al. (2010), no encontraron una mayor coloración de la yema cuando las gallinas fueron alimentadas con dietas maíz-soya suplementadas con 15% y 10% de GSDS respectivamente. Otra investigación realizada por Cheon et al. (2008), observaron un aumento significativo en el color de la yema al adicionar a la dieta 10, 15 y 20% de GSDS, estos resultados fueron similares a los reportados por Swiatkiewicz y Koreleski (2006) al incluir 5, 10, 15 y 20% de GSDS en dietas maíz-soya para gallina de postura.

Jung y Batal (2009), realizaron una investigación en gallinas Hy-Line W-36 de 21 a 41 semanas de edad en donde incluyeron 3, 6, 9 y 12% de GSDS alto en proteína (44%) en dietas con base en maíz-soya y encontraron que la adición de GSDS, mejoró numéricamente el color de la yema y la gravedad específica del huevo, por lo que estos autores sugieren el empleo de GSDS de hasta 12% en dietas convencionales para gallinas de postura.

Masa`deh et al. (2011), estudiaron en gallinas Bovans la inclusión de 0, 5, 10, 15, 20 y 25% de GSDS convencionales (10.3% de aceite) durante dos fases de producción (24-46 y 47-76 semanas de edad), estos autores estudiaron la coloración de la yema de acuerdo con el abanico de Roche (ahora DSM) durante la primera fase y observaron un incremento lineal ($P < 0.001$) en la coloración de la yema conforme se aumentó el nivel de GSDS empleado en la dieta.

El uso de GSDS en la alimentación de las aves

En cuanto al empleo de GSDS en la alimentación de las aves existen algunas investigaciones en donde la inclusión de 6% en dietas maíz-soya para pollos de engorda de 0 a 21 días de edad y de 12 al 15% en pollos de 22 a 42 días de edad, no afectó el rendimiento productivo (Oryschak et al, 2010). Sin embargo, Loar et al. (2012), encontraron una mejor respuesta productiva en pollos de engorda cuando incluyeron 8% de GSDS en dietas a base de maíz+soya, sin encontrar diferencias en el rendimiento de la canal. Otros autores encontraron resultados similares en parámetros productivos y características de la canal en pollos de engorda al adicionar DDGS + pasta de canola a una dieta basal maíz-soya (Jung et al, 2012)

En otro estudio realizado por Loar et al. (2010) incluyeron de 7.5 a 30% de GSDS en dietas maíz+soya para pollos en dos etapas de alimentación, obteniendo un efecto benéfico no lineal en ganancia de peso y consumo de alimento.

Por otro lado, estos autores estudiaron el efecto de incluir 0, 5 y 10% de GSDS de maíz o trigo en dietas maíz-soya sobre el rendimiento productivo, estos investigadores reportaron que 5% y 10% de inclusión en la dieta de cualquiera de los GSDS evaluados, no afectaron la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia a los 14, 28 y 42 días de experimentación. Otros investigadores han estudiado la inclusión de GSDS en dietas maíz-soya-canola y ellos observaron que la adición de hasta 20% de GSDS, no afectó los parámetros productivos (Min et al, 2009). En estudios recientes como el de Shim et al. (2011) adicionaron 0, 8, 16 y 24% de GSDS convencionales en dietas maíz-soya isocalóricas e isoproteicas para pollos de 0-42 días y los resultados indicaron que no se afectó la ganancia de peso y conversión alimenticia en cualquiera de los niveles de GSDS empleados en la dieta.

Recientemente Guney et al. (2013) incluyeron 10 y 20% de dos muestras de GSDS bajos en aceite (7.52 y 6.74% de aceite) y otra muestra de GSDS convencional (12.45% de aceite) en dietas para pollos en crecimiento (0-18 días de edad) y no encontraron diferencia estadística ($P>0.05$) entre muestras de GSDS y tampoco hubo efecto detrimental en la ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia. Sin embargo, estos investigadores encontraron que la inclusión de 10 o 20% de GSDS bajos en aceite tuvieron un efecto significativo mayor ($P<0.05$) en el peso de la grasa abdominal respecto a la dieta que contenía GSDS convencionales.

En estudios como el de Loar et al. (2010) en gallinas Bovans White donde adicionaron 0, 8, 16, 24 y 32% de GSDS a una dieta con base en maíz-soya, indicaron que existió mayor porcentaje de postura con el nivel de 16% de inclusión, además se observó mayor coloración de la yema en los tratamientos con GSDS en relación a la dieta testigo. Robertson et al. (2007) emplearon 10% de GSDS en dietas para gallinas observaron que este porcentaje de inclusión no afectó el porcentaje de postura, peso del huevo, color de la yema, consumo de alimento, peso corporal y excreción de nitrógeno en las heces, lo cual resulta interesante para disminuir la emisión de nitrógeno al medio ambiente. Sin embargo, cuando las dietas contienen mayor proteína por la inclusión de los GSDS altos en proteína se incrementa la excreción de nitrógeno en las heces.

Jung y Batal (2009) realizaron una investigación en gallinas Hy-Line W-36 de 21 a 41 semanas de edad en donde incluyeron 3, 6, 9 y 12% de GSDS alto en proteína (44%) en dietas con base en maíz-soya y encontraron que todos los porcentajes de inclusión no se afectó el rendimiento productivo.

Wu-Haan et al. (2010) adicionaron 0, 10 y 20% de GSDS convencionales en dietas maíz-soya para gallinas Hy-line W36 de 21 a 26 semanas de edad, estos investigadores observaron que la inclusión de hasta 20% de GSDS no tuvo efecto negativo en el rendimiento productivo (peso del huevo, porcentaje de postura,

consumo de alimento y consumo total de alimento). Sin embargo, al evaluar la emisión de gases (amoníaco y ácido sulfúrico) por parte de la gallina, los resultados de este estudio demostraron que la adición del 20% de GSDS en la dieta de las gallinas, disminuyeron la emisión de estos gases.

En un estudio conducido por Sun et al. (2013) adicionaron 0, 17, 35 y 50% de una muestra de GSDS (10.67% de aceite y 27.3% de Proteína) en dietas maíz-soya para gallinas Leghorn blancas de 54 a 78 semanas de edad sobre la composición química y de nutrientes en el huevo. Los resultados observados en este estudio indicaron que, solo hubo una tendencia numérica en el contenido de grasa y proteína en la yema de huevo, en las aves alimentadas con cualquier nivel de GSDS incluido en la dieta en relación a la dieta sin GSDS. La concentración total de ácidos grasos poli insaturados en la yema de huevo fue significativamente mayor en las gallinas que consumieron dietas que contenían GSDS; el contenido de colina y colesterol fueron inicialmente más altos en la dieta con 50% de GSDS, pero no fue diferente estadísticamente hacia el final del periodo experimental. Finalmente, el contenido de luteína se incrementó linealmente conforme se aumentó el nivel de inclusión de GSDS en la dieta.

Por otro lado, Masa`deh et al. (2011) estudiaron en gallinas Bovans la inclusión de 0, 5, 10, 15, 20 y 25% de GSDS convencionales (10.3% de aceite) durante dos fases de producción (24-46 y 47-76 semanas de edad), estos investigadores no encontraron diferencia significativa ($P > 0.05$) entre los niveles de inclusión de GSDS ni entre las fases de producción. Sin embargo, indican un efecto significativo ($P < 0.001$) en la retención de nitrógeno y fósforo, con una mayor retención de estos compuestos a partir de la dieta que contenía 10% de GSDS.

En lo que se refiere a estudios con el empleo de GSDS en dietas para pollos y su efecto en la calidad de la carne existen algunos estudios al respecto. Corzo et al. (2009) utilizaron 0 y 8% de GSDS convencionales en dietas maíz-soya para pollos de 0 a 42 días de edad, midiendo su efecto en el color, pH, oxidación lipídica,

pérdida por cocción de la carne y composición de ácidos grasos en la carne de pechuga y pierna. Estos investigadores indicaron que en el pH, la coloración con el método Cielab (L^* , a^* y b^*) y la pérdida por cocción de la carne de pechuga no mostraron diferencias significativas con y sin la adición de GSDS en la dieta de los pollos. Sin embargo, encontraron diferencia estadística en la composición lipídica de la carne de la pierna con menor contenido de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados en el tratamiento sin GSDS. Por último, en este estudio no se encontraron diferencias ($P>0.05$) en la oxidación lipídica entre las aves tratados con 0 y 8% de GSDS en la dieta.

En una investigación similar a la realizada por los autores anteriormente citados, Schilling et al. (2010) emplearon 0, 6, 12, 18 y 24% de GSDS convencionales en dietas maíz-soya para pollos de engorda de 0 a 42 días de edad, midieron el efecto sobre el pH, color, composición de ácidos grasos, oxidación lipídica y la aceptabilidad del consumidor de la carne de pechuga y pierna. En este estudio los investigadores concluyen que la alimentación de los pollos con 0 hasta 12% de GSDS no afecta la calidad de la carne de pechuga y pierna. Sin embargo cuando se emplea más del 12% de GSDS en la dieta, se incrementan los ácidos grasos poli-insaturados dando como resultado un incremento en la oxidación lipídica de la carne lo cual impide un mayor tiempo de almacenaje de la carne. Además, observaron que en cualquier nivel de inclusión de GSDS no afectó la calidad sensorial (apariencia, aroma, sabor y textura) de la carne de pechuga y pierna.

Min et al. (2012) realizaron un estudio en pollos de 0 a 42 días de edad incluyendo 0, 5, 10, 15, 20 y 25% de GSDS convencionales en una dieta basada en maíz-soya, en el cual evaluaron el color de la carne, la relación de ácidos grasos poliinsaturados:saturados, estatus total oxidativo, total de superóxido dismutasa y glutatión peroxidasa. Los resultados obtenidos indicaron que no hubo diferencia en el color de la carne de pechuga excepto el amarillamiento, con mayor coloración en los tratamientos con 20 y 25% de GSDS. En cuanto a la relación de ácidos

grasos poliinsaturados: saturados existió diferencia estadística con una mayor proporción de ácidos grasos poli-insaturados en los tratamientos con GSDS. El estatus total oxidativo no fue afectado por los niveles de GSDS; sin embargo, el total de superóxido dismutasa y la actividad de la enzima glutatión peroxidasa se disminuyeron con la adición de GSDS en la dieta. Estos autores concluyen que es importante adicionar antioxidantes en dietas donde se empleen GSDS para mejorar la calidad de la carne y la vida de anaquel, debido a la evidencia de que al emplear GSDS disminuye la actividad de las enzimas antioxidantes.

En la actualidad el uso de enzimas en dietas para aves es una práctica común, existen algunos estudios como el de Barekatin et al. (2012), estos autores realizaron un estudio en pollos de engorda donde incluyeron 0, 150 y 300 g/kg de GSDS de sorgo con y sin las enzimas xilanasas y proteasas; y la combinación de ambas enzimas. Los resultados de este experimento indicaron que el consumo de alimento y la ganancia de peso se incrementaron conforme se aumentó el nivel de inclusión de GSDS en la dieta independientemente de la adición o no de las enzimas. Sin embargo, la conversión alimenticia se afectó al incrementar la cantidad de GSDS en la dieta, pero al adicionar ambas enzimas por separado mejoraron este parámetro productivo. Por otro lado, la inclusión de proteasa mejoró la digestibilidad de aminoácidos en las aves que consumieron la dieta con 300 g/kg de GSDS y por otro lado, la adición de xilanasas redujo la concentración de polisacáridos no amiláceos (PNA) en el íleon, no así cuando se suplementaron en forma combinada las enzimas. Además, la suplementación de ambas enzimas en las dietas fue más efectiva para el crecimiento de los pollos pero sobre todo en conversión alimenticia.

Por último, Adeola et al. (2010) determinaron por el método de regresión, el contenido de energía digestible ileal (EDI), EM y EM_n en dietas maíz-soya con 0, 300 y 600 g/kg de granos secos de destilería sin solubles (GSD) de maíz con y sin la adición de carbohidrasas (xilanasas y amilasas). Los resultados de la EDI fue

una reducción lineal y cuadrática (3317, 3052 y 2554 kcal/kg) a la suplementación de 0.0, 300 y 600 g/kg GSD respectivamente, no así cuando se incluyeron carbohidrasas en las dietas (3432, 3006 y 2779 kcal/kg). La EM solo se disminuyó linealmente con el suministro de GSD (3239, 2895 y 2510 kcal/kg respectivamente) pero con la inclusión de enzimas se mejoró estadísticamente el contenido de energía (3398, 2862 y 2613 kcal/kg). También la EM_n decreció linealmente (3071, 2730 y 2346 kcal/kg respectivamente) y al suplementar las enzimas, se mejoró el contenido de energía (3224, 2705 y 2449 kcal).

GSDS bajos en aceite un nuevo co-producto

La importancia de extraer el aceite en los GSDS, radica en obtener un co-producto que es el aceite. La remoción de aceite puede facilitar el manejo y el transporte de GSDS al mejorar la fluidez del producto. Este nuevo co-producto evita la compactación de los GSDS durante el transporte y el vaciado, lo cual evita emplear mano de obra para remover los GSDS que quedan compactados en el interior de los vagones o remolques de los camiones e inclusive dañarlos. La reducción en el contenido de aceite de los GSDS permite el proceso térmico de expansión para su uso en la alimentación animal (Keshun y Rosentrater, 2012).

En una investigación realizada por Ganesan y Rosentrater, (2009) midieron el índice de fluidez en durante el transporte y almacenaje de GSDS altos en aceite (9.3%) y GSDS bajos en aceite (2.1%). Los resultados de la prueba indicaron un mayor índice de fluidez en los GSDS bajos en aceite (13.2%) respecto a los GSDS altos en aceite (6.7%), lo que indica que a mayor contenido de aceite disminuye la fluidez del ingrediente cuando este es descargado en el almacén.

Varias tecnologías has sido desarrolladas para la extracción de aceite (extracción por solventes y extracción por métodos físicos) antes o después de la fermentación. Después de la fragmentación del grano de maíz, se extrae previo a la fermentación el germen del maíz que es rico en aceite (Watkins 2007). La

obtención de aceite de esta fracción es empleada para producir aceite destinado al consumo por humanos y para la producción de biodisel. La extracción del aceite de los GSDS con solventes, es principalmente con hexano a pesar de que económicamente no es tan rentable su extracción por este método. Este solvente puede recuperar más del 90% del aceite en GSDS, con la ventaja de disminuir de 5 a 15% los ácidos grasos libres, lo cual permite emplear este aceite en la producción de biodisel (Janes et al, 2008; Winkler y Vaughn 2009). También se emplea el solvente etanol anhidro, el cual se ha visto que permite recuperar hasta 50% de aceite a partir de los GSDS (Singh and Cheryan 1998). Existen otros solventes que se emplean para la extracción de aceite como los acetatos alquil (etil, butil e isopropil acetato), con este método se recupera hasta el 90% del aceite (Randhava et al, 2008). Los triglicéridos son el principal componente de los lípidos que contienen los GSDS, y en menor escala incluyen los fitoesteroles, tocoferoles, tocotrienoles, carotenoides entre otros (Winkler y Vaughn, 2009; Majoni y Wang, 2010). El contenido de aceite crudo en los GSDS es de alrededor del 10%, ahora existe el interés de remover el aceite antes o después de la fermentación. El aceite que no es removido antes de la fermentación no es comestible debido principalmente a que tiene altos niveles de ácidos grasos libres, estos aceites son empleados como ingrediente para dietas de animales o para la producción de biodisel (Singh et al. 2005; Wang et al. 2008; Cantrell y Winsness, 2009).

Para la obtención de aceite después de la fermentación y antes de haber sido añadido el jarabe a los granos destilados húmedos, el aceite es removido mecánicamente vía centrifugación, este aceite no es comestible para el humano pero si es un excelente ingrediente para la producción de biodisel y para la alimentación animal. Después de la extracción del aceite, los granos destilados con solubles húmedos son sometidos a calor, evaporación y posteriormente al secado para obtener el nuevo co-producto GSDS bajos en aceite, los cuales pueden ser empleados en la alimentación animal (Keshun y Rosentrater, 2012). En cuanto a los estudios realizados con pollos y gallinas alimentados con GSDS

bajos en aceite son escasos, algunos de estos se encuentran descritos en el capítulo 2.6.

III. Objetivos

Objetivos generales

- 1) Determinar la biodisponibilidad de fósforo, proteína cruda, aminoácidos y energía metabolizable aparente en pollos de engorda en crecimiento alimentados, con dos muestras de GSDS bajas en aceite.
- 2) Medir la respuesta productiva y la eficiencia pigmentante, en yema de huevo en gallinas de postura alimentadas, con dos muestras de GSDS bajas en aceite.
- 3) Valorar la respuesta productiva y la eficiencia pigmentante, en la piel y grasa abdominal en pollos de engorda alimentados, con dos muestras de GSDS bajas en aceite.

Objetivos particulares

- 1) Determinar por el método de comparación de pendientes, la biodisponibilidad de fósforo con base en el porcentaje de cenizas en tibias, de pollos de engorda Ross 308 de 7-21 días de edad, alimentados con dos muestras de GSDS bajas en aceite.
- 2) Conocer la digestibilidad aparente ileal de proteína, aminoácidos y EMA_n de dos muestras de GSDS bajas en aceite, para pollos de engorda Ross 308 de 7 a 21 días de edad.
- 3) Evaluar el porcentaje de postura, consumo de alimento, peso promedio del huevo, conversión alimenticia y masa de huevo en gallinas Bovans White de 69 a 77 semanas de edad, alimentadas con dietas sorgo-soya suplementadas con 6 y 12% de dos muestras de GSDS bajas en aceite.

- 4) Medir la coloración de la yema de huevo (visual con el abanico de DSM y con un colorímetro de reflectancia Minolta CR-400), en gallinas Bovans White alimentadas, con dietas sorgo-soya suplementadas con 6 y 12% de dos muestras de GSDS bajas en aceite.
- 5) Valorar el rendimiento productivo (ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia) y el rendimiento de la canal en caliente y en frío de pollos de engorda Ross 308 de 42 días de edad, alimentados, con dietas sorgo-soya suplementadas con 6 y 12% de dos muestras de GSDS bajas en aceite.
- 6) Evaluar la coloración de la grasa abdominal y piel de la canal caliente y fría (con un colorímetro de reflectancia Minolta CR-400), en pollos de engorda Ross 308 de 42 días de edad, alimentados con dietas sorgo-soya suplementadas con 6 y 12% de dos muestras de GSDS bajas en aceite.

IV. Hipótesis

- 1) La biodisponibilidad de fósforo de dos muestras de GSDS (A y B) bajas en aceite determinada en pollos de engorda en crecimiento, tienen similar biodisponibilidad.
- 2) La digestibilidad ileal aparente de proteína y aminoácidos de dos muestras de GSDS (A y B) bajas en aceite, determinada en pollos de engorda en crecimiento, son semejantes.
- 3) El contenido de EMA_n de dos muestras de GSDS (A y B) bajas en aceite determinada en pollos de engorda en crecimiento, es diferente.
- 7) El rendimiento productivo en gallinas Bovans White alimentadas con dietas sorgo-soya suplementadas con 6 y 12% de dos muestras de GSDS bajas en aceite no difiere entre las muestras y niveles de inclusión.
- 4) La coloración de la yema de huevo de gallinas Bovans White alimentadas con dietas sorgo-soya suplementadas con 6 y 12% de dos muestras de GSDS bajas en aceite, es diferente entre las muestras e incrementa con los niveles de inclusión de GSDS.
- 5) El rendimiento productivo y de la canal en pollos de engorda alimentados con dietas sorgo-soya suplementadas con 6 y 12% de dos muestras de GSDS bajas en aceite, es similar entre las muestras y niveles de inclusión.
- 6) La coloración de la grasa abdominal y la piel de la pechuga en pollos de engorda, alimentados con dietas sorgo-soya suplementadas con 6 y 12% de dos muestras de GSDS bajas en aceite, es semejante entre las muestras e incrementa con los niveles de inclusión de GSDS.

V. Parte experimental I

Biodisponibilidad de fósforo, aminoácidos y energía de granos secos de destilería con solubles bajos en aceite para el pollo de engorda.

Resumen

Con la finalidad de estudiar la biodisponibilidad de fósforo (Pi), proteína cruda (PC), aminoácidos (AA) y energía metabolizable aparente corregida a nitrógeno (EMA_n) de dos muestras de GSDS (A y B) bajos en aceite, se realizaron dos experimentos en pollos de engorda en crecimiento. En el Experimento 1, se utilizaron 210 pollos machos de 7-21 días de edad de la estirpe Ross 308, distribuidos aleatoriamente en 21 corrales con 7 tratamientos de 3 repeticiones con 10 aves cada uno. Los tratamientos consistieron en la suplementación 0.05% y 0.10% de fósforo a partir de fosfato monodivaleante (FMD) o de GSDS A y B, a una dieta basal sorgo-soya deficiente en fósforo disponible (0.14% de Pi). A los 21 días de edad, de los resultados de cenizas en tibia, se determinó la biodisponibilidad relativa de Pi por el método de comparación de pendientes. En el Experimento 2, se utilizaron 200 pollos machos de 7-21 días de edad de la estirpe Ross 308, distribuidos aleatoriamente en 20 corrales con 5 tratamientos de 4 repeticiones con 10 aves cada uno. Los tratamientos consistieron en adicionar a una dieta testigo sorgo-soya 5 y 10% de GSDS A y B bajos en aceite y se determinó la biodisponibilidad de AA y EMA_n. Los resultados del Experimento 1, para ganancia de peso y consumo de alimento se incrementaron conforme al nivel de fósforo aumentó en la dieta. Con los datos obtenidos de consumo de fósforo y porcentaje de cenizas en tibias se determinó la biodisponibilidad relativa de Pi (72 y 86% para GSDS A y B respectivamente), las cuales fueron más altas que el valor estimado por el NRC (1994) basado en los valores de tablas y el contenido de fósforo no fítico. Los resultados obtenidos en el Experimento 2, para ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia indicaron que no se observaron diferencias ($P>0.05$) entre tratamientos a la inclusión de 5 y 10% de GSDS A y B en la dieta. Los coeficientes de digestibilidad aparente ileal de AA

(metionina, cistina, lisina, treonina, arginina, leucina, isoleucina, valina, fenilalanina, histidina) no mostraron diferencias ($P>0.05$) entre muestras con un promedio 76.5 %. Los datos obtenidos de EMA_n en base seca de las dos muestras de GSDS A y B fueron de 2828 y 2854 kcal/kg respectivamente.

Palabras clave: Digestibilidad ileal, aminoácidos, fósforo disponible, energía metabolizable aparente, GSDS bajos en aceite.

Introducción

En el año 2012, se empleó un estimado de 95 millones de toneladas de grano de maíz para producir etanol, de los cuales 47.5 millones de toneladas se ofrecieron en el mercado GSDS como co-producto en la alimentación animal (Licht, 2011). Además en 2010, se estimó una producción global de biodisel de 17.9 millones de toneladas y se proyectó un incremento de 21 millones de toneladas para el año 2011. Actualmente, la gran mayoría de las plantas productoras de etanol, remueven el aceite a partir de los solubles de destilería condensados del maíz al final del proceso mediante centrifugación para la obtención de biodisel, esto trae como consecuencia la generación de un nuevo co-producto llamados “GSDS bajos en aceite”. Este co-producto tiene menor contenido de grasa y ligeramente mayor concentración de proteína y otros nutrientes contenidos que los GSDS convencionales (Rosentrater et al. 2011). Sin embargo, el conocimiento sobre la biodisponibilidad de aminoácidos, fósforo y energía de este nuevo ingrediente es escasa, por ejemplo, Kim et al. (2008), reportaron biodisponibilidades de fósforo del 60 y 56% en GSDS con 10 y 2.9% de grasa) y similar digestibilidad de aminoácidos en pollos de engorda. Lumpinks y Batal (2005), encontraron biodisponibilidad del 68 y 80% para lisina y fósforo respectivamente empleando GSDS con 9.8% de grasa en pollos de engorda. Martínez et al. (2004), encontraron 75% de fósforo biodisponible en GSDS convencionales. Pahn et al. (2009), indicaron una biodisponibilidad de lisina de 69% en 7 muestras de GSDS

que contenían de 9.0 a 13.2% de grasa. En cuanto a EMA_n se refiere, la gran mayoría de los estudios publicados reportan datos en GSDS convencionales y existen muy pocas investigaciones en GSDS bajos en aceite en dietas para pollos de engorda. Con estos antecedentes, surgió la necesidad de evaluar la biodisponibilidad de fósforo, digestibilidad ileal de PC, AA y EMA_n de dos muestras de GSDS (A y B) bajos en aceite (6.53 y 5.35% respectivamente) en pollos de engorda alimentados con dietas sorgo+pasta de soya.

Material y métodos

Con el objeto de conocer la biodisponibilidad de fósforo, AA y EMA_n de dos muestras de GSDS bajos en aceite, se realizaron dos experimentos en pollos de engorda en crecimiento, alimentados con dietas sorgo-soya adicionadas con diferentes niveles de inclusión de dos muestras de GSDS (A y B) bajos en aceite.

Análisis de laboratorio

A las muestras de GSDS se les determinó el análisis químico (AOAC, 2006), se presentan en el Cuadro 1. Cada muestra fue dividida en tres porciones para los diferentes procesos analíticos. Para el análisis de triptófano, se hizo mediante una hidrólisis alcalina con hidróxido de sodio seguido de un HPLC (Análisis por cromatografía líquida) con calibración externa. La segunda porción de cada muestra fue previamente sometida a una oxidación con ácido per fórmico para después analizar los aminoácidos azufrados (metionina y cistina) y en la tercera porción se analizaron los demás aminoácidos por hidrólisis (110 °C- HCl, 6N) por 24 horas y posteriormente se les realizó una cromatografía de intercambio iónico, cada submuestra fue analizada por duplicado.

Manejo de aves

En ambos experimentos los procedimientos de alojamiento, manejo y eutanasia fueron aprobados por el comité institucional para el cuidado y uso de animales experimentales de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México (NOM-062-Z00-1999). Los pollos de 1 día de edad fueron vacunados contra la enfermedad de Marek en una incubadora comercial. A los 10 días de edad fueron vacunados contra la enfermedad de Newcastle vía ocular y subcutánea. Los pollos fueron criados en criadoras con fuente de calor automática.

Previo al inicio de los dos experimentos, todos los pollos fueron alimentados de 1-7 días de edad, con una dieta sorgo-soya adecuada en los nutrientes necesarios para esta etapa de acuerdo a lo estipulado en el manual Ross 308. Posteriormente, de 7-21 días de edad las aves recibieron las dietas experimentales.

Experimento 1. Se realizó, para conocer la biodisponibilidad de fósforo de dos muestras de GSDS bajos en aceite en relación al fósforo aportado por FMD. Se utilizaron 210 pollos machos de 7-21 días de edad, de la estirpe Ross 308 distribuidos en 7 tratamientos con 3 repeticiones de 10 aves cada una.

El contenido de fósforo de las muestras de GSDS A y B, se empleó para el cálculo de la cantidad a utilizar de GSDS, para cubrir el porcentaje de fósforo (0.05 y 0.10%) para suplementar una dieta basal (Cuadro 2), deficiente en fósforo disponible (0.14%), las dietas o tratamientos experimentales fueron: 1) Dieta basal sorgo-pasta de soya con 0.14% de Pi, 2) Como 1 + 0.05% de fósforo con FMD, 3) Como 1 + 0.10% de fósforo con FMD, 4) Como 1 + 0.05% de fósforo a partir de GSDS A, 5) Como 1 + 0.10% de fósforo a partir de GSDS A, 6) Como 1 + 0.05% de fósforo a partir de GSDS B y 7) Como 1 + 0.10% de fósforo a partir de GSDS B.

Se midió el consumo de alimento, ganancia de peso, eficiencia alimenticia y cenizas en tibias a los 21 días de edad. Estos datos fueron analizados conforme a

un diseño completamente al azar, y en caso de existir diferencia estadística ($P < 0.05$) se realizó la comparación de medias a través de la prueba de Tukey (SPSS para Windows, 2012). Los datos que se obtuvieron a partir del contenido de cenizas con base en el consumo de fósforo, se sometieron a un análisis de regresión lineal múltiple. La biodisponibilidad de fósforo, fue estimada por la metodología de comparación de pendientes con regresión lineal múltiple (SPSS para Windows, 2012), utilizando los datos del porcentaje de cenizas en tibias (Y =variable dependiente), β_0 = como la ordenada de origen con el consumo de ortofosfato ($\beta_1 X_1$ = curva estándar) y la comparación con los del consumo de fósforo (variable independiente) a partir de las dos muestras de GSDS A y B bajos en aceite ($\beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$).

Experimento 2. Para conocer la digestibilidad aparente ileal de PC, AA y EMA_n de dos muestras de GSDS bajos en aceite, se llevó a cabo el experimento en pollos de engorda. Se emplearon 200 machos de 7-21 días de edad de la estirpe Ross 308 distribuidos en 5 tratamientos con 4 repeticiones de 10 aves cada una. Los tratamientos fueron: T1.- Dieta testigo sorgo-soya, T2.- Como 1 + 5% de GSDS A, T3.- Como 1 + 10% de GSDS A, T4.- Como 1 + 5% de GSDS B y T5.- Como 1 + 10% de GSDS B. Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y en caso de haber diferencias estadísticas ($P < 0.05$), a los datos se les realizó una comparación de medias mediante la prueba de Tukey (SPSS para Windows, 2012).

La composición de las dietas experimentales, adicionadas con dióxido de titanio empleado como marcador se muestran en el Cuadro 3. Cada semana se midió el consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimenticia.

A los 21 días de edad, se seleccionaron aleatoriamente 28 aves por tratamiento (7 por réplica), para obtener cuatro muestras de digesta ileal por cada 7 aves. Para obtener las digestas, después de la eutanasia, cada ave fue diseccionada en la

región del íleon que comprende del conducto de Meckel a la unión ileo-cecal; ambos extremos se ligaron con cinta de algodón y después se cortó de un extremo para vaciar el contenido ileal en una bolsa de plástico la cual fue inmediatamente congelada y posteriormente liofilizadas. A estas muestras se les realizó el análisis de proteínas y aminoácidos en el laboratorio de Industria Evonik (Hanau, Germany) utilizando cromatografía de intercambio iónico con derivatización postcolumna con ninhidrina (Llames y Fontaine, 1994).

Los coeficientes de digestibilidad aparente ileal de proteína, aminoácidos y EMA_n, se estimaron usando 0.2% de dióxido de titanio (TiO₂) como marcador indigestible. El cálculo de los coeficientes de digestibilidad de los aminoácidos, se realizó de acuerdo a la fórmula señalada por Namkung y Lesson (1999). Para la determinación de la EMA_n de las excretas, estas fueron recolectadas los 3 últimos días del experimento (secadas en una estufa a 65°C por 72 horas); se empleó una bomba calorimétrica (Parr Instruments, Moline, IA), para determinar la energía bruta en dietas y excretas. El contenido de nitrógeno en las dietas y excretas, se hizo empleando el procedimiento señalado por la AOAC International, [7]. Para el cálculo de la EMA corregida a 0% de retención de nitrógeno, se empleó el procedimiento descrito por Leeson y Summers (2005).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las variables en estudio de ambos experimentos, fueron analizados empleando el paquete estadístico (SPSS para Windows, 2012).

Resultados y discusión

Experimento 1.- Los datos obtenidos de 7 a 21 días obtenidos de ganancia de peso, consumo de alimento, eficiencia alimenticia, consumo de fósforo y porcentaje de cenizas en tibias se muestran en el Cuadro 4. Se puede apreciar que la ganancia de peso y el consumo de alimento incrementaron ($P < 0.05$), al aumentar el nivel de fósforo en la dieta, con mayor ganancia de peso y consumo

de alimento en las dietas adicionadas con 0.10% fósforo. Estos resultados coinciden con los encontrados por otros autores, quienes al incrementar el porcentaje de fósforo (0.0, 0.05, 0.10%) en dietas maíz-soya y suplementadas con GSDS deficientes en este mineral, encontraron mayores ganancias de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia al aumentar el nivel de fósforo en la dieta a partir de fosfato dicálcico o bien a partir de GSDS (Kim et al. 2008; Lumpkins y Batal, 2005; Martínez et al. 2004; Martínez et al 2006).

Para consumo de fósforo y porcentaje de cenizas en tibias (Cuadro 4) hubo diferencias ($P < 0.01$) entre tratamientos, de igual manera al incrementar el consumo de fósforo a partir de FMD o de GSDS A y B en la dieta, se vieron aumentados estos dos parámetros evaluados. Algunos investigadores, han observado resultados similares en el porcentaje de cenizas en tibias a los obtenidos en el presente estudio con la inclusión de Pi 0.0, 0.05 y 0.10% a partir de fosfato monodiválcico o a partir de GSDS bajos en aceite. Martínez et al. (2004), encontraron (27.0, 31.9 y 37.5% de cenizas) a partir de fosfato dicálcico y (27, 31.5 y 36.3%) a partir de GSDS convencionales. Resultados semejantes, han sido reportados por la literatura al evaluar los mismos niveles de fósforo pero en dietas maíz-soya suplementadas con GSDS convencionales (Kim et al. 2008; Lumpkins y Batal, 2005; Martínez et al. 2006). Sin embargo, en este estudio se evaluaron en dietas sorgo-soya suplementadas con GSDS bajos en aceite (6.54 y 5.39%), mientras que los investigadores antes mencionados emplearon dietas maíz-soya suplementadas con GSDS convencionales con 10% de aceite en promedio.

Los resultados de el porcentaje de cenizas en tibias, con relación al consumo de fósforo se explicaron por medio de la ecuación $Y = 27.614 + 0.007x_1 + 0.005x_2 + 0.006x_3$; en donde X_1 correspondió a la suplementación de FMD como fuente de fósforo (T1, T2 y T3), X_2 a los GSDS A (T1, T4 y T5) y X_3 a los DDGS B (T1, T6 y T7). Al comparar las pendientes del porcentaje de cenizas de los GSDS A y B con los del FMD considerado como 100% fósforo disponible,

se obtuvieron biodisponibilidades de fósforo de los GSDS A de 72% y 86% para los GSDS B, como aparece en la Figura 1. Estos resultados coinciden con lo reportado por algunos autores quienes han encontrado valores de 75 a 80% de fósforo disponible (Martínez et al. 2004; Lumpkins y Batal, 2005). Sin embargo, Wamsley et al. (2013), encontraron 66% de fósforo disponible en una muestra GSDS reducida en aceite que contenía 2827 kcal/kg de EM.

Por otra parte, los resultados de este estudio coinciden con lo informado por Martínez et al. (2004), quienes encontraron que la biodisponibilidad de fósforo determinada en los GSDS tenía valores más altos a los estimados por el NRC, (1994), basados en valores de tablas a partir de fósforo total y fósforo no fítico.

Experimento 2. Los resultados de ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia, se pueden observar en el Cuadro 6. Los datos muestran que no existió diferencia ($P>0.05$) entre tratamientos, sin efecto adverso alguno con la inclusión de 5 y 10% de GSDS A y B en la dieta. Algunos estudios como el de Loar et al. (2012), no encontraron diferencia significativa en la ganancia de peso de 0 a 14 días de edad al incluir 0 y 8% de GSDS convencionales, únicamente la conversión alimenticia mostró una peor conversión en los pollos alimentados con 8% de GSDS. Sin embargo, en la etapa de 0 a 28 días se vieron afectadas ambas variables al adicionar 8% de GSDS. Shim et al. (2001), incluyeron 0, 8, 16 y 24% de GSDS convencionales durante las etapas de iniciador, crecimiento y finalizador y solo observaron una mayor ganancia de peso en la etapa de iniciador con 16 y 24% de inclusión respecto a la dieta sin GSDS, no así en las otras etapas donde no encontraron diferencias en ganancia de peso consumo y conversión alimenticia. En contraste, Lumpkins et al. (2004), adicionaron 0, 6, 12 y 18% de GSDS convencionales y observaron una menor ganancia de peso al incluir 18% de GSDS en las etapas de 0-17 días y de 0-42 días de edad. Recientemente Guney et al. (2013), Incluyeron 10 y 20% de GSDS bajos en aceite (7.52 y 6.74% de aceite) en dietas para pollos en crecimiento y no encontraron ningún efecto detrimental en la ganancia de peso, consumo de

alimento y conversión alimenticia. Cabe destacar, que estos investigadores emplearon dietas con base a maíz-soya suplementadas con GSDS convencionales, en este experimento fue con dietas sorgo-soya suplementadas con GSDS bajos en grasa.

En el Cuadro 5, están los resultados del porcentaje total y digestible aparente de algunos aminoácidos esenciales. En los datos de digestibilidad ileal de AA, no se detectaron diferencias ($P > 0.05$) entre las muestras de GSDS A y B con promedio de 76.5%. Los resultados de este estudio coinciden en parte con los obtenidos por otros autores, ya que son porcentajes de digestibilidad aparente de muestras de GSDS convencionales, por ejemplo Batal y Dale (2006), indican digestibilidades para lisina y metionina de 69.6 y 86.8%, mientras que en la presente investigación se obtuvieron en promedio 65.0 y 85%. Sin embargo, otras investigaciones también realizadas con GSDS convencionales, obtuvieron menores digestibilidades en 5 muestras para lisina y metionina de 59.8 y 82.1% (Fastinger et al. 2006). Pahm et al. (2009), obtuvieron 61.4% para lisina, pero 86.9% para metionina. Kim et al. (2012), reportan 54.8 y 77.5% de digestibilidad estandarizada para lisina y metionina respectivamente de 3 muestras de GSDS convencionales.

Kim et al. (2012), encontraron porcentajes de digestibilidad de lisina y metionina de 76.2 y 84.3% respectivamente en GSDS comerciales. Por otro lado, Martinez et al. (2007), observaron 77 y 88% de coeficiente de digestibilidad para lisina y metionina respectivamente. Wamsley et al. (2013), estudiaron en pollos Cobb 500 la digestibilidad de lisina (0.70%) de una muestra de GSDS reducida en aceite; este dato estuvo cercano a lo obtenido en la muestra A (0.65%) del presente estudio. Cabe señalar que existen pocos estudios, que indiquen el porcentaje de digestibilidad de aminoácidos a partir de muestras de GSDS bajos en aceite.

Los resultados del contenido de EMA_n (Cuadro 6), fueron para las muestras A y B de 2812 y 2884 kcal/kg respectivamente, con un promedio de 2841 kcal/kg. Estos datos coinciden con lo reportado por Meloche et al. (2013), quienes encontraron

un valor promedio de 2487 kcal/kg de EMV_n en base seca, en una muestra de GSDS con 6.31% de aceite. Batal y Dale, (2006) observaron un rango de 2490 a 3190 y un promedio de 2820 kcal/kg de EMV_n en 17 muestras de GSDS convencionales. Fastinger et al. (2006), observaron valores de EMV_n de 2484 a 3047 kcal/kg y un promedio de 2871 kcal/kg en 5 muestras de GSDS convencionales. Sin embargo en otros estudios como Kim et al. (2010), encontraron 3299 kcal/kg de EMV_n . Rochell et al. (2011), observaron de 2593 a 3098 kcal/kg de EMV_n con un promedio de 2718 kcal/kg en 4 muestras de GSDS con 11.1% de aceite y 2146 kcal/kg en GSDS con 3.15% de aceite. Adeola y Zhai (2012), realizaron un estudio donde evaluaron la energía digestible ileal en dietas maíz+soya con 30 y 60% de inclusión de GSDS convencionales y encontraron que contenía 2841 y 2659 kcal/kg de EM respectivamente.

Conclusiones

Los resultados obtenidos de este experimento con dos muestras de GSDS bajos en aceite (6.54 y 5.39%), con 0.85 y 0.94% de fósforo total, indicaron una biodisponibilidad de fósforo de 72 y 86% respectivamente. Estos valores fueron más altos a los estimados por el NRC 1994, basados en valores de tablas a partir de fósforo total y fósforo no fítico.

Los coeficientes de digestibilidad aparente ileal de AA (metionina, cistina, lisina, treonina, arginina, leucina, isoleucina, valina, fenilalanina, histidina) en las dos muestras de GSDS bajos en aceite (A y B) indicaron ser similares entre muestras y se obtuvo en promedio de ambas muestras de 76.5 %.

Los coeficientes de digestibilidad ileal aparente para metionina, lisina y treonina en las dos muestras de GSDS bajos en aceite fueron en promedio de 85, 65 y 64% respectivamente.

Los valores de EMA_n en base seca de las dos muestras de GSDS A y B fueron de 2828 y 2854 kcal/kg respectivamente.

Referencias

1. Adeola, O, and H. Zhai. Metabolizable energy value of dried corn distillers grains and corn distillers grains with soluble for 6-week-old broiler chickens. *Poultry Science*. 2012;91:712-718.
2. AOAC International. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18th ed. AOAC Int., Gaithersburg, MD, 2006.
3. Batal, A.B., and N.M. Dale. True metabolizable energy and amino acid digestibility of distillers dried grains with soluble. *J. Applied Poultry Research*. 2006;15:89-93.
4. C. Martinez Amezcua, C.M. Parsons, and D.H. Baker. Effect of microbial phytase and citric acid on phosphorus bioavailability, apparent metabolizable energy, and amino acid digestibility in distillers dried grains with soluble in chicks. *Poultry Science*. 2006;85:470-475.
5. C. Martinez Amezcua, C.M. Parsons, and S.L. Noll. Content and relative bioavailability of phosphorus in distillers dried grains with soluble in chicks. *Poultry Science*. 2004; 83:971-976.
6. C. Martinez-Amezcua., C.M. Parsons, V. Singh, R. Srinivasan, and G.S. Murthy. Nutritional characteristics of corn distillers dried grains with soluble as affected by the amounts of grains versus soluble and different processing techniques. *Poultry Science*. 2007;86:2624-2630.
7. Fastinger, N.D., J.D. Latshaw, and D.C. Mahan. Amino acid availability and true metabolizable energy content of corn distillers dried grains with soluble in adult cecectomized roosters. *Poultry Science*. 2006;85:1212-1216.
8. Guney, A.C., M.Y. Shim, A.B. Batal, N.M. Dale, and G.M. Pesti. Effect of feeding low-oil distillers dried grains with soluble on the performance of broilers. *Poultry Science*. 2013;92:2070-2076.

9. Kim, E.J., C. Martinez Amezcua, P.L. Utterback, and C.M. Parsons. Phosphorus bioavailability, true metabolizable energy, and amino acid digestibilities of high protein corn distillers dried grains and dehydrated corn germ. *Poultry Science*. 2008;87:700-705.
10. Kim, E.J., C.M. Parsons, R. Srinivasan, and V. Singh. Nutritional composition, nitrogen-corrected true metabolizable energy, and amino acid digestibilities of new corn distillers dried grains with soluble produced by new fractionation processes. *Poultry Science*. 2010;89:44-51.
11. Kim, E.J., P.L. Utterback, and C.M. Parsons. Comparison of amino acid digestibility coefficients for corn gluten meal, and corn distillers grains with soluble among 3 different bioassays. *Poultry Science*. 2012;91:3141-3147.
12. Leeson, S., J.D. Summers. *Scott's Nutrition of the Chicken*. 4th ed. Guelph, Ontario Canada: University Books, 2001.
13. Licht, F.O. Feedstock use for biofuels. The outlook for 2011. *World Ethanol & biofuels Report*. 2011;(9)17:1-12.
14. Llamas, C.R., and J. Fontaine. Determination of amino acids in feeds: Collaborative study. *Journal of AOAC International* 1994;77:1362-1402.
15. Loar, R.E., J.R. Donaldson, and A. Corzo. Effects of feeding distillers dried grains with soluble to broilers from 0 to 42 days posthatch on broiler performance, carcass characteristics, and selected intestinal characteristics. *Applied Poultry Research*. 2012;21:48-62.
16. Lumpkins, B.S., A.B. Batal, and N.M. Dale. Evaluation of distillers dried grains with soluble as a feed ingredient for broilers. *Poultry Science*. 2004;83:1891-1896.

17. Lumpkins, B.S., and A.B. Batal. The bioavailability of lysine and phosphorus in distillers dried grains with solubles. *Poultry Science*. 2005;84:581-586.
18. Meloche, K.J., B.J. Kerr, G.C. Shurson, and W.A. Dozier III. Apparent metabolizable energy and prediction equations for reduced-oil corn distillers dried grains with soluble in broiler chicks from 10 to 18 days of age. *Poultry Science*. 2013;92:3176-3183.
19. Namkung, H., and S. Leeson. Effect of phytase enzyme on dietary nitrogen-corrected apparent metabolizable energy and ileal digestibility of nitrogen and amino acids in broiler chicks. *Poultry Science*. 1999;78:1317-1319.
20. Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UNAM, 1999.
21. NRC. Nutrient Requirements of Poultry. 9th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC., 1994.
22. Pahm, A.A., C.S. Scherer, J.E. Pettigrew, D.H. Baker, C.M. Parsons, and H.H. Stein. Standardized amino acid digestibility in cecectomized roosters and lysine bioavailability in chicks fed distillers dried grains with soluble. *Poultry Science*. 2009;88:571-578.
23. Rochell, S.J., B.J. Kerr, and W.A. Dozier III. Energy determination of co-product fed to broiler chicks from 15 to 24 days of age, and use of composition analysis to predict nitrogen-corrected apparent metabolizable energy. *Poultry Science*. 2011;90:1999-2007.
24. Rosentrater, K.A., K.M. Ilelegi, D.B. Johnson. Manufacturing of fuel ethanol and distillers grains-Currents and evolving processes. 1st ed. CRC Press, Florida, USA., 2011.

25. Shim, M.Y., G.M. Pesti, R.I. Bakalli, P.B. Tillman, and R.L. Payne. Evaluation of corn distillers dried grains with soluble as an alternative ingredient for broilers. *Poultry Science*. 2001;90:369-376.
26. SPSS Inc. SPSS for Windows (computer program) version 17.0 spssinc 2012.
27. Wamsley, K.G.S., R.E. Loar II, K. Karges, and J.S. Moritz. The use of practical diets and regression analyses to determine the utilization of lysine and phosphorus in corn distillers dried grains and soluble using Cobb 500 male broilers. *J. Applied Poultry Research*. 2013;22:279-297.

Cuadro 1. Análisis químicos, energía bruta, calcio y fósforo de dos muestras de GSDS bajos en aceite.

Nutriente	GSDS A (%)	GSDS B (%)
Materia seca	95.45	95.05
Humedad	4.55	4.95
Proteína cruda	28.05	27.02
Extracto etéreo	6.54	5.39
Cenizas	5.40	5.26
Fibra cruda	8.05	8.43
Extracto libre de nitrógeno	47.41	48.96
Calcio	0.12	0.05
Fósforo total	0.85	0.94
Fósforo fítico	0.27	0.31
Fósforo disponible	0.58	0.63
Energía bruta kcal/kg	4532	4004

Cuadro 2. Composición de la dieta basal para pollos de 7-21 días de edad (Exp. 1).

Ingredientes	Porcentaje
Sorgo*	38.050
Pasta de soya*	38.720
Aceite	8.000
Carbonato de calcio	2.500
Celulosa	11.600
Sal (NaCl)	0.382
DL-Metionina	0.314
L-Lisina HCL	0.146
Premezcla vitaminas y minerales**	0.200
Cloruro de colina 60%	0.100
Antioxidante ETQ	0.015
Total (kg)	100.00

Nutriente	Análisis calculado
Proteína %	22.00
Lisina digestible %	1.39
Met+cist digestible %	0.92
Calcio %	1.02
Fósforo disponible %	0.14
EM kcal/kg	2950

*Los valores de fósforo total fueron de 0.35 y 0.70%, fósforo disponible de 0.12 y 0.24 determinados en laboratorio en el sorgo y la pasta de soya respectivamente.

**Premezcla de vitaminas y minerales en un kg proporciona: Vitamina A, 6 000 000 UI; Vitamina D₃, 1,500 000 UI; Vitamina E, 12 000 UI; Vitamina K₃, 2.0 g; Riboflavina, 8 g; B₁₂, 0.120 g; Piridoxina, 6.0 g; Pantotenato de calcio, 26.0 g; Niacina, 50 g; Biotina, 0.126 g; cloruro de colina, 500 g; Selenio, 0.2 g; cobalto, 0.1 g; Yodo, 0.3 g; Cobre, 10 g; Zinc, 50 g; Hierro, 100 g; Manganeso, 100 g; Excipiente cbp, 2000g.

Cuadro 3. Composición de las dietas experimentales para pollos de 7-21 días con los diferentes niveles de DDGS A y B bajos en aceite (Exp. 2).

Ingrediente	Dieta testigo	Testigo +5% GSDS A	Testigo+10 % GSDS A	Testigo+5% GSDS B	Testigo+10 % GSDS B
Sorgo	593.985	568.116	542.247	566.072	538.158
Pasta de soya	339.214	314.745	290.276	314.934	290.654
GSDS	-----	50.000	100.000	50.000	100.00
Aceite	22.797	23.197	23.598	25.041	27.285
Ortofosfato	20.230	19.068	17.907	18.938	17.647
Calcio	12.256	12.859	13.463	13.013	13.770
Sal (NaCl)	3.788	3.834	3.881	3.836	3.884
DL-Metionina	2.546	2.481	2.416	2.480	2.415
L-Lisina HCL	2.034	2.549	3.063	2.535	3.037
Vitaminas¹	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Minerales²	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
Cloruro de colina 60%	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Bacitracina	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
Oxido de Titanio	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
Antioxidante (ETQ)	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150
Total (kg)	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
Nutriente	Análisis calculado				
Proteína %	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
EM, kcal/kg	3000	3000	3000	3000	3000
Met+cist dig. %	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Lisina dig. %	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Calcio %	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fósforo Disp. %	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

¹Premezcla de vitaminas proporciona: Vitamina A, 6 000 000 UI; Vitamina D₃, 1,500 000 UI; Vitamina E, 12 000 UI; Vitamina K₃, 2.0 g; Riboflavina, 8 g; B₁₂, 0.120 g; Piridoxina, 6.0 g; Pantotenato de calcio, 26.0 g; Niacina, 50 g; Biotina, 0.126 g y cloruro de colina, 500 g.

²Premezcla de minerales proporciona: Selenio, 0.2 g; cobalto, 0.1 g; Yodo, 0.3 g; Cobre, 10 g; Zinc, 50 g; Hierro, 100 g y Manganeso, 100 g.

Cuadro 4. Resultados de parámetros productivos, consumo de fósforo y porcentaje de cenizas en tibias de pollos de 7-21 días de edad (Exp. 1).

Tratamientos	Fósforo %	Consumo de fósforo (mg)	Ganancia de peso (g)	Consumo de alimento (g)	Eficiencia alimenticia	Cenizas tibias (%)
1.- Dieta basal (testigo)	0.140	644±40.2a	285±5.19 ^a	460±40.6a	0.68±0.04a	30.81a
2.- Como 1+FMD	0.190	886±27.6b	331±28.7ab	479±21.1a	0.82±0.06a	34.58abc
3.- Como 1+FMD	0.240	1440±35.7cd	447±10.8c	626±21.9bc	0.79±0.04a	36.69bc
4.- Como 1+GSDS A	0.190	1008±27.7b	343±16.5ab	534±20.7ab	0.65±0.01a	32.44ab
5.- Como 1+GSDS A	0.240	1337±49.7c	405±22.5bc	562±29.5abc	0.74±0.01a	36.96bc
6.- Como 1+GSDS B	0.190	1026±10.2b	339±4.16ab	518±7.37ab	0.67±0.01a	34.76abc
7.- Como 1+GSDS B	0.240	1641±27.9c	472±6.43c	657±15.8c	0.73±0.01a	38.04c

Valores con diferente letra son diferentes (P<0.01)

Cuadro 5. Contenido de aminoácidos total y digestible y EMA_n de muestras de GSDS A y B empleadas en las dietas experimentales para pollos de 1-21 días de edad.

Aminoácidos %	GSDS A		GSDS B		Promedio A y B
	Total %	Digestible %	Total %	Digestible %	Digestible %
Metionina	0.55	85.3	0.57	84.7	85.0
Cistina	0.48	76.6	0.49	75.0	75.8
Lisina	1.00	65.4	0.98	64.6	65.0
Treonina	0.93	63.2	0.96	64.1	63.6
Arginina	1.17	77.0	1.11	77.7	77.3
Leucina	3.15	86.7	3.34	84.0	85.3
Isoleucina	1.07	77.8	1.08	77.8	77.8
Valina	1.11	74.4	1.16	77.3	75.8
Fenilalanina	1.35	81.9	1.34	81.7	81.8
Histidina	0.80	77.0	0.83	77.4	77.2
EMA_n kcal/kg*		2828		2854	2841

*Base seca

Cuadro 6. Resultados obtenidos de 7 – 21 días en pollos de engorda para ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia (Exp. 2).

Tratamientos	Ganancia de peso (g)	Consumo de alimento (g)	Conversión alimenticia g/g
1.- Dieta Testigo	369±17.4	741±10.0	2.01±0.98
2.- Testigo + 5% GSDS A	333±11.2	732±10.6	2.20±0.91
3.- Testigo + 10% GSDS A	336±3.25	732±23.8	2.17±0.53
4.- Testigo + 5% GSDS B	337±6.58	746±7.54	2.21±0.44
5.- Testigo + 10% GSDS B	339±4.64	738±5.63	2.17±0.27

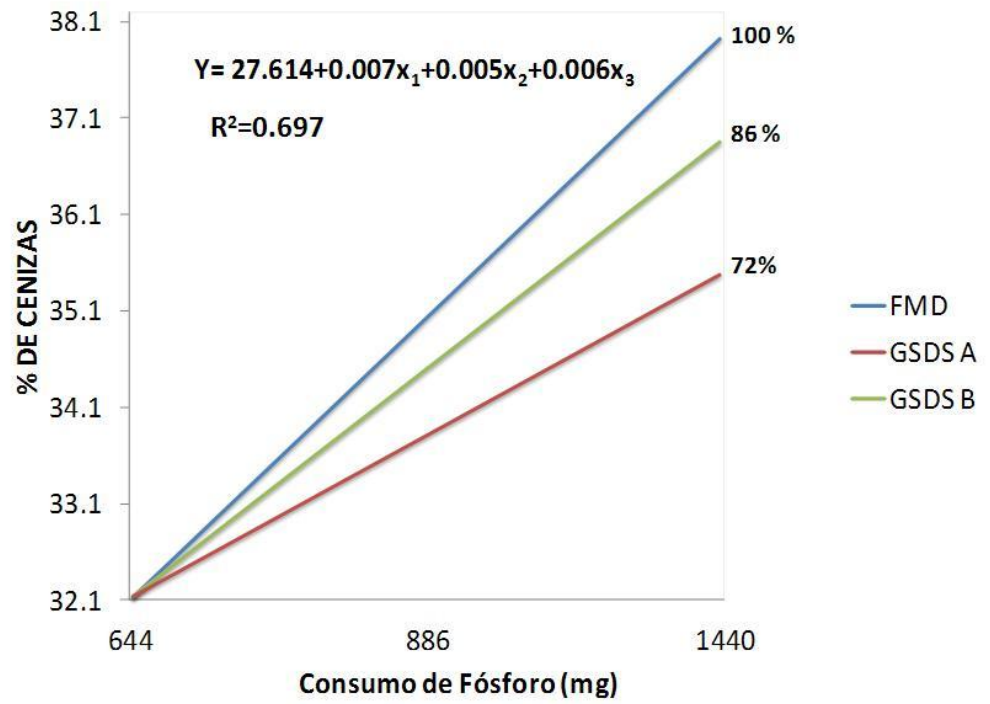


Figura 1. Porcentaje de biodisponibilidad de fósforo de dos muestras de GSDS en relación al FMD a partir del contenido de cenizas en tibias de pollos de 7-21 días de edad alimentados con diferentes niveles de fósforo.

VI. Parte experimental II

El uso de granos secos de destilería con solubles (GSDS) bajos en aceite en dietas para pollos y gallinas y su eficiencia pigmentante en yema de huevo y piel del pollo.

Resumen

Con la finalidad de evaluar la respuesta productiva, rendimiento de la canal y la eficiencia pigmentante en yema de huevo, piel y grasa abdominal, se estudiaron dos muestras de granos secos de destilería con solubles (GSDS) bajos en aceite (A y B) en gallinas de postura y pollo de engorda, se llevaron a cabo dos experimentos. En el Experimento 1, se utilizaron 360 gallinas de la estirpe Bovans White, de 69 a 77 semanas de edad; se empleó un diseño completamente al azar con 5 tratamientos con 6 replicas de 12 aves cada una. En el Experimento 2, se emplearon 375 pollos de engorda de 0 a 42 días de edad, donde también se usó un diseño completamente al azar con 5 tratamientos con 3 replicas de 25 pollos cada una. Los tratamientos, en ambos experimentos, consistieron en una dieta basal sorgo-pasta de soya suplementada con 0, 6 y 12% de GSDS A y B bajos en aceite. Los resultados en el Experimento 1, para rendimiento productivo, no mostraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos. Los resultados de la coloración de la yema, mostraron un incremento lineal en el enrojecimiento y amarillamiento, conforme se incrementó el nivel de inclusión de GSDS A o B. Los resultados del Experimento 2, en 42 días del estudio para rendimiento productivo, rendimiento en canal y grasa abdominal, no indicaron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre tratamientos. Los resultados de pigmentación de piel en la canal caliente, canal fría y grasa abdominal aumentaron ($P < 0.05$) con la inclusión de GSDS A o B. Con los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede concluir que la adición de GSDS bajos en aceite A o B, a dietas sorgo-pasta de soya para gallinas de postura y pollos de engorda, no afecta el comportamiento productivo y mejora la pigmentación de la yema de huevo y la piel del pollo.

Palabras Clave: GSDS bajos en aceite, pigmentación de la yema, pigmentación de la piel, grasa abdominal, rendimiento en canal.

Introducción

Después del proceso de fermentación del grano de maíz para la producción de GSDS, se extrae parte del aceite por centrifugación; dando como resultado GSDS reducidos en aceite. Este co-producto, tiene una concentración de proteína ligeramente mayor y otros nutrientes respecto a los contenidos en GSDS convencionales (Keshun y Kurt, 2012). La extracción de aceite en los GSDS, reduce el contenido de xantofilas en relación a los GSDS convencionales. El contenido de luteína y zeaxantina es menor. Se ha informado que los GSDS bajos en aceite contienen cantidades menores (10 a 30 mg/g) en relación a los convencionales (25-50 mg/g) (Winkler y Vaughn, 2009; Moreau et al. 2010). Roberson et al. (2005), observaron que al incluir hasta 15% de GSDS convencionales en dietas para gallinas ligeras, hubo un incremento en el color de la yema. De igual manera en gallinas Bovans White de segundo ciclo, Loar et al. (2010), señalan que conforme aumentó la inclusión de GSDS convencionales en la dieta, se incrementó el color de la yema. En un estudio realizado en pollos de engorda, incluyeron 0, 6, 12, 18 y 24 % de GSDS convencionales y encontraron que al incluir los diferentes porcentajes de GSDS en la dieta, no detectaron cambios significativos en la pigmentación de la carne de pechuga al ser cocinada (Schilling et al. 20010) Sin embargo, no existen reportes de investigación sobre el efecto pigmentante en yema de huevo y la piel del pollo mediante el uso de GSDS bajos en aceite en dietas para pollos y gallinas, ya que en México resulta importante la pigmentación de la yema y la piel en las canales del pollo para su adecuada comercialización.

El presente estudio tuvo como finalidad evaluar la inclusión de dos muestras de GSDS bajos en aceite (6.54% y 5.39%), en dietas sorgo-soya para gallinas y pollos, sobre el rendimiento productivo, rendimiento de la canal y capacidad pigmentante en yema de huevo y la piel del pollo.

Material y Métodos

Análisis de Laboratorio

En las muestras de GSDS (Cuadro 1), se determinó el análisis químico proximal siguiendo los procedimientos de la AOAC (2006). Para la determinación de xantofilas totales, porcentaje de luteína y zeaxantina, cada muestra fue analizada por HPLC. El equipo utilizado para este análisis fue un Hewlett-Packard 1100, el cual está constituido por una bomba cuaternaria, un sistema desgasificador, un inyector automático y un detector de longitud de onda variable. La absorbancia ultravioleta fue registrada a 450 nm. Se usó una columna analítica con material C30 de fase invertida (columna RP-C30; 250 X 4.6 mm, 5m) también se utilizó una precolumna Bischoff (Nucleosil C18, 10 X 4.6mm, 5m) y fue atemperada a 35°C. La fase móvil consistió de metanol, TBME, y agua [solvente A: 81:15:4(vol/vol/vol); solvente B: 6:90:4(vol/vol/vol)]. Se aplicó el siguiente gradiente (minutos por porcentaje de solvente A): 0/99, 39/44, 45/0, 50/99, 55/99 a una velocidad de flujo de 1 mL/min; el volumen de inyección fue de 20 litros. El software usado para la recolección de datos fue el HP-Chem Station Plus. El HPLC fue ejecutado en un sistema LC (APCl)-MS, acoplado a un espectrómetro de masa cuádruple de plataforma II Micromass VG; estando este último equipado con una interfase APCl y operando en el modo positivo. Los parámetros MS son detallados por Breithaupt et al. (2002). Los datos de los análisis se muestran en el Cuadro 1.

Manejo de aves

En ambos experimentos los procedimientos de alojamiento, manejo y eutanasia fueron aprobados por el comité institucional para el cuidado y uso de animales experimentales de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. Las aves empleadas fueron alojadas en casetas de ambiente natural.

Experimento 1: Se realizó con la finalidad de evaluar dos muestras de GSDS A y B reducidos en aceite, con 6 y 12% de inclusión en dietas sorgo-soya para

gallinas de postura Bovans White para evaluar el rendimiento productivo y la eficiencia pigmentante en la yema de huevo.

Se utilizaron 360 gallinas de 69 semanas de edad de la estirpe Bovans White alojadas en jaula, las cuales fueron distribuidas al azar en 5 tratamientos con 6 repeticiones de 12 aves cada una. Las aves recibieron alimentación y agua a voluntad. Los tratamientos experimentales consistieron: 1) Dieta basal sorgo-pasta de soya+8ppm de pigmento de flor de cempasuchil; 2) Como 1 + 6% de GSDS A; 3) Como 1 + 12 % de GSDS A; 4) Como 1 + 6% de GSDS B y 5) Como 1 + 12% de GSDS B. La composición de las dietas experimentales se muestran en el Cuadro 2, se aprecia que el contenido de xantofilas amarillas en los tratamientos 2, 3, 4 y 5 se incrementó a más de 8 ppm contenidas en la dieta testigo por la inclusión de GSDS A o B, así como el porcentaje empleado en las dietas.

Durante 8 semanas de experimentación, se llevaron registros semanales de porcentaje de postura, masa de huevo, consumo de alimento y conversión alimenticia. A las 4 y 8 semanas del experimento, se realizó la medición de la coloración visual de la yema de huevo, empleando el abanico de DSM; y un colorímetro de reflectancia Minolta CR-400 (L*: luminosidad; a*: rojos; y b*: amarillos).

Experimento 2: Se realizó con la finalidad de evaluar las dos muestras de GSDS reducidos en aceite con 6 y 12% de inclusión en dietas sorgo-pasta de soya para pollos de engorda en tres etapas de alimentación (iniciación 0-10 días de edad, crecimiento 11-21 días de edad y finalización 22-42 días de edad), sobre el rendimiento productivo, rendimiento de la canal, así como la pigmentación de la piel y grasa abdominal.

Se utilizaron 375 pollos de 1-42 días de edad de la estirpe Ross 308, distribuidos al azar en 5 tratamientos con 3 repeticiones de 25 aves cada una. Los pollos fueron alojados en corrales equipados con bebederos automáticos de campana, comederos de tolva y como fuente de calor, se utilizaron criadoras de gas automáticas.

Las dietas experimentales para las fases de iniciación, crecimiento y finalización se muestran en los Cuadros 3, 4 y 5, se formularon siguiendo las recomendaciones del manual de la estirpe (Ross 308, 2012) [9]. Las dietas experimentales fueron: : 1) Dieta basal sorgo-pasta de soya; 2) Como 1 + 6% de GSDS A; 3) Como 1 + 12 % de GSDS A; 4) Como 1 + 6% de GSDS B y 5) Como 1 + 12% de GSDS B.

Se llevaron registros semanales durante los 42 días de experimentación del peso final promedio, consumo de alimento y conversión alimenticia. Al término del experimento, se llevó a cabo la eutanasia de 12 aves por tratamiento (6 machos y 6 hembras). A las 12 canales (sin vísceras, cabeza, cuello, patas, plumas y sangre) se les registró el peso y se calculó el rendimiento en canal. También se llevó a cabo la extracción y el pesaje de la grasa abdominal. En cuanto a la pigmentación, se realizó la medición de la coloración amarilla (b*) mediante un colorímetro de reflectancia Minolta CR-400 en la zona aptérica lateral izquierda (región de la vena de la grasa de la pechuga), en el pollo vivo, canal caliente, canal fría y de la grasa abdominal.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de cada una de las variables en estudio de los dos experimentos, fueron analizados empleando el paquete estadístico SPSS para Windows versión 17.0 (2012).

Experimento 1. Se empleó un diseño completamente al azar con 5 tratamientos con 6 repeticiones de 12 aves cada una. Los datos obtenidos de pigmentación de yema y de los parámetros productivos, fueron sometidos a un Análisis de Varianza y al encontrar diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) entre las medias de los tratamientos, se realizó una comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey.

Experimento 2: También se utilizó un diseño completamente al azar con 5 tratamientos con 3 repeticiones de 25 aves cada una. Los datos obtenidos de los parámetros productivos, fueron sometidos a un Análisis de Varianza, al

encontrar diferencia estadística ($P < 0.05$) entre las medias de los tratamientos, se realizó una comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey.

Además, se empleó un diseño factorial 3X2 para los datos obtenidos de pigmentación de la piel del pollo en vivo, canal caliente, canal fría y grasa abdominal; así como para los datos de rendimiento en canal y el peso de la grasa abdominal, donde un factor correspondió al nivel de inclusión de GSDS A y B (0, 6 y 12%) y el otro factor fue el sexo (macho y hembra).

Resultados y discusión.

Los datos obtenidos de la medición de la coloración de las muestras de GSDS con el colorímetro de reflectancia Minolta CR-400 en las dos muestras de GSDS, se presentan en el Cuadro 1. Se puede observar que se detectaron diferencia en cuanto a los valores de luminosidad (L^*) entre las dos muestras; estos valores fueron mayores ($P < 0.05$) en la muestra con menor contenido de aceite, sin embargo en esta misma muestra, los valores de amarillamiento (b^*) y enrojecimiento (a^*) fueron menores ($P < 0.05$) en comparación a la muestra con mayor contenido de aceite. Resultados similares fueron encontrados por Pekel et al. (2013), quienes encontraron que el aumento en el contenido de grasa en los DDGS, incrementa los valores de amarillamiento.

Experimento 1. La inclusión de 6 y 12% de GSDS A o B, no afectó ($P < 0.05$) el porcentaje de postura, peso del huevo, masa de huevo, consumo de alimento y conversión alimenticia en gallinas Bovans White, tal como se observa en el Cuadro 6. Diversos autores (Roberson et al. 2005; Cheon et al. 2008; Lumpkins et al 2005; Wu-Haan et al 2010) mencionan que la inclusión de 5 hasta 20% de GSDS convencionales con 10% de aceite en promedio, no afecta negativamente el rendimiento productivo de gallinas de postura. Los porcentajes utilizados en esta investigación se encuentran dentro de este rango de inclusión, encontrando resultados similares en el rendimiento productivo. Sin embargo, existen otros autores donde la

inclusión de GSDS es mayor; utilizando hasta 32% (Loar et al. 2010) sin afectar los parámetros de producción.

Noll y Purdum (2013), incluyeron 20% de GSDS con 5.62% de aceite y no encontraron efecto significativo en el rendimiento productivo. Estos resultados concuerdan con el presente estudio, donde las muestras A y B que contenían 6.54 y 5.39 respectivamente, no mostraron efectos negativos en los parámetros productivos de las gallinas. De la misma manera, no afectó la calidad externa del huevo (porcentaje de huevo sucio, roto y en fáfara).

Los datos de la coloración de la yema se muestran en el Cuadro 7. Se puede observar que la inclusión de GSDS A o B, no tuvo efecto ($P < 0.05$) en los valores de luminosidad. Contrario a estos datos, Loar et al. (2010), encontraron una disminución en los valores de luminosidad en la yema, conforme aumenta la inclusión de GSDS. En cuanto a los valores de enrojecimiento en el color de la yema, se observó un efecto creciente en los valores de (a^*), al ir incrementando a la inclusión de GSDS de ambas muestras. Similares resultados fueron encontrados por Roberson et al. (2005), quienes indican que el enrojecimiento se incrementa linealmente conforme se aumenta la inclusión de GSDS.

Los valores de amarillamiento y la coloración visual de la yema con el abanico colorimétrico de DSM, indicaron diferencias estadísticas entre tratamientos con efecto lineal ($P < 0.001$) a la inclusión creciente de GSDS A o B, con un mayor amarillamiento de la yema y superiores valores en la coloración DSM al adicionar 6 y 12% de ambos GSDS en la dieta; efecto que se atribuye al mayor contenido de xantofilas (luteína y zeaxantina) en las muestras de GSDS, respecto a la dieta testigo. Este efecto concuerda en parte a los obtenidos por otros autores (Cheon et al. 2008; Masa`deh et al. 2011; Cortés et al. 2012; Sun et al. 2013), quienes indican que la pigmentación y la luteína en la yema de huevo, aumentan linealmente conforme se incrementa la inclusión de GSDS convencionales. Mencionando también que los GSDS utilizados en el presente estudio fueron con GSDS

reducidos en aceite, lo que sugiere que su efecto pigmentante no se afectó por la extracción de aceite en dichas muestras. Por otra parte, Noll y Purdum (2013), al igual que en este estudio, encontraron que la inclusión de GSDS bajos en aceite aumentaron la coloración de la yema.

Como se puede apreciar, estos resultados se pueden atribuir a que la inclusión de 6 y 12% de GSDS A y B, incrementan el contenido de xantofilas en la dieta (1.40-1.54 y 2.90-3.08 ppm) respectivamente comparados con la dieta testigo (8 ppm).

Experimento 2: Los resultados promedio de parámetros productivos se pueden observar en el Cuadro 8. La inclusión de 0, 6 y 12% de GSDS en la dieta de los pollos, no afectó el rendimiento productivo (ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia) sin detectar diferencias ($P>0.05$) entre tratamientos. Resultados similares fueron obtenidos por Guney et al. (2013), quienes al incluir 10% de GSDS bajos en aceite en dietas maíz-pasta de soya durante 18 días, no encontraron diferencias ($P<0.05$) en el rendimiento productivo (ganancia de peso y conversión alimenticia). Sin embargo, otros autores (Cortés et al. 2012; Lumpkins et al. 2004; Shim et al. 2011) mencionan que se puede incluir hasta 15% de GSDS convencionales (10 % de aceite en promedio), sin afectar el rendimiento productivo. Estos autores, indican que la inclusión mayor a 15% afecta la ganancia de peso. Este efecto lo atribuyen a un posible desbalance en el perfil de aminoácidos en la dieta, ya que al aumentar la inclusión de GSDS, disminuyen la inclusión de otros ingredientes como la pasta de soya, la cual tiene un mejor perfil de aminoácidos que los GSDS.

Los resultados promedio, de porcentaje de rendimiento de la canal y peso de la grasa abdominal se pueden apreciar en el Cuadro 9. La variable rendimiento de la canal, tampoco se vio afectada ($P<0.05$) por la inclusión de 0, 6 y 12% de GSDS A o B. Datos similares fueron encontrados por Lu y Chen (2005), quienes al incluir 10 y 20% de GSDS convencionales en dietas maíz-soya, observaron que no se afectó el rendimiento de la canal. Sin embargo, Loar et al. (2012), observaron que el rendimiento en canal,

disminuye cuando la inclusión es mayor a 14% de GSDS convencionales solo durante la etapa de finalización, no así en el presente estudio donde la inclusión fue de 12% con GSDS reducidos en aceite.

Por otra parte, la inclusión de GSDS reducidos en aceite no disminuye o aumenta la cantidad de grasa abdominal. Sin embargo, estos resultados no coinciden con los obtenidos por Guney et al. (2013), quienes al incluir 10 y 20% de GSDS reducidos en aceite, observaron un incremento en el peso de la grasa abdominal.

En cuanto al factor sexo para las variables de rendimiento en canal y peso de la grasa abdominal, no se encontraron diferencias ($P>0.05$) entre machos y hembras. Sin embargo, algunos estudios como el de Shim et al. (2011), quienes utilizaron GSDS convencionales en dietas para pollos, encontraron que las hembras tienden a acumular una mayor cantidad de tejido adiposo en el abdomen respecto a los machos.

Los datos promedio de pigmentación amarilla de la piel de pollos en vivo, canal caliente y grasa abdominal se muestran en el Cuadro 10. En los resultados obtenidos de la pigmentación amarilla de la piel, se observó que con el consumo de 272.4 y 278.7ppm de xantofilas a partir de la adición de 6 y 12% de GSDS B durante 42 días, se obtuvo una mayor pigmentación ($P<0.05$) que al incluir los mismos porcentajes de GSDS A, donde se tuvo un consumo de xantofilas de 260.3 y 269.8ppm respectivamente, comparados con el consumo de xantofilas de 260.2ppm en el tratamiento control. Sin embargo, no se observaron diferencias estadísticas ($P>0.05$) entre los dos niveles de inclusión de GSDS (6 y 12%) en ambas muestras; por lo que no se detectó un incremento en la pigmentación de la piel, conforme se incrementó la inclusión de GSDS.

La pigmentación de la canal caliente no fue diferente ($P>0.05$) entre tratamientos con GSDS A y B. Pero si lo fue, comparándolo con el tratamiento control; observando así que la inclusión de 6 y 12% de GSDS aumenta ($P<0.05$) el color amarillo de la canal caliente. Estos resultados son

similares a los encontrados por Min et al. (2012), quienes incluyeron niveles crecientes de GSDS convencionales, donde observaron diferencias ($P < 0.05$) en amarillamiento de la piel al incluir 20% de GSDS, sin observar este efecto al adicionar 6% como en el presente estudio. Otros autores mencionan que no hay efecto en la coloración amarilla de la piel de la canal, al incluir 6, 8, 12, 18 y 24% de GSDS convencionales (Schilling et al. 2010; Corzo et al. 2009).

La coloración amarilla de la grasa abdominal fue mayor en los tratamientos suplementados con 12% de GSDS bajos en aceite, de ambas muestras. Mostrando así un incremento en b^* , conforme aumenta la inclusión de GSDS; sin embargo, se observó una mejor ($P < 0.05$) deposición de xantofilas en la grasa abdominal en los tratamientos con GSDS B. Kimura, (2007), observó datos similares en el color de la grasa abdominal, ya que los valores de b^* aumentaron conforme se incrementó la inclusión de GSDS.

En cuanto a la coloración amarilla de la piel en pollo vivo entre sexos, fue mayor ($P < 0.05$) la pigmentación en las hembras respecto a los machos, ya que estas, depositan una mayor cantidad de tejido adiposo que el macho. Sin embargo, en el caso de la coloración amarilla de la canal caliente y de la grasa abdominal, no se encontró efecto ($P > 0.05$) dado por el sexo.

Conclusiones

Se puede inferir, que el rendimiento productivo en gallinas de postura Bovans White y pollos de engorda Ross 308, no se afectó al ser alimentados con dietas sorgo-pasta de soya, suplementadas con 6 y 12% de GSDS reducidos en aceite A o B. Además, con el beneficio de incrementar hasta 17% la coloración amarilla de la yema de huevo al emplearlos en la dieta. El rendimiento de la canal y contenido de grasa abdominal, no se vió afectado en pollos alimentados con dietas sorgo-pasta de soya suplementadas con 6 y 12% de GSDS reducidos en aceite A o B y el empleo de estos coproductos mejoró la deposición de pigmento amarillo de hasta 23%, en la piel, en la canal caliente, canal fría y en grasa abdominal.

Finalmente, los resultados de este estudio indican para los nutriólogos que formulan dietas para pollos y gallinas, que la inclusión de hasta 12% de GSDS reducidos en aceite incrementa el color de la yema y la piel del pollo

Referencias

1. AOAC International. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th ed. AOAC Int., Gaithersburg, MD., 2006.
2. Aviagen, Ross 308. Broiler Performance Objectives, Huntsville, Alabama, USA., 2012.
3. Breithaupt DE, Wirt U, Bamedi A. Differentiation between lutein monoester regioisomers and detection of lutein diester from marigold flowers (*Tagetes erecta* L.) and several fruits by liquid chromatography-mass spectrometry. *Journal Agriculture Food Chemistry*. 2002;50:66-70.
4. Cheon YJ, Lee HL, Shin MH, Jang A, Lee SK, Lee JH, Lee BD, Son CK. Effects of Corn Distiller's Dried Grains with Solubles on Production and Egg Quality in Laying Hens. *Asian-Australian Journal Animal Science*. 2008;21:1318–1323.
5. Cortés CA, Esparza CC, Sanabria EG, Miguel JJ, Ornelas RM, Avila GE. El uso de granos secos de destilería con solubles (DDGS) en dietas sorgo-soya para pollos de engorda y gallinas de postura. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 2012;3: 331-341.
6. Corzo A, Schilling MW, Loar RE, Jackson V, Kin S, Radhakrishnan V. The effects of feeding distillers dried grains with solubles on broiler meat quality. *Poultry Science*. 2009;88:432–439.
7. Guney AC, Shim MY, Batal AB, Dale NM, Pesti GM. Effect of feeding low-oil distillers dried grains with solubles on the performance of broilers. *Poultry Science* 2013;92:2070-2076.
8. Kimura N. Report of the results of a DDGS feeding trial in broilers (U.S. Grains Council). Laboratory of Animal Nutrition, Nippon Veterinary and Life Science University, 2007.

9. Kshun L, Kurt A. Distillers grains, production, properties, and utilization. 1st ed. AK Peters/CRC Press. Florida, USA., 2012.
10. Loar RE, Donaldson JR, Corzo A. Effects of feeding distillers dried grains with solubles to broilers from 0 to 42 days posthatch on broiler performance, carcass characteristics, and selected intestinal characteristics. *Journal Applied Poultry Research*. 2012;21:48–62.
11. Loar RE, Schilling MW, Daniel MC, Rogers SF, Karges K, Corzo A. Effect of dietary inclusion level of distillers dried grains with solubles on layer performance, egg characteristics, and consumer acceptability. *Journal Applied Poultry Research*. 2010;19:30-37.
12. Lu JL, Chen Y. Effects of feeding diets containing U.S. corn distiller's dried grains with solubles on growth performance and carcass quality of domestic colored broiler chickens in Taiwan. Dept. of Animal Science, National Chia-Yi University, and AGAPE Nutrition Consultant, Taiwan, 2005.
13. Lumpkins B, Batal A, Dale N. Use of Distillers Dried Grains Plus Solubles in Laying Hen Diets. *Journal Applied Poultry Research*. 2005;14:25–31.
14. Lumpkins BS, Batal AB, Dale NM. Evaluation of distillers dried grains with solubles as a feed ingredient for broilers. *Poultry Science*. 2004;83:1891-1896.
15. Masa'deh M K, Purdum SE, Hanford KJ. Dried distillers grains with solubles in laying hen diets. *Poultry Science*. 2011;90:1960–1966.
16. Min YN, Li L, Waldroup PW, Niu ZY, Wang ZP, Gao YP, Liu FZ. Effects of dietary distillers dried grains with solubles concentrations on meat quality and antioxidant status and capacity of broiler chickens. *Journal Applied Poultry Research*. 2012.;21:603–611.
17. Moreau R, Hicks BK, Johnston BD, Laun NP. The composition of crude corn oil recovered after fermentation via centrifugation from a commercial dry grind ethanol process. *Journal American Oil Chemical Society*. 2010;87:895–902.

18. Noll S, Purdum SE. Low oil DDGS value in Turkey and Laying Hen Rations. Midwest Poultry Federation Convention Saint Paul River Centre. Minnesota, EU, 2013.
19. Pekel AY, Cakir EO, Polat M, Cakir K, Inan G, Kocabagli N. Correlations between chemical assays and near-infrared reflectance spectroscopy for nutrient components and correlations between nutrients and color scores of distillers dried grains with soluble. *Journal Applied Poultry Research*. 2013;22:814–824.
20. Roberson KD, Kalbfleisch JL, Pan W, Charbeneau RA. Effect of corn distillers dried grains with solubles at various levels on performance of laying hens and egg yolk color. *International Journal Poultry Science*. 2005;4:44-51.
21. Schilling MW, Battula V, Loar RE, Jackson V, Kin S, Corzo A. Dietary inclusion level effects of distillers dried grains with solubles on broiler meat quality. *Poultry Science*. 2010;89:752–76.
22. Shim MY, Pesti GM, Bakalli RI, Tillman PB, Payne RL. Evaluation of corn distillers dried grains with solubles as an alternative ingredient for broiler. *Poultry Science*. 2011;90:369–376.
23. SPSS Inc. SPSS for Windows (computer program) version 17.0 spss inc 2012.
24. Sun H, Lee EJ, Samaraweera H, Persia M, Dong UA. Effects of increasing concentration of corn distillers dried grain with soluble on chemical composition and nutrient content of egg. *Poultry Science*. 2013;92: 233-242.
25. Winkler MJ, Vaughn S.F. Antioxidant Activity of Phytochemicals from Distillers Dried Grain Oil. *Journal American Oil Chemical Society*. 2009;86:1073–1082.
26. Wu-Haan W, Powers W, Angel R, Applegate TJ. The use of distillers dried grains plus solubles as a feed ingredient on air emissions and performance from laying hens. *Poultry Science*. 2010;89:1355–1359.

Cuadro 1: Composición química y valores de luminosidad (L*), enrojecimiento (a*) y amarillamiento (b*) de las dos muestras de GSDS bajos en aceite.

Nutriente	¹GSDS A	²GSDS B
Materia seca (%)	95.45	95.05
Humedad (%)	4.55	4.95
Proteína cruda (%)	28.05	27.02
Extracto etéreo (%)	6.54	5.39
Cenizas (%)	5.40	5.26
Fibra cruda (%)	8.05	8.43
Extracto libre de nitrógeno (%)	47.41	48.96
Xantofilas Totales (mg/kg)	24.2	25.6
Luteína (%)	24.2	23.3
Zeaxantina (%)	33.7	40.5
Luminosidad (L*)	62.7	58.5
Enrojecimiento (a*)	7.3	9.6
Amarillamiento (b*)	39.6	43.2

Cuadro 2: Composición de las dietas experimentales para gallinas Bovans White de 69 semanas (Exp. 1) en kg.

Ingrediente	Dieta control	6 % GSDS A	12 % GSDS A	6% GSDS B	12% GSDS B
Sorgo	697.436	665.843	634.216	664.440	630.857
Pasta de Soya 48%	178.175	150.124	120.976	149.039	119.935
Carbonato de Calcio	90.201	90.923	91.646	91.109	92.017
Fosfato Monodiválcico	16.063	14,659	13.268	14.513	12.963
Aceite de soya	8.371	9.166	10.017	11.064	13.812
Sal (NaCl)	3.762	3.818	3.875	3.820	3.878
DL-Metionina	1.475	1.384	1.308	1.396	1.318
Vitaminas¹	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
L-Lisina HCl	0.652	0.716	1.329	1.254	-----
Pigmento amarillo**	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615
Minerales²	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
Bacitracina10%	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
Antioxidante ETQ	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150
Cloruro de Colina 60%	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
GSDS	-----	60.00	120.00	60.00	120.00
Total (Kg)	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0

Nutriente	Análisis calculado				
Proteína cruda (%)	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
EM (Kcal/KG)	2800	2800	2800	2800	2800
Calcio Total (%)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Fosforo Disponible (%)	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
Lisina Digestible (%)	0.670	0.670	0.670	0.670	0.670
Met-Cis dig. (%)	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580
Sodio (%)	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180
Xantofilas (mg/Kg)	8.000	9.450	10.900	9.54	11.080

¹Premezcla de vitaminas proporciona: Vitamina A, 3 000 000 UI; Vitamina D3, 750 000 UI; Vitamina E, 6 000 UI; Vitamina K3, 1.0 g; Riboflavina, 4 g; B12, 0.060 g; Piridoxina, 3.0 g; Pantotenato de calcio, 13.0 g; Niacina, 25 g; Biotina, 0.063 g y cloruro de colina, 250 g.

²Premezcla de minerales proporciona: Selenio, 0.2 g; cobalto, 0.1 g; Yodo, 0.3 g; Cobre, 10 g; Zinc, 50 g; Hierro, 100 g y Manganeso, 100 g.

**Se adiciono 8 ppm de pigmento amarillo de flor de cempasúchil en las 8 semanas de experimentación.

Cuadro 3: Composición de las dietas experimentales para pollos de engorda de 0 a 10 días de edad (Exp. 2) en kg.

Ingrediente	Dieta control	6% GSDS A	12% GSDS A	6% GSDS B	12%GSDS B
Sorgo	557.34	526.29	495.25	523.84	490.35
Pasta de soya	365.76	336.39	307.03	336.62	307.49
GSDS	0.00	60.00	120.00	60.00	120.00
Aceite de soya	31.29	31.73	32.24	33.97	36.70
Fosfato monodivale	20.10	18.71	17.31	18.55	17.00
Carbonato de Calcio	13.45	14.17	14.89	14.35	15.26
Sal (NaCl)	3.79	3.84	3.90	3.84	3.90
L-Lisina HCl	2.09	2.70	3.32	2.69	3.29
DL-Metionina 99%	3.24	3.16	3.09	3.16	3.09
Cloruro de Colina 60%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Vitaminas¹	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Minerales²	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Bacitracina	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Antioxidante ETQ	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Total	1000	1000	1000	1000	1000
Nutriente	Análisis Calculado				
EM (kcal/Kg)	3025	3025	3025	3025	3025
Proteína Cruda (%)	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
Met+ Cist dig. (%)	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
Lisina dig. (%)	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
Calcio Total	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Fósforo disponible	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

¹Premezcla de vitaminas proporciona: Vitamina A, 6 000 000 UI; Vitamina D3, 1,500 000 UI; Vitamina E, 12 000 UI; Vitamina K3, 2.0 g; Riboflavina, 8 g; B12, 0.120 g; Piridoxina, 6.0 g; Pantotenato de calcio, 26.0 g; Niacina, 50 g; Biotina, 0.126 g y cloruro de colina, 500 g; ²Premezcla de minerales proporciona: Selenio, 0.2 g; cobalto, 0.1 g; Yodo, 0.3 g; Cobre, 10 g; Zinc, 50 g; Hierro, 100 g y Manganeso, 100 g.

Cuadro 4: Composición de las dietas experimentales para pollos de engorda de 11 a 21 días de edad (Exp. 2) en kg.

Ingrediente	Dieta control	6% GSDS A	12% GSDS A	6% GSDS B	12% GSDS B
Sorgo	597.49	566.45	535.41	593.90	530.50
Pasta de soya	317.97	288.60	259.24	288.83	259.69
GSDS	0.00	60.00	120.00	60.00	120.00
Aceite de soya	44.74	42.23	45.70	47.44	50.13
Fosfato monodivale	17.69	16.30	14.91	16.15	14.59
Carbonato de Calcio	11.14	11.87	12.59	12.05	12.96
Sal (NaCl)	3.81	3.87	3.93	3.87	3.93
L-Lisina HCl	1.49	2.11	2.73	2.09	2.69
DL-Metionina 99%	2.69	2.62	2.54	2.62	2.54
Cloruro de Colina 60%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Vitaminas*	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Minerales*	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Bacitracina	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Antioxidante ETQ	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Total (kg)	1000	1000	1000	1000	1000
Nutriente	Análisis Calculado				
EM (kcal/Kg)	3150	3150	3150	3150	3150
Proteína Cruda (%)	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
Met+ Cist dig. (%)	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
Lisina dig. (%)	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Calcio Total (%)	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Fósforo Disponible (%)	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45

¹Premezcla de vitaminas proporciona: Vitamina A, 6 000 000 UI; Vitamina D3, 1,500 000 UI; Vitamina E, 12 000 UI; Vitamina K3, 2.0 g; Riboflavina, 8 g; B12, 0.120 g; Piridoxina, 6.0 g; Pantotenato de calcio, 26.0 g; Niacina, 50 g; Biotina, 0.126 g y cloruro de colina, 500 g.

²Premezcla de minerales proporciona: Selenio, 0.2 g; cobalto, 0.1 g; Yodo, 0.3 g; Cobre, 10 g; Zinc, 50 g; Hierro, 100 g; Manganeso, 100 g; Excipiente cbp, 2000

Cuadro 5: Composición de las dietas experimentales para pollos de engorda de 22 a 42 días de edad (Exp. 2) en kg.

Ingrediente	Dieta control	6% GSDS A	12% GSDS A	6% GSDS B	12% GSDS B
Sorgo	639.2	608.161	577.119	605.7	572.2
Pasta de soya	270.0	240.689	211.326	240.9	211.8
GSDS	0.00	60	120	60	120
Aceite de soya	49.2	49.695	50.175	51.9	54.6
Fosfato monodivale	16.4	15.006	13.612	14.8	13.3
Carbonato de Calcio	10.7	11.515	12.239	11.7	12.6
Pigmento amarillo*	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Sal (NaCl)	5.0	3.372	3.429	5.0	5.0
L-Lisina HCl	3.3	1.644	2.262	3.4	3.4
DL-Metionina 99%	1	2.432	2.336	1.6	2.2
Cloruro de Colina 60%	2.5	1	1	2.4	2.3
Vitaminas¹	1	1	1	1	1
Minerales²	1	0.5	0.5	1	1
Bacitracina	0.5	0.3	0.3	0.5	0.5
Antioxidante ETQ	0.3	0.15	0.15	0.3	0.3
Total (kg)	1000	1000	1000	1000	1000
Análisis Calculado					
EM (MC/Kg)	3200	3200	3200	3200	3200
Proteína Cruda (%)	19	19	19	19	19
Met+ Cist dig. (%)	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
Lisina dig. (%)	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
Calcio Total (%)	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Fósforo Disponible (%)	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42

¹Premezcla de vitaminas proporciona: Vitamina A, 6 000 000 UI; Vitamina D3, 1,500 000 UI; Vitamina E, 12 000 UI; Vitamina K3, 2.0 g; Riboflavina, 8 g; B12, 0.120 g; Piridoxina, 6.0 g; Pantotenato de calcio, 26.0 g; Niacina, 50 g; Biotina, 0.126 g y cloruro de colina, 500 g.

²Premezcla de minerales proporciona: Selenio, 0.2 g; cobalto, 0.1 g; Yodo, 0.3 g; Cobre, 10 g; Zinc, 50 g; Hierro, 100 g; Manganeso, 100 g; Excipiente cbp, 2000g.

*Se adicionaron 70 ppm de pigmento amarillo de flor de cempasuchil.

Cuadro 6: Parámetros productivos obtenidos en gallinas de postura a las 14 semanas de experimentación (Exp. 1).

Tratamiento	Postura (%)	Peso huevo (g)	Consumo alimento (g)	Conversión (kg:kg)	Masa de huevo (g)
0% GSDS	87 ^a ±1.25	64.6 ^a ±0.54	108 ^a ±1.07	1.93 ^a ±0.02	56 ^a ±1.03
6% GSDS A	87 ^a ±1.83	64.7 ^a ±0.23	109 ^a ±0.77	1.94 ^a ±0.03	56 ^a ±1.24
12% GSDS A	88 ^a ±1.03	64.4 ^a ±0.60	107 ^a ±1.05	1.91 ^a ±0.02	56 ^a ±0.36
6% GSDS B	88 ^a ±1.09	65.0 ^a ±0.31	109 ^a ±0.70	1.92 ^a ±0.02	57 ^a ±0.66
12% GSDS B	86 ^a ±0.89	64.6 ^a ±0.28	108 ^a ±1.06	1.96 ^a ±0.03	56 ^a ±0.71
Probabilidad	0.846	0.884	0.609	0.677	0.778

Valores con distinta letra entre filas son diferentes ($P < 0.05$).

Cuadro 7: Valores de Luminosidad (L*), enrojecimiento (a*), amarillamiento (b*), y los obtenidos mediante el abanico de DSM a las 8 semanas de experimentación (Exp. 1).

Valor	0% GSDS	6% GSDS A	12% GSDS A	6% GSDS B	12%GSDS B	P<0.01
L*	57.83 ^a ±5.4	65.01 ^a ±0.9	64.63 ^a ±0.9	61.21±1.9 ^a	64.66 ^a ±0.7	0.260
a*	-7.30 ^b ±0.09	-6.76 ^{ab} ±0.2	-6.11 ^a ±0.14	-6.69 ±0.3 ^{ab}	-6.17 ^a ±0.1	0.001
b*	36.47 ^b ±2.57	40.15 ^{ab} ±1.0	42.68±1.0 ^a	39.60 ±0.7 ^{ab}	42.93 ^a ±1.1	0.030
DSM	3.33 ^a ±0.21	4.08 ^{ab} ±0.1	4.16 ^b ±0.16	4.00 ^{ab} ±0.25	4.66 ^b ±0.21	0.002

Valores con distinta letra entre columnas son diferentes (p< 0.05).

Cuadro 8: Resultados de los parámetros productivos de pollos de engorda a los 42 días de edad (Exp. 2).

Tratamiento	Peso final (g)	Ganancia de peso (g)	Consumo alimento (g)	Conversión (Kg:kg)
0% GSDS	2758 ^a ±32	2717 ^a ±32	4847 ^a ±36	1.78 ^a ±0.03
6% GSDS A	2692 ^a ±32	2651 ^a ±49	4826 ^a ±63	1.82 ^a ±0.04
12% GSDS A	2627 ^a ±49	2585 ^a ±80	4725 ^a ±130	1.83 ^a ±0.09
6% GSDS B	2699 ^a ±61	2658 ^a ±61	4861 ^a ±154	1.83 ^a ±0.05
12% GSDS B	2636 ^a ±72	2595 ^a ±72	4929 ^a ±75	1.90 ^a ±0.06
Probabilidad	0.495	0.490	0.691	0.709

Valores con distinta letra entre columnas son diferentes (P < 0.05).

Cuadro 9: Rendimiento en canal y peso de la grasa abdominal de pollos de engorda a los 42 días de edad (Exp. 2).

	Macho	Hembra	Promedio
Tratamiento	Rendimiento en canal (%)		
0% GSDS	71.5	73.5	72.5 ^a ±0.7
6% GSDS A	70.6	71.0	70.8 ^a ±0.3
12% GSDS A	70.5	71.8	71.1 ^a ±0.6
6% GSDS B	71.7	70.7	71.2 ^a ±0.5
12% GSDS B	70.9	71.8	71.3 ^a ±0.2
Promedio	71.1 ^a ±0.3	71.8 ^a ±0.3	
	Peso de la grasa abdominal (g)		
0% GSDS	56.7	46.7	51.7 ^a ±3.3
6% GSDS A	41.0	51.3	46.2 ^a ±2.9
12% GSDS A	55.3	59.7	57.5 ^a ±1.9
6% GSDS B	54.3	61.2	57.7 ^a ±4.0
12% GSDS A	49.7	56.0	52.8 ^a ±4.3
Promedio	51.4 ^a ±2.3	55.0 ^a ±2.0	

Valores con distinta letra entre filas y columnas son diferentes (P< 0.05).

Cuadro 10: Resultados de amarillamiento (b) en la piel de pollos de engorda a los 42 días de edad (Exp. 2).

	Macho	Hembra	Promedio
Pollo vivo			
Tratamiento			
0% GSDS	11.0	13.2	12.0 ^c ±0.3
6% GSDS A	12.1	13.0	12.6 ^{bc} ±0.5
12% GSDS A	12.5	15.1	13.9 ^{ab} ±0.5
6% GSDS B	13.5	14.6	14.1 ^{ab} ±0.4
12% GSDS B	14.3	15.1	14.7 ^a ±0.5
Promedio	12.5±0.3 ^b	14.2±0.3 ^a	
Canal caliente			
0% GSDS	27.8	27.5	27.7 ^b ±0.8
6% GSDS A	28.8	27.6	28.2 ^{ab} ±0.8
12% GSDS A	30.1	30.2	30.2 ^{ab} ±1.1
6% GSDS B	31.2	30.0	30.6 ^{ab} ±0.7
12% GSDS B	32.1	30.9	32.0 ^a ±1.2
Promedio	30.2 ^a ±0.8	29.2 ^a ±0.6	
Canal fría			
0% GSDS	36.4	35.5	35.9 ^a ±0.7
6% GSDS A	35.7	37.5	36.6 ^a ±1.2
12% GSDS A	40.0	38.5	39.3 ^a ±1.0
6% GSDS B	40.9	37.5	39.2 ^a ±1.4
12% GSDS B	39.3	39.9	39.6 ^a ±0.8
Promedio	38.5 ^a ±0.6	37.8 ^a ±0.8	
Grasa abdominal			
0% GSDS	20.2	21.6	20.9 ^c ±0.6
6% GSDS A	21.3	21.6	21.5 ^{bc} ±0.8
12% GSDS A	24.5	24.4	24.5 ^{ab} ±0.7
6% GSDS B	22.6	25.0	23.8 ^{abc} ±0.9
12% GSDS A	27.4	23.9	25.7 ^a ±1.0
Promedio	23.2±0.7 ^a	23.3±0.5 ^a	

Valores con distinta letra entre filas y columnas son diferentes (P < 0.05).

VII. Artículo I. Aceptado para su publicación en la Revista Brazilian Journal of Poultry Science vol. 17, No. 2, 2015.

Effect of feeding low-oil DDGS to laying hens and broiler chickens on performance and egg yolk and skin pigmentation

A. Cortes-Cuevas*², S. Ramírez-Estrada*, J. Arce-Menocal⁺, E. Avila-González*, and C. López-Coello*.

*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México; ⁺ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

²Corresponding Author: cortescuevasarturo@yahoo.com

Summary

Two experiments were conducted to evaluate the nutritional quality of low-oil distiller dried-grains with solubles (DDGS) and their pigmenting ability for broiler chicken skin and egg yolks. In Experiment 1, 360 Bovan-White hens between 69 and 77 weeks of age were randomly assigned to 5 dietary treatments containing 6 replications of 12 hens each. In Experiment 2, 375 Ross 308 broiler chickens were randomly assigned to 5 treatments containing 3 replications of 25 birds each. The chickens were fed the experimental diets from 1 to 42 d of age. For both experiments, treatments consisted of a basal diet with no DDGS, and 6% or 12% inclusion of DDGS from two sources. In Experiment 1, no significant differences in performance were detected between treatments ($P > 0.05$). Egg yolk pigmentation (redness and yellowness) increased linearly with higher DDGS inclusion. In Experiment 2, no significant differences ($P > 0.05$) were detected between treatments in growth performance, carcass yield, or abdominal fat at 42 d of age. The results of the current study indicate that feeding low-oil DDGS to broiler chickens or laying hens does not affect egg production or growth performance negatively while improving egg yolk and skin pigmentation.

Key words: Low-oil DDGS, egg yolk pigmentation, skin pigmentation, abdominal fat, carcass yield.

Introduction

In recent years, after the fermentation process of corn to produce ethanol, the remaining fat in the distiller dried-grains with solubles (DDGS) has been extracted by centrifugation. The resulting by-product is known as low-fat DDGS, which has slightly higher protein content, amongst other nutrients, compared to conventional DDGS (Kshun and Kurt, 2012). The fat extraction in low-oil DDGS reduces the xanthophyll content in comparison with the conventional DDGS (Winkler and Vaughn, 2009). Lutein and zeaxanthin have been analyzed in lower concentrations (10-30 mg/g) in low-oil DDGS with respect to conventional DDGS sources (25-50 mg/kg) (Winkler and Vaughn, 2009; Moreau et al. 2010). Conventional DDGS can be fed up to 15% inclusion in laying hens and increased the egg yolk pigmentation. When increasing the DDGS inclusion in diets for second-cycle Bovan-White birds, egg yolk pigmentation was more intense (Loar et al 2010).

In broiler chickens fed 0, 6, 12, 18, or 24% inclusion of conventional DDGS, there were no significant changes in breast skin pigmentation after cooking (Schilling et al. 2010). However, there are no research reports regarding the pigmenting ability of low-oil DDGS for egg yolk or broiler skin, which is an important trait for commercialization of eggs and chicken meat in the Mexican market. The objective of the current study was to evaluate the effect of feeding two low-oil DDGS sources on egg production, broiler growth performance, carcass yield, and egg yolk and skin pigmentation.

Material and Methods

Laboratory analysis

Proximate analysis of the DDGS samples was analyzed by wet chemistry using the AOAC methods (2006) (Table 1). Total xanthophylls, lutein, and zeaxanthin were determined through HPLC using a Hewlett- Packard 1100 chromatographer comprising a quaternary pump, a degasifier, an automatic injector, and variable-wave length detector. The UV absorbance was recorded at 450 nm. A C30 reversed phase analytical column (RP-C30; 250 X 4.6 mm, 5m). A Bischoff pre-column (Nucleosil C18, 10 X 4.6mm, 5m) tempered at 35 C was used. The mobile phase consisted of metanol, TBME (Tert Butyl Metyl Ether), and water; solvent A: 81:15:4(vol/vol/vol); solvent B: 6:90:4(vol/vol/vol)]. The following gradient was applied: (minutes over percent of solvent A): 0/99, 39/44, 45/0, 50/99, 55/99) with a flow of 1 mL/min; injection volumen was 20L. Analytical data was collected using the HP- ChemStation Plus software. The HPLC was conducted in an LC (APci)-MS system coupled with a Micromass VG platform II quadruple mass spectrophotometer, which was operated with an APci interphase on a positive mode. The MS parameters were as described by Breithaupt et al. (2002). Analytical results are presented in Table 1.

Bird husbandry.

For both experiments, housing, husbandry and euthanasia procedures were approved by the institutional committee for experimental animal care of the Faculty of Veterinary Medicine at the National Autonomous University of Mexico (UNAM). Birds were housed in an open-sided, naturally ventilated house.

Experiment 1. The objective of this experiment was to evaluate the effect of two low-oil DDGS samples included at 6% and 12% in sorghum-soybean meal diets for Bovans-White laying hens on egg production and egg yolk pigmentation. Three hundred and sixty 69-week-old Bovans White caged-hens were randomly assigned to 5 dietary treatments with 6 replications of 12 birds each (3 birds per cage). The birds received the experimental feed in a mash form, and had free access to feed and water.

Treatments consisted of: 1) basal sorghum-soybean meal diet containing 8 ppm of xanthophylls from *Tagetes erecta*; 2) As 1 + 6% DDGS source A; 3) As 1 + 12% DDGS source A; 4) As 1 + 6% DDGS source B; and 5) As 1 + 12% DDGS source B. The composition of the experimental diets is presented in Table 2. The xanthophyll content in diets from treatments 2 through 5 was higher as the inclusion of DDGS increased.

The hens received the experimental diets for 8 weeks. Egg production, egg mass, feed consumption, and feed conversion were recorded weekly. At 4 and 8 weeks of the experimental period, a visual evaluation of egg yolk coloration was conducted using DSM's egg yolk color fan. (L*) Luminosity, Redness (a*) and yellowness (b*) were also determined using a Minolta CR-400 colorimeter.

Experiment 2. The objective was to evaluate the effect of feeding two low-oil DDGS sources included at 6% and 12% in sorghum-soybean meal diets for broiler chickens on growth performance, carcass yield, skin pigmentation, and abdominal fat. Three hundred and seventy five 1-d-old Ross 308 male broiler chickens were randomly assigned to 5 dietary treatments containing 3 replications of 25 birds each. The birds

were housed in an open-sided, naturally ventilated house with floor pens, bell-type drinkers, feed troughs, and automatic gas brooders.

Composition of the experimental diets is presented in Tables 3, 4, and 5. Diets were designed for three growth phases: starter (0-11 d), grower (11-21 d), and finisher (22-42 d), and formulated to meet the nutrient requirements as recommended by the primary breeder (Ross 308, 2012) [9]. Treatments consisted of the following: 1) basal sorghum-soybean meal diet containing 8 ppm of xanthophylls from *Tagetes erecta*; 2) As 1 + 6% DDGS source A; 3) As 1 + 12% DDGS source A; 4) As 1 + 6% DDGS source B; and 5) As 1 + 12% DDGS source B.

The birds received the experimental diets for 42 d live weight, feed consumption, and feed conversion were recorded weekly. At the end of the study, 12 birds per treatment (6 males and 6 females) were euthanized by CO₂ asphyxiation. The carcasses were eviscerated, defeathered, and head, neck, and feet removed. The carcass weight was used to calculate carcass yield. Abdominal fat was collected and weighed. Yellowness (b*) was measured on the lateral apterial breast area using the CR-400 Minolta colorimeter in live birds, hot and cold carcasses, and abdominal fat.

Statistical analysis

All data was analyzed by analysis of variance (ANOVA) using the SPSS software for Windows version 17.0 (2012). If a significant difference was detected ($P < 0.05$), treatment means were compared using Tukey's multiple comparison procedure. Skin pigmentation in live birds, hot and cold carcass, and abdominal fat weight and carcass yield were analyzed using a 3 x 2 factorial arrangement, where one factor was the

inclusion of DDGS (0%, 6%, and 12%) and the other factor was the bird's sex (male or female).

Results and discussion

Coloration data for the 2 DDGS samples is presented in Table 2. Luminosity as measured by the Minolta CR-400 colorimeter (L^*) was significantly higher in the DDGS source with the lower ether extract value ($P < 0.05$). However, the redness (a^*) and yellowness values were significantly greater in the DDGS source with higher ether extract ($P < 0.05$). Similar results have been reported elsewhere (Pekel et al, 2013), where higher fat content was associated with higher yellowness.

Experiment 1. Inclusion of DDGS at 6% and 12% did not affect egg production, egg weight, egg mass, feed consumption, or feed conversion ratio in Bovans-White hens (Table 6). Research conducted elsewhere (Roberson et al. 2005; Cheon et al. 2008; Lumpkins et al 2005; Wu-Haan et al 2010) indicated no detrimental effects on hen performance when conventional DDGS with 10% fat were included between 5% and 20% of the diet. In the study reported herein, DDGS inclusion was within the range of inclusion reported in the published literature. Inclusion levels of DDGS as high as 32% had no detrimental effects on hen performance (Loar et al, 2010).

Feeding a low-oil DDGS source (5.62% fat) did not reduce hen performance when included in diets at levels as high as 20% (Noll and Purdum, 2013), which is in agreement with the results observed in the study reported herein.

Egg yolk coloration data is presented in Table 7. Luminosity was not significantly influenced by the level of DDGS inclusion or the source ($P > 0.05$). In a previous

study, higher inclusion of DDGS was reflected in lower egg yolk luminosity (Loar et al., 2010). Redness (a^*) increased significantly with higher inclusion of DDGS from both sources, which is in agreement with previous research where a positive linear relationship was found between egg yolk redness and DDGS inclusion (Robertson et al., 2005).

Egg yolk color score and yellowness (b^*) increased linearly with higher DDGS inclusion from both sources ($P < 0.001$). This effect is attributed to the greater xanthophyll contribution (lutein and zeaxanthin) from DDGS with respect to the control diet. This effect has been documented in previous research studies (Cheon et al. 2008; Masa`deh et al. 2011; Cortés et al. 2012; Sun et al. 2013) using conventional DDGS sources. The results from the current study indicate that the fat extraction in DDGS did not affect the pigmenting capacity of this ingredient for the egg yolk.

By increasing the inclusion of DDGS in the experimental diets, it was possible to augment the total xanthophyll contribution by 1.40-1.54 ppm xanthophylls from source A, and 2.90-3.08 ppm from source B, respectively. The control diet was formulated to contain 8 ppm of total xanthophylls.

Experiment 2. Growth performance data is presented in Table 8. Inclusion of low-fat DDGS at 0%, 6%, or 12% had no detrimental effect on growth performance. There was no significant difference between DDGS sources either ($P > 0.05$). Similar results have been reported elsewhere (Guney et al, 2013) when feeding low-oil DDGS to chickens for 18 d. Feeding levels as high as 15% of conventional DDGS (10% fat) did not affect growth performance significantly (Cortés et al. 2012;

Lumpkins et al. 2004; Shim et al. 2011). Levels higher than 15%, however, significantly reduced growth performance rate.

This reduction in growth performance was attributed to an amino acid imbalance created by reducing soybean meal inclusion, which has a better amino acid profile.

Carcass yield results and abdominal fat weight data are presented in Table 9. No significant effect was detected of either DDGS inclusion or source. Similar results were reported by Lu and Chen (2005) who found no significant difference in carcass yield of chickens fed 10% or 20% inclusion of conventional DDGS in corn-soybean meal diets. Loar et al (2012), however, reported reduced carcass yield when DDGS inclusion was higher than 14% only in the finisher phase.

Inclusion of low-oil DDGS did not affect the abdominal fat weight. Guney et al. (2013), on the other hand, reported a reduction in abdominal fat weight when low-fat DDGS were fed at 10% or 20% inclusion. There was no significant effect of sex on carcass yield or abdominal fat weight ($P>0.05$). In contrast, Shim et al. (2011) reported that female broilers accumulated more abdominal fat than males.

Data for skin pigmentation in live birds and hot carcass as well as abdominal fat pigmentation are presented in Table 10. Consumption of 272.4 and 278.7 ppm of xanthophylls from 6% or 12% DDGS from source B produced greater skin pigmentation than consumption of DDGS from source A (260.3 and 269.8 ppm, respectively). Birds from the control group had a calculated xanthophyll consumption of 260.2 ppm. No significant difference was detected in skin pigmentation between the two levels of DDGS inclusion.

Skin pigmentation in hot carcasses was not different ($P>0.05$) between the two DDGS sources. However, inclusion of DDGS was reflected on higher skin pigmentation than that observed in birds from the control group, regardless of the DDGS source. Similar results were documented by Min et al. (2012) where DDGS inclusion levels as high as 20% significantly increased skin pigmentation. However, they did not observe any effect with 6% inclusion of DDGS. In contrast with these results, inclusion of DDGS at 6, 8, 12, 18, or 24% was not reflected on a significant effect in skin pigmentation according to other research reports (Schilling et al. 2010; Corzo et al. 2009).

Pigmentation of the abdominal fat was higher in the birds that consumed diets with 12% DDGS for both sources. Abdominal fat pigmentation, however, was significantly higher for source B. Increasing levels of inclusion of DDGS have been reported to increase yellowness values (b^*) in abdominal fat (Kimura, 2007).

Skin pigmentation in live birds was significantly higher for female birds ($P<0.05$), which can be explained by their higher subcutaneous fat deposition. Nevertheless, there was no effect of sex in hot carcass or abdominal fat pigmentation ($P<0.05$).

The results of the study reported herein indicated that production performance in Bovans White laying hens and Ross 308 broilers was not affected when fed 6% or 12% inclusion of low-oil DDGS in sorghum-soybean meal-based diets. Egg yolk pigmentation increased by 17%. Carcass yield and abdominal fat content was not significantly affected in broilers. Moreover, feeding 6% or 12% inclusion of low-oil DDGS from two sources significantly increased skin pigmentation in live birds, hot and cold carcass, and also yellowness of the abdominal fat. The findings regarding

the improvement on egg yolk and broiler skin pigmentation should be an aid for poultry nutritionists to consider the xanthophyll content of low-oil DDGS when formulating diets for these poultry species.

Table 1: Nutrient composition of two low-oil DDGS sources.

Nutrient	¹DDGS A	²DDGS B
Dry matter	95.45	95.05
Moisture	4.55	4.95
Crude protein	28.05	27.02
Ether extract	6.54	5.39
Ash	5.40	5.26
Crude fiber	8.05	8.43
Nitrogen-free extract	47.41	48.96
Total xanthophylls (mg/kg)	24.2	25.6
Lutein (mg/kg)	5.9	6.0
Zeaxanthin (mg/kg)	8.1	10.3

Table 2: Composition of the experimental diets for Bovans-White hens from 69 to 77 weeks (Exp. 1).

Ingredient	Control	6 % DDGS A	12 % DDGS A	6% DDGS B	12% DDGS B
Sorghum	697.436	665.843	634.216	664.440	630.857
Soybean meal	178.175	150.124	120.976	149.039	119.935
Calcium carbonate	90.201	90.923	91.646	91.109	92.017
Monodicalcium phosphate	16.063	14.659	13.268	14.513	12.963
Soy oil	8.371	9.166	10.017	11.064	13.812
Salt	3.762	3.818	3.875	3.820	3.878
DL-Methionine	1.475	1.384	1.308	1.396	1.318
Vitamins*	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
L-Lysine HCl	0.652	0.716	1.329	1.254	-----
Yellow pigment**	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615
Minerals*	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
Bacitracin10%	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
Antioxidant	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150
Choline chloride 60%	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
DDGS	-----	60.00	120.00	60.00	120.00
Total	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0

Nutrient	Calculated analysis				
Crude protein (%)	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
ME (Kcal/Kg)	2800	2800	2800	2800	2800
Calcium (%)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Available phosphorus (%)	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
Digestible lysine (%)	0.670	0.670	0.670	0.670	0.670
Dig Met-Cys (%)	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580
Sodium (%)	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180
Xanthophylls (mg/Kg)	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000

*Provides per kg: Vitamin A, 3 000 000 UI; Vitamin D3, 750 000 UI; Vitamin E, 6 000 UI; Vitamin K3, 1.0 g; Riboflavin, 4 g; B12, 0.060 g; Pyridoxin, 3.0 g; Calcium pantothenate, 13.0 g; Niacin, 25 g; Biotin, 0.063 g; Choline chloride, 250 g.; selenium, 0.2 g; cobalt, 0.1 g; iodine, 0.3 g; copper, 10 g; zinc, 50 g; iron, 100 g; manganese, 100 g; carrier to 1000 g.

** 8 ppm of yellow pigment added.

Table 3: Composition of the starter diets (0-10 d) for broiler chickens, Experiment 2.

Ingredient	Diet control	6% DDGS A	12% DDGS A	6% DDGS B	12% DDGS B
Sorghum	557.34	526.29	495.25	523.84	490.35
Soybean meal	365.76	336.39	307.03	336.62	307.49
DDGS	0.00	60.00	120.00	60.00	120.00
Soy oil	31.29	31.73	32.24	33.97	36.70
Monocalcium phosphate	20.10	18.71	17.31	18.55	17.00
Calcium carbonate	13.45	14.17	14.89	14.35	15.26
Salt	3.79	3.84	3.90	3.84	3.90
L-Lysine HCl	2.09	2.70	3.32	2.69	3.29
DL-Methionine 99%	3.24	3.16	3.09	3.16	3.09
Choline chloride 60%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Vitamins*	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Minerals*	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Bacitracin	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Antioxidant	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Total	1000	1000	1000	1000	1000
Nutrient	Calculated analysis				
ME (Kcal/Kg)	3025	3025	3025	3025	3025
Crude protein (%)	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
Dig Met+ Cist (%)	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
Digestible lysine (%)	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
Calcium	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Available phosphorus	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

**Provided per kg. Vitamin A, 6 000 000 UI; Vitamin D3, 1,500 000 UI; Vitamin E, 12 000 UI; Vitamin K3, 2.0 g; Riboflavin, 8 g; B12, 0.120 g; Pyridoxin, 6.0 g; Calcium pantothenate, 26.0 g; Niacin, 50 g; Biotin, 0.126 g; Choline chloride, 500 g; Selenium, 0.2 g; cobalt, 0.1 g; iodine, 0.3 g; copper, 10 g; zinc, 50 g; iron, 100 g; manganese, 100 g; carrier to 2000 g.

Table 4: Composition of the grower diets (11-21 d) for broiler chickens, Experiment 2.

Ingredient	Control	6% DDGS A	12% DDGS A	6% DDGS B	12% DDGS B
Sorghum	597.49	566.45	535.41	593.90	530.50
Soybean meal	317.97	288.60	259.24	288.83	259.69
DDGS	0.00	60.00	120.00	60.00	120.00
Soy oil	44.74	42.23	45.70	47.44	50.13
Monocalcium phosphate	17.69	16.30	14.91	16.15	15.59
Calcium carbonate	11.14	11.87	12.59	12.05	12.96
Salt	3.81	3.87	3.93	3.87	3.93
L-Lysine HCl	1.49	2.11	2.73	2.09	2.69
DL-Methionine 99%	2.69	2.62	2.54	2.62	2.54
Choline chloride 60%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Vitamins*	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Minerals*	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Bacitracin	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Antioxidant	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Total	1000	1000	1000	1000	1000
Nutrient	Calculated analysis				
ME (Kcal/Kg)	3150	3150	3150	3150	3150
Crude protein (%)	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
Dig Met+ Cist (%)	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
Digestible lysine (%)	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Calcium	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Available phosphorus	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45

*Provided per kg. Vitamin A, 6 000 000 UI; Vitamin D3, 1,500 000 UI; Vitamin E, 12 000 UI; Vitamin K3, 2.0 g; Riboflavin, 8 g; B12, 0.120 g; Pyridoxin, 6.0 g; Calcium pantothenate, 26.0 g; Niacin, 50 g; Biotin, 0.126 g; Choline chloride, 500 g; Selenium, 0.2 g; cobalt, 0.1 g; iodine, 0.3 g; copper, 10 g; zinc, 50 g; iron, 100 g; manganese, 100 g; carrier to 2000 g.

Table 5: Composition of the finisher diets (22-42 d) for broiler chickens.

Ingredient	Control	6% DDGS A	12% DDGS A	6% DDGS B	12% DDGS B
Sorghum	639.2	608.161	577.119	605.7	572.2
Soybean meal	270.0	240.689	211.326	240.9	211.8
DDGS	0.00	60	120	60	120
Soy oil	49.2	49.695	50.175	51.9	54.6
Monocalcium phosphate	16.4	15.006	13.612	14.8	13.3
Calcium carbonate	10.7	11.515	12.239	11.7	12.6
Yellow pigment*	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Salt	5.0	3.372	3.429	5.0	5.0
L-Lysine HCl	3.3	1.644	2.262	3.4	3.4
DL-Methionine 99%	1	2.432	2.336	1.6	2.2
Choline chloride 60%	2.5	1	1	2.4	2.3
Vitamins**	1	1	1	1	1
Minerals**	1	0.5	0.5	1	1
Bacitracin	0.5	0.3	0.3	0.5	0.5
Antioxidant	0.3	0.15	0.15	0.3	0.3
Total	1000	1000	1000	1000	1000
Calculated analysis					
ME (Kcal/Kg)	3200	3200	3200	3200	3200
Crude protein (%)	19	19	19	19	19
Dig Met+ Cist (%)	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
Digestible lysine (%)	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
Calcium	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Available phosphorus	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42

* 70 ppm of yellow pigment (*Tagetes erecta*).

**Provided per kg. Vitamin A, 6 000 000 UI; Vitamin D3, 1,500 000 UI; Vitamin E, 12 000 UI; Vitamin K3, 2.0 g; Riboflavin, 8 g; B12, 0.120 g; Pyridoxin, 6.0 g; Calcium pantothenate, 26.0 g; Niacin, 50 g; Biotin, 0.126 g; Choline chloride, 500 g; Selenium, 0.2 g; cobalt, 0.1 g; iodine, 0.3 g; copper, 10 g; zinc, 50 g; iron, 100 g; manganese, 100 g; carrier to 2000 g.

Table 6: Egg production (%), egg weight (g/egg), feed consumption (g/bird/d), feed conversion (kg:kg), and egg mass (g/bird) of hens fed 0%, 6%, and 12% inclusion of low-oil DDGS from 2 sources from 69 to 77 weeks of age (Experiment 1).

Treatment	Egg production (%)	Egg weight (g)	Feed consumption (g)	Feed conversion (kg:kg)	Egg mass (g)
0% DDGS	87 ±1.25	64.6 ±0.54	108 ±1.07	1.93 ±0.02	56 ±1.03
6% DDGS A	87 ±1.83	64.7 ±0.23	109 ±0.77	1.94 ±0.03	56 ±1.24
12% DDGS A	88 ±1.03	64.4 ±0.60	107 ±1.05	1.91 ±0.02	56 ±0.36
6% DDGS B	88 ±1.09	65.0 ±0.31	109 ±0.70	1.92 ±0.02	57 ±0.66
12% DDGS B	86 ±0.89	64.6 ±0.28	108 ±1.06	1.96 ±0.03	56 ±0.71
Probability	0.846	0.884	0.609	0.677	0.778

Table 7: Luminosity (L*), redness (a*), yellowness (b*), and color score (DSM egg yolk color fan) in egg yolks of hens fed 0%, 6%, and 12% inclusion of low-oil DDGS from 2 sources from 69 to 77 weeks of age (Experiment 1)

Parameter	0% DDGS	6% DDGS A	12% DDGS A	6% DDGS B	12% DDGS B	Probability
L*	57.83 ^a ±5.4	65.01 ^a ±0.9	64.63 ^a ±0.9	61.21±1.9 ^a	64.66 ^a ±0.7	0.260
a*	-7.30 ^b ±0.09	-6.76 ^{ab} ±0.2	-6.11 ^a ±0.14	-6.69±0.3 ^{ab}	-6.17 ^a ±0.1	0.001
b*	36.47 ^b ±2.57	40.15 ^{ab} ±1.0	42.68±1.0 ^a	39.60±0.7 ^{ab}	42.93 ^a ±1.1	0.030
Color score	3.33 ^a ±0.21	4.08 ^{ab} ±0.1	4.16 ^b ±0.16	4.00 ^{ab} ±0.25	4.66 ^b ±0.21	0.002

Means with different superscript within columns (^{a-c}) differ significantly (P< 0.05).

Table 8: Growth performance of broiler chickens fed diets with 0%, 6%, and 12% inclusion of two sources of low-oil DDGS from 0 to 42 d of age (Experiment 2)

Treatment	Final weight (g)	Weight gain (g)	Feed consumption (g)	Feed conversion (Kg:kg)
0% DDGS	2758 ±32	2717 ±32	4847 ±36	1.78 ±0.03
6% DDGS A	2692 ±32	2651 ±49	4826 ±63	1.82 ±0.04
12% DDGS A	2627 ±49	2585 ±80	4725 ±130	1.83 ±0.09
6% DDGS B	2699 ±61	2658 ±61	4861 ±154	1.83 ±0.05
12% DDGS B	2636 ±72	2595 ±72	4929 ±75	1.90 ±0.06
Probability	0.495	0.490	0.691	0.709

Table 9. Carcass yield and abdominal fat weight of broiler chickens at 42 d of age after receiving diets with 0%, 6%, and 12% inclusion of two sources of low-oil DDGS from 0 to 42 d of age (Experiment 2)

	Male	Female	Average
Treatment	Carcass yield (%)		
0% DDGS	71.5	73.5	72.5±0.7
6% DDGS A	70.6	71.0	70.8 ±0.3
12% DDGS A	70.5	71.8	71.1 ±0.6
6% DDGS B	71.7	70.7	71.2±0.5
12% DDGS B	70.9	71.8	71.3±0.2
Average	71.1±0.3	71.8±0.3	
	Abdominal fat weight (g)		
0% DDGS	56.7	46.7	51.7±3.3
6% DDGS A	41.0	51.3	46.2±2.9
12% DDGS A	55.3	59.7	57.5±1.9
6% DDGS B	54.3	61.2	57.7±4.0
12% DDGS A	49.7	56.0	52.8±4.3
Average	51.4±2.3	55.0±2.0	

Means with different superscript within rows (^{a-c}) or columns (^{z-y}) differ significantly (P< 0.05).

Table 10. Skin yellowness (b*) in broiler chickens at 42 d of age after receiving diets with 0%, 6%, and 12% inclusion of two sources of low-oil DDGS from 0 to 42 d of age (Experiment 2)

	Male	Female	Average
Live bird			
Treatment			
0% DDGS	11.0	13.2	12.0 ^c ±0.3
6% DDGS A	12.1	13.0	12.6 ^{bc} ±0.5
12% DDGS A	12.5	15.1	13.9 ^{ab} ±0.5
6% DDGS B	13.5	14.6	14.1 ^{ab} ±0.4
12% DDGS B	14.3	15.1	14.7 ^a ±0.5
Average	12.5±0.3 ^z	14.2±0.3 ^y	
Hot carcass			
0% DDGS	27.8	27.5	27.7 ^b ±0.8
6% DDGS A	28.8	27.6	28.2 ^{ab} ±0.8
12% DDGS A	30.1	30.2	30.2 ^{ab} ±1.1
6% DDGS B	31.2	30.0	30.6 ^{ab} ±0.7
12% DDGS B	32.1	30.9	32.0 ^a ±1.2
Average	30.2±0.8	29.2±0.6	
Cold carcass			
0% DDGS	36.4	35.5	35.9 ^a ±0.7
6% DDGS A	35.7	37.5	36.6 ^a ±1.2
12% DDGS A	40.0	38.5	39.3 ^a ±1.0
6% DDGS B	40.9	37.5	39.2 ^a ±1.4
12% DDGS B	39.3	39.9	39.6 ^a ±0.8
Average	38.5±0.6	37.8±0.8	
Abdominal fat			
0% DDGS	20.2	21.6	20.9 ^c ±0.6
6% DDGS A	21.3	21.6	21.5 ^{bc} ±0.8
12% DDGS A	24.5	24.4	24.5 ^{ab} ±0.7
6% DDGS B	22.6	25.0	23.8 ^{abc} ±0.9
12% DDGS A	27.4	23.9	25.7 ^a ±1.0
Average	23.2±0.7	23.3±0.5	

Means with different superscript within rows (^{a-c}) or columns (^{z-y}) differ significantly (P< 0.05).

References

1. AOAC International. 2006. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th ed. AOAC Int., Gaithersburg, MD.
2. Aviagen, Ross 308, 2012. Broiler Performance Objectives, Huntsville, Alabama, USA.
3. Breithaupt DE, Wirt U, Bamedi A. Differentiation between lutein monoester regioisomers and detection of lutein diester from marigold flowers (*Tagetes erecta* L.) and several fruits by liquid chromatography-mass spectrometry. *Journal Agriculture Food Chemistry* 2002;50 (1):66-70.
4. Cheon YJ, Lee HL, Shin MH, Jang A, Lee SK, Lee JH, Lee BD, Son CK. Effects of Corn Distiller's Dried Grains with Solubles on Production and Egg Quality in Laying Hens. *Asian-Australian Journal Animal Science* 2008;21(9):1318 –1323.
5. Cortés CA, Esparza CC, Sanabria EG, Miguel JJ, Ornelas RM, Avila GE. El uso de granos secos de destilería con solubles (DDGS) en dietas sorgo-soya para pollos de engorda y gallinas de postura. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 2012;3(3): 331-341.
6. Corzo A, Schilling MW, Loar RE, Jackson V, Kin S, Radhakrishnan V. The effects of feeding distillers dried grains with solubles on broiler meat quality. *Poultry Science* 2009;88(11):432–439.
7. Guney AC, Shim MY, Batal AB, Dale NM, Pesti GM. Effect of feeding low-oil distillers dried grains with solubles on the performance of broilers. *Poultry Science* 2013; 92 (8):2070-2076.

8. Kimura N. Report of the results of a DDGS feeding trial in broilers (U.S. Grains Council). Laboratory of Animal Nutrition, Nippon Veterinary and Life Science University, 2007.
9. Kshun L, Kurt A. 2012. Distillers grains, production, properties, and utilization. 1st ed. AK Peters/CRC Press. Florida, USA.
10. Loar RE, Donaldson JR, Corzo A. Effects of feeding distillers dried grains with solubles to broilers from 0 to 42 days posthatch on broiler performance, carcass characteristics, and selected intestinal characteristics. *Journal Applied Poultry Research* 2012;21 (1):48–62.
11. Loar RE, Schilling MW, Daniel MC, Rogers SF, Karges K, Corzo A. Effect of dietary inclusion level of distillers dried grains with solubles on layer performance, egg characteristics, and consumer acceptability. *Journal Applied Poultry Research* 2010;19 (1):30-37.
12. Lu JL, Chen Y. Effects of feeding diets containing U.S. corn distiller's dried grains with solubles on growth performance and carcass quality of domestic colored broiler chickens in Taiwan. Dept. of Animal Science, National Chia-Yi University, and AGAPE Nutrition Consultant, Taiwan, 2005.
13. Lumpkins B, Batal A, Dale N. Use of Distillers Dried Grains Plus Solubles in Laying Hen Diets. *Journal Applied Poultry Research* 2005;14 (1):25–31.
14. Lumpkins BS, Batal AB, Dale NM. Evaluation of distillers dried grains with solubles as a feed ingredient for broilers. *Poultry Science* 2004;83 (11): 1891-1896.
15. Masa'deh M K, Purdum SE, Hanford KJ. Dried distillers grains with solubles in laying hen diets. *Poultry Science* 2011;90 (9):1960–1966.

16. Min YN, Li L, Waldroup PW, Niu ZY, Wang ZP, Gao YP, Liu FZ. Effects of dietary distillers dried grains with solubles concentrations on meat quality and antioxidant status and capacity of broiler chickens. *Journal Applied Poultry Research* 2012.;21(3):603–611.
17. Moreau R, Hicks BK, Johnston BD, Laun NP. The composition of crude corn oil recovered after fermentation via centrifugation from a commercial dry grind ethanol process. *Journal American Oil Chemical Society* 2010;87 (8):895–902.
18. Noll S, Purdum SE. Low oil DDGS value in Turkey and Laying Hen Rations. *Midwest Poultry Federation Convention Saint Paul River Centre. Minnesota, EU, 2013.*
19. Pekel AY, Cakır EO, Polat M, Cakır K, İnan G, Kocabağlı N. Correlations between chemical assays and near-infrared reflectance spectroscopy for nutrient components and correlations between nutrients and color scores of distillers dried grains with soluble. *Journal Applied Poultry Research* 2013;22 (4):814–824.
20. Roberson KD, Kalbfleisch JL, Pan W, Charbeneau RA. Effect of corn distillers dried grains with solubles at various levels on performance of laying hens and egg yolk color. *International Journal Poultry Science* 2005;4(2):44-51.
21. Schilling MW, Battula V, Loar RE, Jackson V, Kin S, Corzo A. Dietary inclusion level effects of distillers dried grains with solubles on broiler meat quality. *Poultry Science* 2010;89 (4):752–76.
22. Shim MY, Pesti GM, Bakalli RI, Tillman PB, Payne RL. Evaluation of corn distillers dried grains with solubles as an alternative ingredient for broiler. *Poultry Science* 2011; 90 (2):369–376.

23. SPSS Inc. SPSS for Windows (computer program) version 17.0 spss inc 2012.
24. Sun H, Lee EJ, Samaraweera H, Persia M, Dong UA. Effects of increasing concentration of corn distillers dried grain with soluble on chemical composition and nutrient content of egg. *Poultry Science* 2013;92 (1): 233-242.
25. Winkler MJ, Vaughn S.F. Antioxidant Activity of Phytochemicals from Distillers Dried Grain Oil. *Journal American Oil Chemical Society* 2009;86 (11):1073–1082.
26. Wu-Haan W, Powers W, Angel R, Applegate TJ. The use of distillers dried grains plus solubles as a feed ingredient on air emissions and performance from laying hens. *Poultry Science* 2010;89 (7):1355–1359.

VIII. Artículo II. En revision para su publicación en la Revista Brazilian Journal of Poultry Science.

Phosphorus Bioavailability, Amino Acid Digestibility, and Metabolizable Energy of Low-Oil Distillers Dried Grains With Solubles in Broiler Chickens.

Arturo Cortes-Cuevas^{*2}, Sarahí Ramírez-Estrada*, José Arce-Menocal⁺, Ernesto Avila-González*, and Carlos López-Coello*.

* Poultry Teaching and Research Center, National Autonomous University of Mexico,
DF. Mexico

⁺ Poultry Science Department, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,
Michoacan, Mexico.

²**Corresponding author:** cortescuevasarturo@yahoo.com

Abstract

Two experiments were conducted in broiler chickens to evaluate the phosphorus (P) bioavailability, crude protein (CP) and amino acid (AA) digestibility, and apparent metabolizable energy (AME_n) in 2 sources of low-oil DDGS. In Experiment 1, 210 8-d-old Ross 308 male broiler chickens were randomly assigned to one of 7 treatments with 3 replications of 10 birds each. Treatments consisted of a sorghum-soybean meal basal diet containing 0.14% nonphytate P, supplementation with 0.05% or 0.10% P from monocalcium phosphate (MCP), or each DDGS source. The birds received the experimental diets from 8 to 21 d of age. At 21 d of age, P bioavailability was determined using the slope ratio assay method using tibia ash as the response variable. In Experiment 2, 200 8-d-old Ross 308 male broiler chickens were randomly assigned

to one of 5 dietary treatments containing 4 replications of 10 birds each. Treatments consisted of a sorghum-soybean meal control diet and the inclusion of 5 or 10% of each DDGS source. AA digestibility and AME_n were determined in this experiment. Results from Experiment 1 indicated a significant increase in weight gain and feed consumption as the dietary P level increased. The relative P bioavailability was determined to be 72% and 86% for DDGS A and B, respectively. In Experiment 2, no significant differences were observed in growth performance of birds fed 5% or 10% inclusion of each DDGS source with respect to the birds fed the control diet ($P > 0.05$). The average apparent ileal protein digestibility coefficient was 76.5%. No differences were detected in the AA coefficients for methionine, cysteine, lysine, threonine, arginine, leucine, isoleucine, valine, phenylalanine, and histidine between the two DDGS sources ($P > 0.05$). The AME_n values on a dry matter basis for each DDGS source were 2828 and 2854 kcal/kg, respectively.

Key words: amino acids Ileal digestibility, apparent metabolizable energy, available phosphorus, chicken, low-oil DDGS.

Introduction

In 2013, 124.5 million tons of corn were used to produce ethanol, and it is estimated that 125.7 million tons of corn will be directed to ethanol production in 2014. From the corn volume used for ethanol production in 2013, 62.2 million tons of DDGS were offered in the trading market as a co-product for animal feeding (U.S Grains Council, (2014). Currently, most ethanol plants are removing the oil from distillers dried grains with solubles (DDGS) by spinning the soluble portion at the end of the fermentation process. The oil is used for biodiesel, and the remaining co-product is known as oil-extracted DDGS (Rosentrater *et al.* (2011). The resulting DDGS contain lower fat and

slightly higher protein compared to conventional DDGS. However, research to evaluate the nutritional value of the new DDGS is scarce. Kim *et al.* (2008) reported phosphorus (P) bioavailability of 60% and 56% in DDGS containing 10% and 2.9% fat, respectively. Amino acid (AA) digestibility was similar between sources of DDGS. Lumpkins and Batal (2005) determined the lysine digestibility and P bioavailability to be 68% and 80%, respectively. Martinez *et al.* (2004) reported 75% P bioavailability in conventional DDGS. Pahn *et al.* (2009) determined the lysine digestibility to be 69% in 7 samples of DDGS that ranged from 9% to 13.2% fat content.

With regards to the energy value of DDGS, most research reports published to date have evaluated the conventional DDGS sources, with very few studies assessing the energy value of low-oil DDGS. Therefore, the objective of the current study was to evaluate the P bioavailability, crude protein (CP) and AA ileal digestibility, and the apparent metabolizable energy (AME_n) of two low-oil DDGS sources in broiler chickens.

MATERIALS AND METHODS

Two experiments were conducted with broiler chickens from 8 to 21 days of age. Experiment 1 was designed to evaluate the P bioavailability of two sources of low-oil DDGS relative to monocalcium phosphate (MCP). Experiment 2 was designed to evaluate the feeding value of the two DDGS sources at increasing levels of inclusion, and to determine AA digestibility and AME_n for each source.

Laboratory analysis

Two sources of DDGS were selected for this project based on their low-oil content (6.53% and 5.35%). Results of the chemical analyses are presented in Table 1. Crude protein (CP) and total AA were determined according to the AOAC methodology AOAC, (2006). Tryptophan analysis was conducted using alkaline hydrolysis with

sodium hydroxide followed by high performance liquid chromatography (HPLC). Each sample was previously subjected to oxidation with performic acid to analyze methionine and cysteine. The remaining AA were analyzed by acid hydrolysis (110 °C- HCl, 6N) for 24 h, and further subjected to ionic exchange chromatography. Analyses were conducted in duplicates.

Bird husbandry

In both experiments, animal handling, housing, and euthanasia were approved by the institutional committee for experimental animal care from the College of Veterinary Medicine at the National Autonomous University of Mexico (UNAM). The birds were obtained from a commercial hatchery at 1 d of age, and received Marek's vaccination at day 1 of age, and a live and inactivated Newcastle disease vaccine at 10 d of age via eye drop and subcutaneous injection, respectively. The birds were housed in battery cages with wire floors and individual drinkers and feeders. From 1 to 7 d of age, all birds received a common sorghum-soybean meal-based diet, which was formulated to provide all nutrients according to the primary breeder recommendations (Ross 308).

Experiment 1.

Two hundred and ten 8-d-old Ross 308 male broiler chickens were individually weighed and sorted at the beginning of the study such that each replication had similar weight and weight distribution. The birds were assigned to 7 dietary treatments containing 3 replications of 10 birds each. Treatments consisted of a basal diet formulated to be deficient in nonphytate P (0.14%). Treatments 2 and 3 consisted of the basal diet supplemented with 0.05% and 0.10% P from MCP. Treatments 4 and 5 were supplemented with 0.05% and 0.10% P from one of the sources of DDGS (source A), and treatments 6 and 7 were supplemented with 0.05% and 0.10% P from the second

source of DDGS (source B). Inclusion of the DDGS sources was dictated by their analyzed total P content. Composition of the basal diet is presented in Table 2. The birds received the experimental diets from 8 to 21 d of age. The feed was provided *ad libitum* in a mash form.

Feed consumption, weight gain, and feed efficiency were measured from 8 to 21 d of age. At 21 d of age, 6 birds per pen were euthanized by CO₂ asphyxiation, and their left tibias collected, fat-extracted, dried, and processed for determination of tibia bone ash. Growth performance data was analyzed through ANOVA for a completely randomized design, and when a significant difference was detected ($P < 0.05$), treatment means were compared using Tukey's multiple comparison procedure. P consumption and tibia bone ash content were fitted into a linear regression model. Bioavailability of P was determined with the slope ratio methodology (SPSS Inc., 2012), using the tibia bone ash data as the dependent variable (Y); the P consumption as the independent variable (X), the MCP consumption as the standard curve ($\beta_1 X_1$); and the P consumption from each DDGS source as the test response ($\beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$).

Experiment 2.

Two hundred 8-d-old male Ross 308 broiler chickens were randomly assigned to 5 dietary treatments containing 4 replications of 10 birds each. Treatments consisted of a control sorghum-soybean meal diet, and 4 diets containing either 5% or 10% inclusion of each DDGS source. Composition of the experimental diets is presented in Table 3. Analyzed crude protein and total amino acid values of each source of DDGS were used for diet formulation. For measurement of protein and AA digestibility, the diets included titanium dioxide as an indigestible marker. The birds received the experimental

diets from 8 to 21 d of age. The feed was provided *ad libitum* in a mash form. Body weight gain, feed consumption, and feed efficiency were determined from 8 to 21 d of age. Growth performance data was analyzed through ANOVA, and if significant differences were detected ($P < 0.05$), treatment means were compared using Tukey's multiple comparison procedure (SPSS Inc. (2012)).

At 21 d of age, 7 birds per pen were euthanized by CO₂ asphyxiation and used for ileal digesta collection. The birds were dissected to extract an intestinal segment between Meckel's diverticulum and the ileocecal junction. The ileal contents were emptied and stored in a plastic bag, and immediately frozen for further analysis. The digesta samples were freeze-dried and analyzed for CP and AA at the Evonik Industries laboratory by ionic exchange chromatography with post-column ninhydrin derivatization (Llames and Fontaine, 1994).

The apparent ileal digestibility coefficients for CP and AA were calculated using the formula reported by Namkung and Leeson (1999). To determine AMEn, excreta samples were collected during the last 3 days of the experiment and dried in an oven at 65°C for 72 h. Gross energy was determined in both feed and excreta samples using a calorimetric bomb (Parr Instruments, Moline, IA). Nitrogen was analyzed in both feed and excreta using the AOAC methodology (AOAC, 2006) to calculate the nitrogen correction according to the equation described by Leeson and Summers (2001).

All statistical analyses were conducted using the SPSS statistical package for Windows version 17 (SPSS Inc. (2012)).

Results

Experiment 1

Growth performance results, P consumption, and tibia bone ash percent are presented in Table 4. Body weight gain and feed consumption increased significantly as dietary P increased ($P < 0.05$). The highest weight gain and feed consumption were observed in the birds fed the diets with 0.10% P. Tibia bone ash and P consumption increased significantly ($P < 0.01$) as dietary P increased from MCP or DDGS. The results of growth performance in this experiment are in agreement with previous studies with corn-soybean meal based diets, in which increasing P from MCP or DDGS was reflected as better growth performance (Kim *et al.* (2008); Lumpkins and Batal (2005); Martinez *et al.* (2004); Martinez *et al.* (2006).

Tibia bone ash response to P consumption can be explained by the following equation: $Y = 27.614 + 0.007x_1 + 0.005x_2 + 0.006x_3$; where X_1 is the P consumption from MCP (T1, T2, and T3); and X_2 and X_3 correspond to P consumption from each DDGS source. Assuming 100% P bioavailability in MCP, the relative P bioavailability for each DDGS source was calculated to be 72% and 86%, which is illustrated in Figure 1.

In present study, tibia bone ash and P consumption increased as dietary P raised from MCP or DDGS, other authors Martinez *et al.* (2004), observed 27%, 31.9%, and 37.5% bone ash with increasing dicalcium phosphate levels, and 27%, 31.5%, and 36.3% bone ash with increasing P from DDGS to supply 0%, 0.05% or 0.10% P. Similar results have been reported elsewhere (Kim *et al.* (2008); Lumpkins and Batal (2005); Martinez *et al.* (2006). However, these studies have evaluated conventional DDGS with corn-soybean meal based diets.

The results of P bioavailability for each DDGS source are in agreement with previous studies (Lumpkins and Batal (2005); Martinez *et al.* (2006) in which P bioavailability ranged between 75% and 80%. However, Wamsley *et al.* (2013) reported 66% P bioavailability in a low-oil DDGS sample with 2827 kcal/kg of metabolizable energy (ME). Moreover, the results observed in the study reported herein are in agreement with those from Martinez *et al.* (2004), who found that the P bioavailability of DDGS was higher than the value published by NRC (1994) based on total and non-phytate P.

Experiment 2

Growth performance results are presented in Table 5. No significant difference was found between treatments ($P < 0.05$). Thus, low-oil DDGS had no detrimental effect on growth performance. No differences were found in weight gain, feed consumption, or feed conversion during the grower or finisher periods. The results of growth performance in broilers in this study, are in accordance with other authors, Loar *et al.* (2012) did not find a significant difference in weight gain of chickens from 0 to 14 d of age when feeding either 0% or 8% inclusion of conventional DDGS. Feed conversion was, however, significantly worse in the birds fed 8% DDGS. Nevertheless, the birds fed diets with 8% DDGS from 0 to 28% had significantly lower performance. Other study as Shim *et al.* (2001) fed 0, 8, 16, and 24% inclusion of conventional DDGS in the starter, grower, and finisher periods, and found greater weight gain in the birds fed diets with 16% and 24% inclusion of DDGS during the starter period. Lumpkins *et al.* (2004) fed 0%, 6%, 12%, or 18% inclusion of conventional DDGS, and only at the highest inclusion of DDGS there was a significant reduction in growth performance from 0 to 17 d and 0 to 42 d of age. Guney *et al.* (2013) fed diets containing 10% or 20% inclusion of low-oil DDGS (7.52% and 6.74% oil), and found no negative effects

on growth performance. In their study, the researchers fed corn-soybean meal diets, whereas in the study reported herein a sorghum-soybean meal diet was fed.

Results for apparent ileal CP and AA digestibility are presented in Table 6. No significant difference was detected in the digestibility coefficients between the two DDGS sources ($P > 0.05$). The average CP digestibility was calculated to be 76.5%.

The results of apparent ileal CP and AA digestibility are in partial agreement with some published AA digestibility data determined in conventional DDGS. Batal and Dale (2006) reported lysine and methionine digestibility coefficients of 69.6% and 86.8%, respectively. In the study reported herein, lysine and methionine digestibility coefficients were 65% and 86.8%, respectively. In conventional DDGS, lysine and methionine digestibility has been reported to be 59.8% and 82.1% (Fastinger *et al.* (2006), respectively. Pahn *et al.* (2009) found 61.4% for lysine digestibility, and 86.9% for methionine digestibility. Kim *et al.* (2012) reported 54.8% and 77.5% standardized digestibility for lysine and methionine, respectively, in 3 samples of conventional DDGS. Kim *et al.* (2010) determined that lysine and methionine digestibility coefficients were 76.2% and 84.3%, respectively, in conventional DDGS sources. Martinez *et al.* (2007) reported digestibility coefficients for lysine and methionine to be 77% and 88%, respectively. Wamsley *et al.* (2013) determined the lysine digestibility of a low-oil DDGS sample in Cobb 500 chickens. They reported a coefficient of 65%, which is in close agreement with the value obtained in the current study. To date, very few studies have evaluated the AA digestibility in low-oil DDGS.

The AME_n values were calculated to be 2828 and 2854 kcal/kg, respectively. The average of both sources was 2841 kcal/kg. The AME_n values obtained in this

experiment are in agreement with the value reported by Meloche *et al.* (2013) (2487 kcal/kg) in a DDGS source with 6.31% oil. Batal and Dale (2006) observed a range in ME values between 2490 and 3190 kcal/kg in 17 samples of conventional DDGS. However, Kim *et al.* (2010) found an average ME of 3299 kcal/kg. Rochell *et al.* (2011) observed a range of ME values from 2593 to 3098 kcal/kg, with an average of 2718 kcal/kg in 4 samples with 11.1% average oil. The same research group found an ME value of 2146 kcal/kg in DDGS with 3.15% oil. Adeola and Zhai (2012) evaluated the ileal digestible energy in corn-soybean meal diets containing 30% or 60% inclusion of conventional DDGS. The ME values reported were 2841 and 2659 kcal/kg, respectively.

According to results obtained in this study, the bioavailability of P in two low-oil DDGS sources (6.54% and 5.39% fat) was 72% and 86%, respectively. The apparent ileal AA digestibility coefficients (methionine, cysteine, lysine, threonine, arginine, leucine, isoleucine, valine, phenylalanine, and histidine) were not significantly different between the two DDGS sources evaluated. The average CP and AA digestibility was 76.5%, and the AME_n values were 2828 and 2854 kcal/kg, on a dry matter basis, for each DDGS source, respectively.

The results obtained in the current study provide further insight regarding the nutritional value of low-oil DDGS. Since it is anticipated that the commercial availability of this ingredient might increase in the short term, it will be important for nutritionists to continue to assess the nutritional value of low-oil DDGS to provide adequate nutrition at lower cost.

References

- Adeola O, Zhai H. Metabolizable energy value of dried corn distillers grains and corn distillers grains with soluble for 6-week-old broiler chickens. *Poultry Science* 2012; 91: 712-718.
- Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18th ed. AOAC Int., Gaithersburg, MD., 2006.
- Batal AB, Dale NM. True metabolizable energy and amino acid digestibility of distillers dried grains with soluble. *Journal Applied Poultry Research* 2006;15:89-93.
- Fastinger ND, Latshaw JD, Mahan DC. Amino acid availability and true metabolizable energy content of corn distillers dried grains with soluble in adult cecectomized roosters. *Poultry Science* 2006;85:1212-1216.
- Guney AC, Shim MY, Batal AB, Dale NM, Pesti GM. Effect of feeding low-oil distillers dried grains with soluble on the performance of broilers. *Poultry Science* 2013;92:2070-2076.
- Kim EJ, Martinez-Amezcuca C, Utterback PL, Parsons CM. Phosphorus bioavailability, true metabolizable energy, and amino acid digestibilities of high protein corn distillers dried grains and dehydrated corn germ. *Poultry Science* 2008;87:700-705.
- Kim EJ, Parsons CM, Srinivasan R, Singh V. Nutritional composition, nitrogen-corrected true metabolizable energy, and amino acid digestibilities of new corn

distillers dried grains with soluble produced by new fractionation processes. Poultry Science 2010;89:44-51.

Kim EJ, Utterback PL, Parsons CM. Comparison of amino acid digestibility coefficients for corn gluten meal, and corn distillers grains with soluble among 3 different bioassays. Poultry Science 2012;91:3141-3147.

Leeson S and Summers JD. Scott's Nutrition of the Chicken. 4th ed. Guelph, Ontario Canada: University Books, 2001.

Llames CR, Fontaine J. Determination of amino acids in feeds: Collaborative study. Journal of AOAC International 1994;77:1362-1402.

Loar RE, Donaldson JR, Corzo A. Effects of feeding distillers dried grains with soluble to broilers from 0 to 42 days posthatch on broiler performance, carcass characteristics, and selected intestinal characteristics. The Journal of Applied Poultry Research 2012;21:48-62.

Lumpkins BS, Batal AB. The bioavailability of lysine and phosphorus in distillers dried grains with solubles. Poultry Science 2005;84:581-586.

Lumpkins BS, Batal AB, Dale NM. Evaluation of distillers dried grains with soluble as a feed ingredient for broilers. Poultry Science 2004;83:1891-1896.

Martinez-Amezcuca C, Parsons CM, Singh V, Srinivasan R, Murthy GS. Nutritional characteristics of corn distillers dried grains with soluble as affected by the amounts of grains versus soluble and different processing techniques. Poultry Science 2007;86:2624-2630.

Martinez-Amezcuca C, Parsons CM, Baker DH. Effect of microbial phytase and citric acid on phosphorus bioavailability, apparent metabolizable energy, and amino acid digestibility in distillers dried grains with soluble in chicks. *Poultry Science* 2006;85:470-475.

Martinez-Amezcuca C, Parsons CM, Noll SL. Content and relative bioavailability of phosphorus in distillers dried grains with soluble in chicks. *Poultry Science* 2004;83:971-976.

Meloche KJ, Kerr BJ, Shurson GC, Dozier III WA. Apparent metabolizable energy and prediction equations for reduced-oil corn distillers dried grains with soluble in broiler chicks from 10 to 18 days of age. *Poultry Science* 2013;92:3176-3183.

Namkung H, Leeson S. Effect of phytase enzyme on dietary nitrogen-corrected apparent metabolizable energy and ileal digestibility of nitrogen and amino acids in broiler chicks. *Poultry Science* 1999;78:1317-1319.

National Research Council. *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC., 1994.

Pahm AA, Scherer CS, Pettigrew JE, Baker DH, Parsons CM, Stein HH. Standardized amino acid digestibility in cecectomized roosters and lysine bioavailability in chicks fed distillers dried grains with soluble. *Poultry Science* 2009;88:571-578.

Rochell SJ, Kerr BJ, Dozier III WA. Energy determination of co-product fed to broiler chicks from 15 to 24 days of age, and use of composition analysis to predict

nitrogen-corrected apparent metabolizable energy. Poultry Science 2011;90:1999-2007.

Rosentrater KA, Iilegi KM, Johnson DB. Manufacturing of fuel ethanol and distillers grains-Currents and evolving processes. 1st. ed. CRC Press, Florida, USA. 2011.

Shim MY, Pesti GM, Bakalli RI, Tillman PB, Payne RL. Evaluation of corn distillers dried grains with soluble as an alternative ingredient for broilers. Poultry Science 2011;90:369-376.

SPSS Inc. SPSS Software for Windows (computer program) version 17.0 spssinc 2012.

U.S Grains Council. Market Perspectives December 13, 2013: Ethanol comments. Accessed March 20, 2014. <http://grains.org/index.php/market-data/market-perspectives/2013-market-perspectives/4445-market-perspectives-december-13-2013>.

Wamsley KGS, Loar II RE, Karges K, Moritz JS. The use of practical diets and regression analyses to determine the utilization of lysine and phosphorus in corn distillers dried grains and soluble using Cobb 500 male broilers. The Journal of Applied Poultry Research 2013;22:279-297.

Table 1. Chemical composition of the sources of two low-oil distillers dried grains with solubles.

Analyte	DDGS A (%)	DDGS B (%)
Dry matter	95.45	95.05
Moisture	4.55	4.95
Crude protein	28.05	27.02
Ether extract	6.54	5.39
Ash	5.40	5.26
Crude fiber	8.05	8.43
Nitrogen free extract	47.41	48.96
Calcium	0.12	0.05
Total phosphorus	0.85	0.94
Phytate phosphorus	0.27	0.31
Nonphytate P	0.58	0.63
Gross energy, kcal/kg	4532	4394

Table 2. Composition of the basal diet, Experiment 1.

Ingredients	Inclusion, %
Sorghum*	38.050
Soybean meal*	38.720
Oil	8.000
Calcium carbonate	2.500
Cellulose	11.573
Salt	0.382
DL-Methionine	0.314
L-Lysine HCl	0.146
Vitamin and mineral premix**	0.200
Choline chloride 60%	0.100
Antioxidant	0.015

Nutrient	Calculated analysis
Protein	22.00
Digestible lysine	1.39
Digestible met+cyst	0.92
Calcium	1.02
Nonphytate P	0.14
ME, kcal/kg	2950

*Analyzed total phosphorus values were 0.35% and 0.70% for sorghum and soybean meal, respectively. Calculated nonphytate phosphorus values were 0.12% y 0.24%, respectively.

**Provides: Vitamin A, 6 000 000 UI; Vitamin D₃, 1,500 000 UI; Vitamin E, 12 000 UI; Vitamin K₃, 2.0 g; Riboflavin, 8 g; B₁₂, 0.120 g; Pyridoxine, 6.0 g; Calcium pantothenate, 26.0 g; Niacin, 50 g; Biotin, 0.126 g; Choline chloride, 500 g; Selenium, 0.2 g; Cobalt, 0.1 g; Iodine, 0.3 g; Copper, 10 g; Zinc, 50 g; Iron, 100 g; Manganese, 100 g; Carrier to 2000g.

Table 3. Composition of the experimental diets, Experiment 2.

Ingredient	Control	5% DDGS A	10% DDGS A	5% DDGS B	10% DDGS B
Sorghum	593.985	568.117	542.246	566.073	538.158
Soybean meal	339.214	314.745	290.276	314.934	290.654
DDGS	-----	50.000	100.000	50.000	100.00
Soybean Oil	22.797	23.197	23.598	25.041	27.285
Monocalcium phosphate	20.230	19.068	17.907	18.938	17.647
Calcium carbonate	12.256	12.859	13.463	13.013	13.770
Salt	3.788	3.834	3.881	3.836	3.884
DL-Methionine	2.546	2.481	2.416	2.480	2.415
L-Lysine HCl	2.034	2.549	3.063	2.535	3.037
Vitamin premix¹	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Mineral premix²	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
Choline chloride 60%	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Zinc Bacitracin	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
Titanium dioxide	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
BHT	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150
Total	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
Calculated analysis					
Protein %	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
ME, kcal/kg	3000	3000	3000	3000	3000
Dig. Met+cyst %	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Dig. lys %	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Calcium %	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Nonphytate P %	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

^{**}Provides: Vitamin A, 6 000 000 UI; Vitamin D₃, 1,500 000 UI; Vitamin E, 12 000 UI; Vitamin K₃, 2.0 g; Riboflavin, 8 g; B₁₂, 0.120 g; Pyridoxine, 6.0 g; Calcium pantothenate, 26.0 g; Niacin, 50 g; Biotin, 0.126 g; Choline chloride, 500 g; Selenium, 0.2 g; Cobalt, 0.1 g; Iodine, 0.3 g; Copper, 10 g; Zinc, 50 g; Iron, 100 g; Manganese, 100 g; Carrier to 2000 g.

Table 4. Weight gain (g/bird), feed consumption (g/bird), feed efficiency (g:g), phosphorus consumption (mg/bird), and tibia bone ash (%) of broiler chickens fed increasing levels of phosphorus from monocalcium phosphate or two DDGS sources from 8 to 21 d of age (Experiment 1)¹

Treatment	Phosphorus level, %	Phosphorus consumption (mg)	Weight gain (g)	Feed consumption (g)	Feed efficiency (kg:kg)	Tibia bone ash (%)
1.- Basal diet	0.140	644±40.2a	285±5.19a	460±40.6a	0.68±0.04a	30.8±0.88a
2.- +0.05% from MCP	0.190	886±27.6b	331±28.7ab	479±21.1a	0.82±0.06a	34.5±0.99abc
3.- +0.10% P from MCP	0.240	1440±35.7cd	447±10.8c	626±21.9bc	0.79±0.04a	36.6±1.05bc
4.- +0.05% P from DDGS A	0.190	1008±27.7b	343±16.5ab	534±20.7ab	0.65±0.01a	32.4±0.93ab
5.- +0.10% P from DDGS A	0.240	1337±49.7c	405±22.5bc	562±29.5abc	0.74±0.01a	36.9±1.06bc
6.- +0.05% P from DDGS B	0.190	1026±10.2b	339±4.16ab	518±7.37ab	0.67±0.01a	34.7±1.00abc
7.- +0.10% P from DDGS B	0.240	1641±27.9c	472±6.43c	657±15.8c	0.73±0.01a	38.0±1.09c

^{a-c}Means with different superscript within a column differ significantly (P<0.01).

¹ Means ± SEM

Table 5. Weight gain (g/bird), feed consumption (g/bird), and feed conversion (kg:kg) of broiler chickens fed increasing levels of inclusion of two DDGS sources from 8 to 21 d of age (Experiment 2)¹

Treatments	Weight gain (g)	Feed consumption (g)	Feed conversion (g:g)
1.- Control	369±17.4	741±10.0	2.01±0.98
2.- 5% DDGS A	333±11.2	732±10.6	2.20±0.91
3.- 10% DDGS A	336±3.25	732±23.8	2.17±0.53
4.- 5% DDGS B	337±6.58	746±7.54	2.21±0.44
5.- 10% DDGS B	339±4.64	738±5.63	2.17±0.27

¹ Means ± SEM.

Table 6. Total amino acid content (%) and digestibility coefficients (%) of two sources of low-oil distillers dried grains with solubles (DDGS) determined in broiler chickens at 21 d of age.

Amino acid, %	DDGS A		DDGS B		Average A and B
	Total %	Digestibility coefficient %	Total %	Digestibility coefficient %	Digestibility coefficient %
Methionine	0.55	85.3	0.57	84.7	85.0
Cystine	0.48	76.6	0.49	75.0	75.8
Lysine	1.00	65.4	0.98	64.6	65.0
Threonine	0.93	63.2	0.96	64.1	63.6
Arginine	1.17	77.0	1.11	77.7	77.3
Leucine	3.15	86.7	3.34	84.0	85.3
Isoleucine	1.07	77.8	1.08	77.8	77.8
Valine	1.11	74.4	1.16	77.3	75.8
Phenylalanine	1.35	81.9	1.34	81.7	81.8
Histidine	0.80	77.0	0.83	77.4	77.2
Protein	28.05	76.5	27.02	76.4	76.5
AME_n kcal/kg*		2828		2854	2841

*Dry matter basis

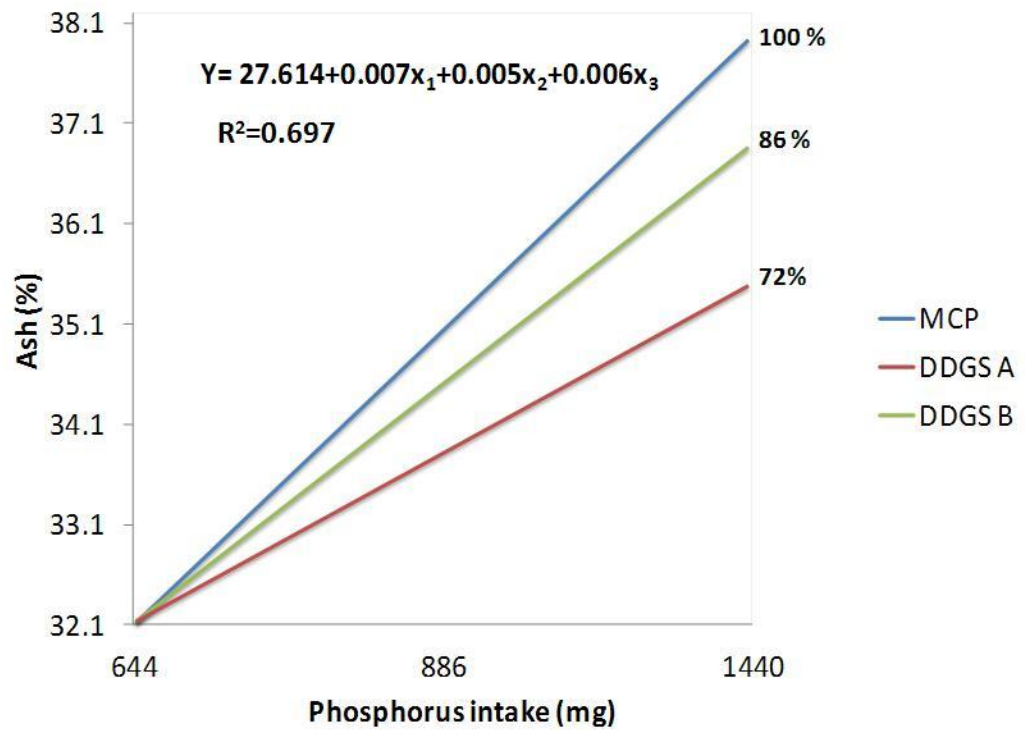


Figura 1. Tibia bone ash response (%) in broiler chickens at 7-21 days of age fed increasing phosphorus levels from monocalcium phosphate and two DDGS sources.

IX. Referencias

1. Abbott J, Opalka J and McGuire CF. Dried distillers grains with soluble: particle size effects on volume and acceptability of baked products. *J of Food Sci.* 1991;56:1323-1326.
2. Adeola O and Ileleji KE. Comparison of two diet types in the determination of metabolizable energy content of corn distillers dried grains with soluble for broiler chickens by the regression method. *Poult. Sci.* 2009;88:579-585.
3. Adeola O and Zhai H. Metabolizable energy value of dried corn distillers grains and corn distillers grains with solubles for 6-week-old broiler chickens. *Poult. Sci.* 2012;91:712-718.
4. Adeola O, Jendza JA, Southern LL, Powell S, and Owusu-Asiedu A. Contribution of exogenous dietary carbohydrases to the metabolizable energy value of corn distillers grains for broiler chickens. *Poult. Sci.* 2010;89:1947-1954.
5. Applegate TJ, Troche C, Jiang Z and Johnson T. The nutritional value of high-protein corn distillers dried grains for broiler chickens and its effect on nutrient excretion. *Poult Sci* 2009;88:354-359.
6. Barekatin MR, Choct M, Antipatis C, and Ijil PA. Use of protease and xylanase in broiler diets containing distillers dried grains with solubles. *Memorias de XXIII Annual Australian Poultry Science Symposium; 2012 Febrero 19-22; Sidney, New South Wales, Australia: The Poultry Research Foundation y The World's Poultry Science Association, 2012:1-4.*
7. Batal AB and Dale NM. Mineral composition of distillers dried grains with solubles. *J. Applied poult. Res.* 2003;12:400-403.
8. Batal AB and Dale NM. True metabolizable energy and amino acid digestibility of distillers dried grains with soluble. *J. Appl. Poult. Res.* 2006;15:89-93.

9. Belyea RL, Rausch KD, Tumbleson ME. Composition of corn and distillers dried grains with soluble from dry grind ethanol processing. *Bioresource Tech.* 2004;94:293-298.
10. Bennet GA y Richard JL. Influence of processing on *Fusarium* mycotoxins in contaminated grains. *Food Technology.* 1996;50:235-238.
11. Black JL. The testing and valuation of models. In *Modeling Growth in the Pig.* EAAP Publication No. 78, pp 23-31. Wageningen: Wageningen Press, 1995.
12. Bothast RJ, Bennet GA, Vancauwenberge JE, y Richard JL. Fate of fumonisin B₁ in naturally contaminated corn during ethanol fermentation. *Appl. And Envirom. Microbiol.* 1992;58:233-236.
13. Cantrell DF, y Winsness DJ. Method of processing ethanol byproducts and related subsystems. US. Patent No. 7601, 858B2. October 13, 2009.
14. CAST. 2003. Mycotoxins: Risk in plant, animal, and human systems. Task Force Report No. 139. Ames, Iowa: Council for Agricultural Science and technology. Ames, Iowa.
15. Cheon YJ, Lee HL, Shin MH, Jang A, Lee SK, Lee JH, Lee BD, and Son CK. Effects of corn distiller's dried grains with soluble on production and egg quality in laying hens. *Asian-australas J Anim Sci* 2008;21:1318-1323.
16. Cortes CA, Ramírez ESD, Arce MJ, Avila GE, López CC. El uso de granos secos de destilería con solubles (GSDS) bajos en aceite en dietas para pollos y gallinas sobre la eficiencia pigmentante. *Memorias de Reuniones Nacionales de Investigación e Innovación Pecuaria, Agrícola, Forestal y Acuícola-Pesquera.*; 2014 octubre 6-9; Mérida (Yucatán) México. El Comité Organizador de la RNIIPAFAP, 2014:P452.

17. Corzo A, Schilling MW, Loar RE, Jackson V, Kin S, Radhakrishnan V. The effects of feeding distillers dried grains with soluble on broiler meat quality. *Poult. Sci.* 2009;88:432-439.
18. Cromwell GL, Herkelman KL, and Stahly TS. Physical, chemical, and nutritional characteristics of distillers dried grains with soluble for chicks and pigs. *J of Anim Sci.* 1993;71:679-686.
19. Cuca GM, Avila GE, Pro MA: Alimentación de las aves. México, México. 2ed. Universidad Autónoma Chapingo, 2009.
20. Dale NM, and Batal AB. Distillers grains (GSDS): Focusing on quality control. *Poultry USA*, pp. 36-39. August, 2005.
21. Davis K. Corn Milling, processing and generation of co-products. 62nd Minnesota Nutrition Conference and Minnesota Corn Growers Association Technical Symposium. September 11-12. Bloomington, MN, 2001.
22. Díaz DE. The mycotoxin blue book. Nottingham, United Kingdom. First ed. Nottingham University Press, 2005.
23. Díaz RF, Rosentrater K. Composición de los lípidos en los granos de destilería. *Dairy Science*, 2012.
24. Ergul TC, Martínez-Amezcuca C, Parson CM, Walters B, Brannon J, and Noll SL. Amino acid digestibility in corn distillers dried grains with soluble. *Poult sci.* 2003;82(suppl. 1):70.
25. Fastinger ND, Latshaw JD and Mahan DC. Amino acid availability and true metabolizable energy content of corn distillers dried grains with solubles in adult cecectomized roosters. *Poultry Science* 2006;85:1212–1216.
26. FEDNA, Fundación Española para el Desarrollo de la nutrición Animal. Tablas de ingredientes para piensos; Granos y solubles del maíz.

Noviembre 2012 (citado enero 2013). Disponible en: http://fundación fedna.org/ingredientes_para_piensos/granos-y-solubles-de-ma%C3%ADz-GSDS.

27. Fontaine J, Zimmer U, Moughan PJ, and Rutherford SM. Effect of heat damage in an autoclave on the reactive lysine contents of soy products and corn distillers dried grains with soluble: Use of the results to check on lysine damage in common qualities of these ingredients. *J of Agric and Food Chem.* 2007;55:10737-10743.
28. Ganesan V, Rosentrater KA, Muthukumarappan K. Physical and flow properties of regular and reduced fat distillers dried grains with soluble (DDGS). *Food Bioprocess Technol.* 2009;2:156-166.
29. Guney AC, Him MY, Batal AB, Dale NM, and Pesti GM. Effect of feeding low-oil distillers dried grains with soluble on the performance of broilers. *Poult. Sci.* 2013;92:2070-2076.
30. Han JC y Liu KS. Changes in proximate composition and amino acid profile during dry grind ethanol processing from corn and estimation of yeast contribution toward GSDS proteins. *J. of Agriculture and Food Chem.* 2010;58:3430-3437.
31. Hoffman L, Baker A. Market Issues and Prospects for U.S.A. Distillers Grains Supply, Use and Price Relationships. USDA. Diciembre, 2010.
32. Janes M, Bruinsma K, Cooper T y Endres D. Solvent extraction of oil from distillers dried grains and methods of using extraction products. *International Patent* 2008, W02008039859.
33. Jung B and Batal A. The nutrient digestibility of high-protein corn distillers dried grains and the effect of feeding various levels on the performance of laying hens. *J Appl Poult Res* 2009;18:741-751.

34. Jung, B., R.D. Mitchel, and A.B. Batal. Evaluation of the use of feeding distillers dried grains with solubles in combination with canola meal on broiler performance and carcass characteristics. 2012;21:776-787.
35. Kalscheur KF, Baldwin RL, Glenn BP, and Kohn RA. J. Dairy. Sci. 2006;89: 249-259.
36. Keshun L, and Rosentrater KA. Distillers Grains: Production, properties, and utilization. 1st ed. CRC Press., Florida, USA, 2012.
37. Kim EJ, Martinez AC, Utterback PL and Parsons CM. Phosphorus bioavailability, true metabolizable energy, and amino acid digestibilities of high protein corn distillers dried grains and dehydrated corn germ. Poult. Sci. 2008a;87:700-705.
38. Kim EJ, Parsons CM, Srinivasan R, and Singh V. Nutritional composition, nitrogen-corrected true metabolizable energy, and amino acid digestibilities of new corn distillers dried grains with soluble produced by new fractionation processes. Poult. Sci. 2010;89:44-51.
39. Kim EJ, Utterback PL, and Parsons CM. Comparison of amino acid digestibility coefficients for corn gluten meal, and corn distillers grains with soluble among 3 different bioassays. Poult. Sci. 2012;91:3141-3147.
40. Kim Y, Mosier NS, Hendrickson R, Ezeji T, Blaschek H, Dien B, Otta M, Dale BE, and Ladisch M. Composition of corn dry-grind ethanol by-products: DDGS, wet cake, and thin stillage: Bioresource Tech. 2008b;99:5165-5176.
41. Leeson S and Caston L. Enrichment of eggs with lutein. Poult Sci 2004;83:1709-1712.

42. Leske KL, Akavanichan O, Cheng TK, and Coon CN. Effect of ethanol extract on nitrogen-corrected true metabolizable energy for soybean meal with broilers and roosters. *Poult Sci.* 1991;70:892-895.
43. Licht FO. Feedstock use for biofuels. The outlook for 2011. *World Ethanol & biofuels Report.* 2011;9(17):1-12.
44. Liu KS y Han JC. Changes in mineral concentrations and phosphorus profile during dry-grind process of corn into ethanol. *Bioresource Tech.* 2001;102:3110-3118.
45. Liu KS. Particle size distribution of distillers dried grains with soluble (DDGS) and relationships to compositional and color properties. *Bioresource Tech.* 2008;99:8421-8428.
46. Loar RE, Donaldson JR, and Corzo A. Effects of feeding distillers dried grains with soluble to broilers from 0 to 42 days posthatch on broiler performance, carcass characteristics, and selected intestinal characteristics. *Appl. Poult. Res.* 2012;21:48-62.
47. Loar RE, Schilling MW, McDaniel CD, Rogers SF, Karges K, Corzo A. Effect of dietary inclusion level of distillers dried grains with soluble on layer performance, egg characteristics, and consumer acceptability. *J Appl Poult Res* 2010;19:30-37.
48. Loar RE, Srinivasan R, Kidd MT, Dozier WA, Corzo A. Effects of elutriation and sieving processing (Elusieve) of distillers dried grains with soluble on the performance and carcass characteristics of male broilers. *J Appl Poult Res* 2009;18:494-500.
49. Lumpkins B, Batal A, and Dale N. Use of distillers dried grains plus soluble in laying hen diets. *J Appl Poult Res* 2005;14:25-31.

50. Lumpkins BS, and Batal AB. The bioavailability of lysine and phosphorus in distillers dried grains with solubles. *Poult. Sci.* 2005;84:581-586.
51. Lumpkins, B.S., A.B. Batal, and N.M. Dale. Evaluation of distillers dried grains with soluble as a feed ingredient for broilers. *Poult. Sci.* 2004;83:1891-1896.
52. Majoni S y Wang T. Characterization of oil precipitate and oil extracted from condensed corn distillers soluble. *J. Am. Oil Chem.* 2010;87:205-213.
53. Martinez AC, and Parsons CM. Effect of increased heat processing and particle size on phosphorus bioavailability in corn distillers dried grains with soluble. *Poult. Sci.* 2007;86:331-337.
54. Martinez AC, Parsons CM, and Baker DH. Effect of microbial phytase and citric acid on phosphorus bioavailability, apparent metabolizable energy, and amino acid digestibility in distillers dried grains with soluble in chicks. *Poult. Sci.* 2006;85:470-475.
55. Martinez AC, Parsons CM, and Noll SL. Content and relative bioavailability of phosphorus in distillers dried grains with soluble in chicks. *Poult. Sci.* 2004;83:971-976.
56. Martinez AC, Parsons CM, Singh V, Srinivasan R, and Murthy GS. Nutritional characteristics of corn distillers dried grains with soluble as affected by the amounts of grains versus soluble and different processing techniques. *Poult. Sci.* 2007;86:2624-2630.
57. Masádeh MK, Purdum SE, Hanford KJ. Dried distillers grains with solubles in laying hen diets. *Poult. Sci.* 2011;90:1960-1966.
58. Meloche KJ, Kerr BJ, Shurson GC, and Dozier WA. Apparent metabolizable energy and prediction equations for reduced-oil corn

distillers grains with soluble in broiler chicks from 10 to 18 days of age. *Poult. Sci.* 2013;92:3176-3183.

59. Min YN, Hancock A, Yan F Lu C, Coto C, Karimi A, Park JH, Liu FZ, Waldroup PW. Use of combination of canola meal and distillers dried grains with soluble in broiler starter diets. *J Appl Poult Res* 2009;18:725-733.
60. Min YN, Waldroup PW, Niu ZY, Wang ZP, Gao YP, Liu FZ. Effects of dietary distillers dried grains with soluble concentrations on meat quality and antioxidant status and capacity of broiler chickens. *Appl. Poult. Res.* 2012;21:603-611.
61. Moreau RA, Hicks KB, Johnston DB, Laun NP. The composition of crude corn oil recovered after fermentation via centrifugation from a commercial dry grind ethanol process. *J. Am. Chem. Soc.* 2010;87:895-902.
62. National Research Council. *Nutrient Requirements of Poultry*, 9th rev. ed. Washington, DC: National Academy Press, 1994.
63. Ning D, Yuan JM, Wang YW, Peng YZ, Guo YM. The net energy values of corn, dried distillers grains with soluble and wheat bran for laying hens using indirect calorimetry method. *Asian Aust. J. Anim. Sci.* 2013;27:209-216.
64. Noll S, and Purdum SE. Low oil GSDS value in turkey and laying hen rations. Midwest Poultry federation Convention; 2013 marzo 12-14; Saint Paul River Centre, Minnesota, USA.
65. Noll SL, and Brannon J. Response of market turkey toms to diets containing high levels of corn distillers dried grains with solubles. *Poult. Sci.* 2008;87(Suppl): 100. (Abstr.)
66. Noll SL, Brannon J, and Parsons CM. Nutritional value of corn distillers dried grains with soluble (DDGS): influence of soluble addition. *Poult Sci.* 2007;86(suppl.):204.

67. Oryschak M, Korver D, Zuidhof M, Meng X and Beltranena E. Comparative feeding value of extruded and nonextruded wheat and corn distillers dried grains with soluble for broilers. *Poult Sci* 2010;89:2183-2196.
68. Pahm AA, Scherer CS, Pettigrew JE, Baker DH, Parsons CM, and Stein HH. Standardized amino acid digestibility in cecotomized roosters and lysine bioavailability in chicks fed distillers dried grains with soluble. *Poult. Sci.* 2009;88:571-578.
69. Parsons CM, Amezcua C, Singh V, Radhadkrishnan S, and Noll S. Nutritional value of conventional and modified DDGS for poultry. *Proceeding of the Multistate Poultry Feeding and Nutrition Conference, Indianapolis, IN, 2006.*
70. Pekel AY, Cakir EO, Polat M, Cakir K, Inan G y Kocabagh N. Correlations between chemical assays and near-infrared reflectance spectroscopy for nutrient components and correlations between nutrients and color scores of distillers dried grains with soluble. *J Appl. Poult. Sci.* 2013;22:814-824.
71. Randhava SS, Kao RL, Calderone SG y Randhava AS. Oil recovery from dry corn milling ethanol production process. U.S. Patent Application 2008/0176298 A1.
72. Roberson KD, Kalbfleisch JL, Pan W, and Charbeneau RA. Effect of corn distiller's dried grains with soluble at various levels on performance of laying hens and yolk color. *Int J of Poult Sci.* 2005;4(2):44-51.
73. Robertson KD, Kalbfleisch JL, Pan W, Charbeneau RA. Effect of corn distiller's dried grains with soluble at various levels on performance of laying hens and egg yolk color. *Inter. J of Poutl. Sci.* 2007; 4:44-51.
74. Rochelle SJ, Kerr BJ, and Dozier III WA. Energy determination of co-product fed to broiler chicks from 15 to 24 days of age, and use of

composition analysis to predict nitrogen-corrected apparent metabolizable energy. *Poult. Sci.* 2011;90:1999-2007.

75. Rosentrater KA, Ilelegi KM, and Johnson DB. Manufacturing of fuel ethanol and distillers grains-Currents and evolving processes. 1st ed. CRC Press, Florida, USA, 2011.
76. Rosentrater KA. Expanding the role of systems modeling: considering byproduct generation from biofuel production. *Ecol Soc* 2005;11(1): r2. [online] [URL:http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/resp2/](http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/resp2/)
77. Salim HM, Kruk ZA, Lee BD. Nutritive value of corn distillers dried grains with solubles as a ingredient of Poultry diets: A review. *World's Poult. Sci. J.* 2010;6:411-432.
78. Schilling MW, Battula V, Loar RE, Jackson V, Kin S, Corzo A. Dietary inclusion level effects of distillers dried grains with soluble on broiler meat quality. *Poult. Sci.* 2010;89:752-760.
79. Schlemmer U, Frolich W, Prieto RM y Grases F. Phytate in foods and significance for humans: Food sources, intake, processing, bioavailability, protective role and analysis. *Molecular Nutr. & Food Res.* 2009;53:S330-S375.
80. Schulze D. Flow properties of powders and bulk solids. Noviembre 2013 (citado noviembre, 2013). Disponible en: <http://www.dietmar-schulze.de/>.
81. Shalash SMM, El-Wafa SA, Hassan RA, Ramadan NA, Mohamed MS, and El-Gabry HE. Evaluation of distillers dried grains with soluble as feed ingredient in laying hens diets. *Int Poult Sci* 2010;9:537-545.
82. Shim MY, Pesti GM, Bakalli RI, Tillman PB, and Payne RL. Evaluation of corn distillers dried grains with soluble as an alternative ingredient for broilers. *Poult. Sci.* 2011;90:369-376.

83. Shurson GC, Tilstra H, Kerr J. Impact of United States biofuels co-products on the feed industry. Biofuel co-products as livestock feed. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2012.
84. Singh N y Cheryan M. Extraction of oil from corn distillers dried grains with solubles. Transactions of the ASAE. 1998;41:1775-1777.
85. Singh V, Johnston DB, Naidu K, Rausch KD, Belyea RL, y Tumbleson ME. Comparision of modified dry grind processes for fermentation characteristics and DDGS composition. Cereal Chem. 2005;82:187-190.
86. Spiels MJ, Whitney MH, and Shurson GC. Nutrient database for distillers dried grains with soluble produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. J of Anim Sci. 2002;80:26-39.
87. Stein H. Energy and nutrient digestibility in four sources of distillers dried grains with soluble produced from corn grown within a narrow geographical area and fed to growing pigs. Asi-Aust J Anim Sci. 2009;22:1011-1016.
88. Sun H, Lee EJ, Samaraweera H, Persia M, and Dong UA. Effects of increasing concentration of distillers dried grains with soluble on chemical composition and nutrient content of egg. Poult. Sci. 2013;92:233-242.
89. Sun H, Lee EJ, Samaraweera H, Persia M, Ragheb HS, and Dong UAhn. Effects of increasing concentrations of corn distillers dried grains with soluble on egg production and internal quality of eggs. Poult Sci 2012;91:3236-3246.
90. Swiatkiwicz S and Koreleski J. Effect of maize distillers dried grains with soluble and dietary enzyme supplementation on performance of laying hens. J Anim Feed Sci 2006;15:253-260.

91. U.S. Grains Council. DDGS production and export. Enero 2014 (Citado Enero 2014). Disponible en: 2008. DDGS User Handbook. [online] URL: <http://www.grains.org/index.php/buying-selling/DDGS>.
92. United Nations Environment Programme. Towards sustainable production and use of resources: assessing biofuels., 2009-10-24. http://www.unep.fr/scp/rpanel/pdf/Assessing_Biofuels_Full_Report.pdf
93. USDA (United States Department of Agriculture). 2011. Agricultural projections to 2020. Washington, D.C., USA.
94. Waldroup PW, Wang Z, Coto C, Cerrate S, and Yan F. Development of a standardized nutrient matrix for corn distillers dried grains with soluble. *Int J of Poult Sci.* 2007;6:478-783.
95. Wang L, Wellr CL, Schlegel VL, Carr TP y Cuppet SL. Supercritical CO₂ extraction of lipids from grains sorghum dried distillers with soluble. *Bioresource Tech.* 2008;99:1373-1382.
96. Watkins C. Two fuels from one kernel. *Inform.* 2007;18:714-714.
97. Winkler MJ, Vaughn S.F. Antioxidant Activity of Phytochemicals from Distillers Dried Grain Oil. *Journal American Oil Chemical Society* 2009;86 (11):1073–1082.
98. Wondra KJ, Hancock JD, Behnke KC, Hines RH y Stark CR. Effects of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. *J of Anim. Sci.* 1995;73:757-763.
99. Wu-Haan W, Powers W, Angel R, and Applegate TJ. The use of distillers dried grains with soluble as a feed ingredient on air emissions and performance from laying hens. *Poult. Sci.* 2010;89:1355-1359.

100. Zhang Y, Caupert J, Imerman PM, Richard JL y Shurson GC. The occurrence and concentration of mycotoxins in U.S. distiller`s dried grains with solubles. *J. of Agric. And Food Chem.* 2009;57:9828-9837.