



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y
DE LA SALUD ANIMAL

*Biodisponibilidad del fósforo en una muestra de granos secos de destilería
con solubles (DDGS) bajo en grasa y su valor nutritivo en dietas para pollos
de engorda*

T E S I S

QUE PARA OPTAR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA:

SARAHÍ DONAJY RAMÍREZ ESTRADA

TUTOR PRINCIPAL

MVZ MC ERNESTO ÁVILA GONZÁLEZ (FMVZ-UNAM)

COMITÉ TUTOR

MVZ MC DR CARLOS LÓPEZ COELLO. (FMVZ-UNAM)

MVZ MC DR SERGIO GÓMEZ ROSALES

(Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal)

MÉXICO, D.F.

MAYO, 2014



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

A Dios, por permitirme llegar hasta este momento y cumplir mis sueños.

A mis padres, Leoncio Ramírez y Susana Estrada por el inmenso amor, comprensión y apoyo incondicional, que siempre he recibido de ustedes.

A mis hermanos Joselline y Edgar, por su gran cariño y por estar siempre a mi lado.

A mi sobrina Natalia, que por su inmensa ternura, me hizo recordar mi etapa de infancia.

A mi amiga de toda la vida, Mildred Delgado, por su apoyo y cariño, que siempre me ha demostrado.

A mis amigos Itzel Bautista, José Luis Villegas, David Ramos, Iván Ortega e Ingrid Martínez, por la compañía tan agradable y las excelentes experiencias, que vivimos juntos durante la maestría.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por permitirme desarrollarme y superarme, durante los últimos 8 años de mi vida.

Al Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola, por las facilidades proporcionadas para la elaboración de mi trabajo de tesis y por las grandes enseñanzas que aprendí, durante mi estancia en este.

Al Consejo de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico brindado durante la maestría.

Al Dr. Ernesto Ávila González, una excelente persona, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo, por su paciencia y sus enseñanzas que me permitieron superarme profesionalmente.

A mi comité tutor, Dr. Carlos López Coello y Dr. Sergio Gómez Rosales, por sus grandes consejos, que aportaron de manera significativa, en este trabajo.

Al Dr. Arturo Cortés Cuevas, por su apoyo, enseñanzas y por el agradable trabajo en equipo.

A mis sinodales Dra. Irma Tejeda, Dr. Juan Carlos del Río, Dr. Mariano González y Dr. Benjamin Fuente, por sus observaciones que enriquecieron la realización de este trabajo.

Al Departamento de Nutrición Animal, al laboratorio Danisco Animal Nutrition, a la empresa PIVEG y a la Dra. Xóchitl Hernández, por su apoyo en el análisis de las muestras.

A Iván, David, Itzel, Diana, Perla, Noé, Montse, Alma, Jorge, Lazaro y a todo el personal del CEIEPAv, por su ayuda durante el periodo experimental.

RESUMEN

Con la finalidad de evaluar la biodisponibilidad de fósforo, la respuesta productiva y eficiencia pigmentante en piel y grasa abdominal, de una muestra de granos secos de destilería con solubles bajo en grasa (DDGSbg), en dietas sorgo- pasta de soya para pollo de engorda, se llevaron a cabo dos experimentos. Se utilizaron 150 y 225 pollos de la estirpe Ross 308, de 7 a 21 días y de 1 a 42 días de edad, para el Experimento 1 y 2 respectivamente. Se empleó un diseño completamente al azar, de 5 y 3 tratamientos con 3 repeticiones de 10 y 25 aves cada una, en el Experimento 1 y 2, respectivamente. Los tratamientos en el Experimento 1, fueron los siguientes: T1.- Dieta basal sorgo-pasta de soya con 0.14% de Pi, 2.- Como 1 + 0.05% de fósforo de FMD, 3.- Como 1 + 0.10% de fósforo FMD, 4.- Como 1 + 0.05% de fósforo a partir de DDGSbg, 5.- Como 1 + 0.10% de fósforo a partir de DDGSbg. En el Experimento 2, los tratamientos fueron: T1.- Dieta testigo sorgo-pasta de soya sin inclusión de DDGSbg. T2.- Como 1 + 6% DDGSbg. T3.- Como 1 + 12% DDGSbg. Los resultados a los 21 días, del Experimento 1, para porcentaje de cenizas en tibias mejoraron linealmente ($P<0.05$) con la suplementación de fósforo en la dieta a partir de FMD o de DDGSbg. La biodisponibilidad de fósforo con DDGSbg fue de 85.71% en relación a FMD (100%). Los resultados del Experimento 2, a los 42 días, para rendimiento productivo, rendimiento en canal y grasa abdominal, no indicaron diferencia estadística ($P<0.05$) entre tratamientos. Los resultados de pigmentación en canal caliente, canal fría y grasa abdominal mejoraron linealmente ($P<0.05$) con inclusión de DDGSbg; sin embargo, los resultados de xantofilas totales en plasma no mostraron diferencia ($P<0.05$). De los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede concluir que la biodisponibilidad de fósforo con DDGSbg fue de 85.71%; y que la adición de DDGSbg en dietas sorgo-pasta de soya para pollos de engorda, no afectó el comportamiento productivo y mejoró la pigmentación de la piel.

Palabras Clave: DDGS, fósforo, cenizas en tibias pigmentación amarilla, grasa abdominal, xantofilas totales en plasma.

ABSTRACT

In order to evaluate the phosphorus bioavailability , yield response and pigmentation skin efficiency and abdominal fat, a sample of low oil distillers dried grains with solubles (LO-DDGS), in sorghum -soybean meal diets for broilers , were conducted two experiments. One hundred fifty and two hundred twenty five chickens Ross 308 of 7 to 21 days and 1 to 42 days of age, for Experiment 1 and 2 respectively, were used. A completely randomized design, 5 and 3 treatments with 3 replicates of 10 birds and 25 each in Experiment 1 and 2, respectively, were employment. Treatments in Experiment 1 were: T1. - Basal diet sorghum -soybean meal with 0.14 % of inorganic phosphorus, 2.- As 1+ 0.05 % phosphorus of FMD, 3 .-As 1+ 0.10 % phosphorus of FMD , 4.- As 1+ 0.05 % phosphorus of DDGS. 5 .-As 1+ 0.10 % phosphorus of DDGS. In Experiment 2, the treatments were: T1.-Basal diet sorghum -soybean meal without inclusion of DDGS. T2.- As 1+ 6 % DDGS. T3 .- As 1 + 12 % DDGS. The results at 21 days, in Experiment 1 for tibia ash percentage improved linearly ($P < 0.05$) with supplementation of dietary phosphorus FMD or DDGS. The phosphorus bioavailability of DDGS was 85.71% in relation to FMD (100 %). The results of Experiment two, at 42 days, for productive performance, carcass yield and abdominal fat didn't show statistical difference ($P < 0.05$) among treatments. The results of pigmentation in hot carcass, cold carcass and abdominal fat improved linearly ($P < 0.05$) with inclusion of DDGS; but the results of total xanthophylls in plasma didn't show differences ($P < 0.05$). From the results obtained in the present study, it can concluded that the phosphorus bioavailability of DDGS was 85.71 %; and that the addition of DDGS in sorghum-soybean meal diets for broilers, didn't affect growth performance and improved pigmentation.

Keywords: DDGS, phosphorus, tibia ash, yellow pigmentation, abdominal fat, plasma total xanthophylls.

CONTENIDO

DEDICATORIAS	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
CONTENIDO	VI
LISTA DE FIGURAS	IX
ABREVIATURAS	X
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Situación actual de la avicultura en México	1
1.2 Situación de los DDGS en el mundo y en México	2
1.3 Proceso de elaboración de los DDGS	2
1.4 DDGS bajos en grasa	4
1.5 Variabilidad de características físicas y nutricias de los DDGS	5
1.6 Valor nutricional de los DDGS	6
1.7 Uso de los DDGS en aves	9
JUSTIFICACIÓN	10
HIPÓTESIS	11
OBJETIVOS	12
MATERIAL Y MÉTODOS	13
5.1 Instalaciones y cuidado de los animales en experimentación	13
5.2 Análisis realizados a la muestra de DDGS bajos en grasa	13
5.3 Experimento 1	14
5.4 Experimento 2	16
RESULTADOS	21
DISCUSIÓN	24
CONCLUSIONES	34
CUADROS	35
FIGURAS	48

LITERATURA CITADA52
ANEXO60

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Composición química de los DDGS citada por diversos autores.....	35
Cuadro 2: Composición nutrimental de la muestra de DDGS bg en estudio.	36
Cuadro 3: Contenido de xantofilas, coloración y fluidez, de la muestra de DDGS bg	37
Cuadro 4: Contenido de Fósforo (total, fítico y disponible) de los principales ingredientes utilizados en las dietas experimentales del Experimento 1	37
Cuadro 5: Composición de la dieta basal y su análisis calculado para pollos de 7 a 21 días de edad (Experimento 1).....	38
Cuadro 6: Composición de las dietas experimentales en la fase de iniciación (0-10 días) del Experimento 2.	39
Cuadro 7: Composición de las dietas experimentales en la fase de crecimiento (11-21 días) del Experimento 2.	40
Cuadro 8: Composición de las dietas experimentales en la fase de finalización (22-42 días) del Experimento 2.	41
Cuadro 9: Resultados de parámetros productivos, consumo de fósforo y porcentaje de cenizas en tibias en pollos de 7 a 21 días de edad del Experimento 1.	42
Cuadro 10: Parámetros productivos de pollos alimentados con DDGSbg, de 0 a 10 días de edad (Fase de iniciación), Experimento 2.	43
Cuadro 11: Parámetros productivos de pollos alimentados con DDGSbg, de 11 a 21 días de edad (Fase de Crecimiento), Experimento 2.	43
Cuadro 12: Parámetros productivos de pollos alimentados con DDGSbg, de 22-42 días de edad (Fase de finalización), Experimento 2.	44
Cuadro 13: Parámetros productivos de pollos alimentados con DDGSbg, a los 42 días de edad, Experimento 2.....	44
Cuadro 16: Pigmentación amarilla (b*) en canal caliente, canal fría y grasa abdominal de hembras y machos, alimentados con diferentes niveles de inclusión de DDGSbg a los 42 días de edad, Experimento 2.....	47
Cuadro 17: Xantofilas totales en plasma de pollos de 42 días de edad del Experimento 2.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Proceso de elaboración del etanol y de los DDGS.	48
Figura 2: Biodisponibilidad de Fósforo en DDGSbg, con base en el consumo de fósforo y las cenizas en tibias, de pollos de 21 días de edad.....	49
Figura 3: Amarillamiento cutáneo de pollos alimentados con diferentes niveles de DDGSbg a los 21, 28, 35 y 42 días de edad, Experimento 2.	49
Figura 4: Eficiencia pigmentante de xantofilas con base a los resultados de amarillamiento de canal caliente y al consumo de xantofilas con diferentes niveles de inclusión de DDGSbg, Experimento 2.....	50
Figura 5: Eficiencia pigmentante de xantofilas con base en los resultados de amarillamiento de canal fría y al consumo de xantofilas con diferentes niveles de inclusión de DDGSbg, Experimento 2.....	50
Figura 6: Amarillamiento cutáneo de pollos alimentados con diferentes niveles de DDGSbg a los 42 días en pollo vivo, canal caliente y canal fría, Experimento 2.....	51
Figura 7: Eficiencia pigmentante de xantofilas con base en los resultados de amarillamiento de grasa abdominal y al consumo de xantofilas con diferentes niveles de inclusión de DDGSbg, Experimento 2.....	51

ABREVIATURAS

DDGS: Granos secos de destilería con solubles.

DWG: Granos húmedos de destilería.

CDS: Solubles condensados de destilería.

DDG: Granos secos de destilería.

HP-DDG: Granos secos de destilería altos en proteína.

DDGSbg: Granos secos de destilería con solubles bajos en grasa.

FMD: Fósforo Mono-Dicálcico.

Pi: Fósforo inorgánico.

CEIEPAv: Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola.

UNAM: Universidad Nacional Autónoma de México.

FMVZ: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

ANDEVA: Análisis de Varianza.

UA: Unidades de amarillamiento.

INTRODUCCIÓN

1.1 Situación actual de la avicultura en México

La avicultura en México representó en el 2013, el 63% de la producción pecuaria del país; ocupando el 34.6 %, la producción de pollo y el 27.9%, la de huevo. México ocupa el quinto lugar como productor de huevo y de carne de pollo a nivel mundial; teniendo en el 2013 una producción de carne de pollo de 2,905, 989 toneladas. Los principales estados productores de pollo son Veracruz y Querétaro con un 11%, seguido de Aguascalientes y La Laguna, con un 10%, de la producción total del país (UNA, 2013)¹.

Se menciona también que el consumo per-cápita en el 2013 de carne de pollo fue de 24.8 kg por habitante por año (UNA, 2013)¹.

Ante esta demanda de carne de pollo, se busca tener productos de buena calidad; donde la alimentación de las aves ocupa un papel importante. Actualmente se utilizan dietas con base en granos y pastas de oleaginosas como fuente de energía y proteína respectivamente.

En México, la alimentación en la producción avícola representa alrededor del 70 al 80% de los costos de producción. Por lo que se buscan ingredientes alternativos que permitan tener dietas balanceadas, que cumplan los requisitos nutrimentales de las aves y que al mismo tiempo tengan un beneficio económico. Uno de los ingredientes de utilización reciente en la alimentación de las aves son los Granos secos de destilería con solubles (DDGS).

Los DDGS son coproductos, obtenidos durante la fabricación del bioetanol, a partir de diversos ingredientes ricos en almidón. El maíz es el principal grano empleado para la elaboración de estos productos, y esto es debido a su alta disponibilidad y su contenido de almidón altamente fermentable (Hoffman y Baker, 2010; Arvizu, 2012)^{2,3}. Sin embargo, también se emplean otras materias primas como son la caña de azúcar, trigo, sorgo y cebada, y con menos frecuencia el centeno, avena, arroz y triticale (Kshun y Kurt, 2012; Cuca et al, 2009)^{4,5}.

1.2 Situación de los DDGS en el mundo y en México

Los coproductos de destilería surgieron ante la demanda de etanol en los Estados Unidos de Norteamérica, obtenidos a partir de los granos (Kshun y Kurt, 2012; Cuca et al, 2009)^{4,5}. Como se mencionó anteriormente el grano más utilizado para la producción de biocombustibles es el maíz, y esto es debido a su alta disponibilidad y su bajo costo. Actualmente existen 200 plantas productoras de DDGS en Estados Unidos. Estas plantas tienen la capacidad de producir 14 billones de galones de etanol y 30 millones de toneladas de DDGS (U.S. Grains Council, 2014)⁶. Los granos de destilería son destinados a la alimentación animal, el 48% es para alimentación de ganado productor de carne; 31% para alimentación de ganado de leche; 12% para cerdos; 8 % para pollos y el 1% para otras especies (RFA, 2013)⁷.

Las principales exportaciones de DDGS provenientes de Estados Unidos son dirigidas a México, representando en el 2011, alrededor del 22% de las exportaciones totales de EU seguido por China (19%). Sin embargo para el periodo de enero a noviembre del 2013, el primer lugar en cuanto a la importación de DDGS fue China, seguido de México (U.S. Grains Council, 2014)⁶.

1.3 Proceso de elaboración de los DDGS

En la fabricación de etanol a partir de granos se obtienen 3 productos; el etanol como tal, residuos no fermentables componentes del grano (de los cuales surgen los granos de destilería) y dióxido de carbono (Kshun y Kurt, 2012; Barragan, et al, 2008)^{4,8}.

El proceso de elaboración de DDGS consta básicamente de los siguientes pasos (Kshun y Kurt, 2012; Barragan, et al, 2008; Hofmann y Baker, 2010; Applegate et al, 2008)^{4,8,2,9}:

- Selección, limpieza y molienda del grano.
- Sacarificación: Es la degradación del almidón a glucosa, mediante la utilización de enzimas alfa-amilasas y gluco-amilasas.

- Fermentación de la glucosa para producir etanol. Este proceso, es realizado mediante levaduras (como es el caso de *Saccharomyces cerevisiae*). Cada molécula de glucosa produce dos moléculas de etanol y dos de dióxido de carbono (CO₂).
- Destilación del etanol. Esta se lleva a cabo, mediante la evaporización del etanol obtenido en el paso anterior. Sin embargo, al contener aproximadamente un 95 y 5% de etanol y agua, respectivamente, el producto es sometido a un sobrecalentamiento; del cual, al separar una porción remanente de agua, se obtiene etanol 100% puro. Este último va a ser utilizado para la producción de combustibles.
- Conversión de residuos no fermentables, a coproductos de destilería. Los residuos no fermentables son procesados para obtener coproductos de destilería. Estos residuos son centrifugados, para obtener Granos Húmedos de Destilería (DWG) y sólidos solubles. Los DWG se van a caracterizar por contener un alto porcentaje de humedad (50-60%), teniendo como consecuencia un tiempo de vida limitado.
- Secado: Los DWG son sometidos a un proceso de secado, resultando así los Granos Secos de Destilería (DDG).
- Obtención de los solubles condensados de destilería: Después del secado de los granos, el líquido obtenido se conoce como vinaza fina; parte de esta última puede ser reintroducida al proceso de cocción y destilación, y otra parte puede ser condensada. Después del proceso de condensación se obtienen los Solubles Condensados de Destilería (CDS).
- Obtención de los Granos Secos de Destilería con solubles (DDGS). Finalmente cuando los CDS son adicionados a los DDG, se obtienen los Granos Secos de Destilería con Solubles (DDGS). El proceso de elaboración de los coproductos de destilería se muestra en la Figura 1.

Aproximadamente de un bushel de maíz (26 Kg) que es procesado para la producción de etanol, se obtienen 8kg de granos de destilería, 8 kg de dióxido de carbono y 10 litros de etanol (Hoffman y Baker, 2010)².

1.4 DDGS bajos en grasa

Diferentes tecnologías han sido desarrolladas, para extraer el aceite antes y después del proceso de fermentación. Un método, consiste en separar el maíz en tres fracciones antes de comenzar la fermentación; el salvado, el germen y el endospermo. El salvado es utilizado como fuente de fibra para alimentación animal, principalmente para rumiantes; el germen, tiene una alta concentración de grasa, a este se le extrae el aceite y el subproducto resultante es la harina de germen. Y al endospermo, por tener una alta cantidad de almidón, es sometido a fermentación, para así obtener etanol (Díaz y Rosentrater, 2012; Applegate et al, 2009) ^{10,9}. El resultado a este proceso son coproductos con más proteína (35-57%), que los DDGS convencionales, denominados Granos Secos de Destilería altos en proteína (HP-DDG). Además, estos coproductos tienen una menor concentración de aceite (2.86-4.12%) (Díaz y Rosentrater, 2012; Applegate et al, 2009; Rochelle et al, 2011) ^{10,11,12}.

Existe otro método en el cual el aceite o grasa, es extraído después del proceso de fermentación y antes del proceso de secado. Este procedimiento se realiza mediante diferentes métodos, generalmente por centrifugación (Kshun y Kurt, 2012; Díaz y Rosentrater, 2012; Shurson et al, 2012; Schulze, 2013) ^{4,10,13,14}. Después de la extracción de parte del aceite, el contenido de grasa disminuye y el de otros nutrientes aumenta, como es el contenido de proteína cruda. Los coproductos resultantes son denominados DDGS bajos en grasa o en aceite.

Estos productos van a contener, como su nombre lo dice, una menor concentración de grasa, que va desde 2.5-7.5% (Díaz y Rosentrater, 2012; Rochelle et al, 2011; Noll y Purdum, 2013) ^{10,12,15} y por lo tanto la energía metabolizable contenida en estos ingredientes va a ser menor (2140 kcal/Kg en promedio). A diferencia de los HP-DDGS, en los DDGS bajos en grasa la proteína aumenta ligeramente (27 a 27.6 en DDGS convencionales) (Noll y Purdum, 2013) ¹⁵.

A inicios del 2011, se estimó que aproximadamente una tercera parte de las plantas de etanol de EU incrementaron la extracción de aceite a los DDGS para la obtención de DDGS bajos en grasa (USDA, 2012) ¹⁶. El aceite extraído en este proceso, es utilizado principalmente para la producción de biodisel (Kshun y Kurt, 2012; Díaz y

Rosentrater, 2012)^{4,10}. También dicho aceite es utilizado para la generación de compuestos fitoquímicos, como son tocotrienos, fitoesteroles, tocoferoles, entre otros; los cuales son usados para alimentos funcionales, cosméticos o suplementos dietéticos (Kshun y Kurt, 2012)⁴.

1.5 Variabilidad de características físicas y nutricias de los DDGS

Entre las características físicas, solo se describirá a la fluidez. La fluidez es una característica física importante en la venta, comercialización, distribución y utilización de los DDGS. La fluidez junto con otras características físicas de los DDGS afectan el manejo del material, el almacenamiento y operaciones de procesamiento (Kshun y Kurt, 2012; Ganesan et al, 2008)^{4,17}.

La fluidez se define como la habilidad de fluir de los sólidos granulares y de los polvos. Puede ser afectada por diversos factores como son la humedad, temperatura, presión de compactación (ejercida por ejemplo durante el transporte), contenido de grasa y tamaño de partícula (Kshun y Kurt, 2012; Ganesan et al, 2008; Shankar et al, 2010)^{4,17,18}.

En cuanto a los nutrientes contenidos en los DDGS, estos van a depender de diversos factores:

- ✓ Materia prima utilizada. Se considera que el maíz tiene mayor valor nutritivo, comparándolo con sorgo, trigo y otros granos utilizados para la fabricación de DDGS; por lo que es el grano más utilizado para la elaboración de estos. Y esto es gracias a que tiene un valor de energía metabolizable (3300 kcal/kg) y de xantofilas, mayor al de los demás granos. Un aspecto importante es que el almidón contenido en el maíz, es altamente fermentable (Lesson y Summers, 2008; Hoffman y Baker, 2010)^{19,2}.
- ✓ Tecnología y condiciones del procesamiento. Los DDGS producidos en los últimos años, tienen mayor valor nutricional que los de hace 20 años atrás. Pues actualmente los procesos de fermentación son más eficientes, gracias a que se emplean nuevos tipos de levaduras y menores temperaturas al secado. Dando como resultado un incremento en la calidad de la fracción proteica. Sin embargo,

estas nuevas tecnologías que hacen más eficiente el rendimiento de etanol, dejan una menor cantidad de almidón residual en los DDGS (Acedo, 2006; Kim, 2010)^{20,21}.

- ✓ Proceso de extrusión: Al someter a los DDGS al proceso de extrusión, en el cual se aplican temperaturas elevadas, mejora la disponibilidad de algunos nutrientes (como es el caso de fósforo); pero también tenderá a disminuir la digestibilidad de algunos nutrientes, como ocurre con lisina (Oryschak et al, 2010; Martínez et al, 2007)^{22,23}.
- ✓ Condiciones de almacenamiento. Los productos mal almacenados, tienden a calentarse y reducir su valor nutricional. Así como también, el tiempo de almacenamiento es un factor importante en el valor nutritivo de los DDGS. Por ejemplo la cantidad de xantofilas disminuye, conforme aumenta el tiempo de almacenamiento (Huang et al, 2011)²⁴.

1.6 Valor nutricional de los DDGS

En los DDGS las concentraciones de los nutrientes que no fueron fermentados, como es el caso del aceite, proteína y minerales, triplican su valor, dándoles así a estos ingredientes un alto valor nutritivo. La composición nutricia citada por diversos autores (FEDNA, 2012; Waldrop et al, 2007; Rochelle et al, 2011; Guney et al, 2013)^{25,26, 12, 27} se muestra en el Cuadro 1, donde se presentan datos tanto de DDGS convencionales como DDGS bajos en grasa o en aceite.

A continuación se describirán algunas de las características nutricias de los DDGS:

1.6.1 Extracto etéreo

El porcentaje de grasa contenido en los DDGS convencionales, va desde 7 al 12%, con un valor promedio de 10% (Salim et al, 2010)²⁸. Los ácidos grasos de los cuales se componen los DDGS son ácido linoleico, seguido de los ácidos oleico, palmítico, esteárico y linolénico. (Kshun y Kurt, 2012; FEDNA, 2012)^{4,25}. Como se mencionó anteriormente en el caso de los DDGS bajos en grasa, la cantidad de grasa es menor (2.5-7.0%) y por lo tanto un menor valor de Energía Metabolizable (Díaz y Rosentrater, 2012)¹⁰.

1.6.2 Biodisponibilidad de Fósforo

Se menciona que la biodisponibilidad de fósforo en los DDGS convencionales, es mayor a la del grano original. Esta característica se debe principalmente a la participación de fitasas producidas por levaduras durante el proceso de fermentación, las cuales van a reducir la concentración de fosforo fítico. (Kshun y Kurt, 2012; Waldropup et al, 2007; Batal y Dale, 2003)^{4,26,29}.

Otra posibilidad, es que la concentración de ácido fítico disminuya por las altas temperaturas a las que se someten los granos en el proceso de secado. Martínez et al. (2007)²³ encontraron que al someter DDGS convencionales a temperaturas de hasta 80°C, la biodisponibilidad de fósforo se incrementó de 69 hasta 91%. Sin embargo, este sobrecalentamiento tiene un efecto negativo en la digestibilidad de algunos aminoácidos, principalmente de lisina.

Las tablas FEDNA (2012)²⁵ mencionan que el 52% del fósforo en DDGS convencionales, se encuentra en forma de fosforo disponible; aunque también se han reportado datos de una biodisponibilidad de fósforo del 69 hasta el 100% en estos ingredientes (Martínez et al, 2004; Martínez et al, 2006)^{30,31}, por lo que este mineral es más disponible en los DDGS que en los granos originales.

En el caso de los DDGS bajos en grasa, hay pocos reportes acerca de la biodisponibilidad de fósforo presentes en estos. Solo hay algunos reportes de la cantidad de cenizas en diversas muestras de DDGS bajos en grasa, las cuales van de 4.8 a 6.5% (Rochelle et al, 2011; Saunders y Rosentrater, 2009; Guney et al, 2013)^{12,32,27}.

1.6.3 Pigmentos

Las xantofilas son importantes para la pigmentación de piel, tarsos, tejido adiposo y la yema de huevo, características importantes en la comercialización de los productos avícolas. Pues el mercado nacional, tiene preferencia por productos con una coloración amarilla en el caso de la piel de pollo.

Se podría tener la expectativa de que, al igual que otros nutrientes, el contenido de las xantofilas en los DDGS es 3 veces mayor a las del grano, conteniendo un valor aproximado en el caso de los DDGS de maíz amarillo de 60 ppm, teniendo en cuenta que en el grano original es de 20 ppm (Lesson y Summer, 2008)¹⁹. Sin embargo la concentración de estas llega a ser más baja, debido a la sensibilidad de estos carotenoides a altas temperaturas, mismas que serán aplicadas durante el proceso de secado de los DDGS, provocando así la destrucción de entre el 25 y 50% del contenido total de xantofilas (Moreau et al, 2010)³³. Sin embargo, aunque se pierda cierta cantidad de xantofilas, los DDGS siguen siendo una fuente considerable de estas, teniendo de 23 a 54ppm (Salim et al, 2010; U.S. Grains Council, 2013)^{28,34}.

El valor de xantofilas depende, entre otros factores, de la cantidad y el tiempo de calor aplicado; Roberson et al. (2005)³⁵ informan valores del contenido de xantofilas en dos muestras de DDGS (3.48 y 29.75 mg/kg), mencionando que el primer valor corresponde a una muestra de DDGS con una coloración más oscura, la cual se atribuye a un sobrecalentamiento en el proceso de fermentación y secado, y el segundo valor corresponde a la muestra de DDGS de coloración amarillo, que indica que se tuvo una temperatura adecuada durante el proceso.

Otro factor que influye en el valor de la cantidad de xantofilas es la extracción del aceite al que son sometidos los DDGS, para obtener DDGS bajos en grasa. La extracción de aceite en los DDGS también puede influir en el contenido de xantofilas, pues el aceite resultante va contener aproximadamente 66 mg/g de carotenoides, entre los que se encuentran β -caroteno, luteína, zeaxantina y β -criptoxantina (Winkler y Vaughn, 2009)³⁶. Aunque Moreau et al. (2010)³³ señalaron una cantidad menor de xantofilas en el aceite extraído (10 a 30 mg/g) y mencionan también, que la cantidad de xantofilas es más alta en los Granos Húmedos de Destilería y en los solubles (25-50 mg/g).

Aparentemente no hay estudios, en los que se evalúe la pigmentación con DDGS bg, en aves. Sin embargo Roberson et al. (2005)³⁵ indicaron que al incluir 5% de DDGS convencionales con 11.7% de aceite en la dieta de gallinas ligeras se empieza a tener un impacto significativo en el color de la yema. En el caso de pollo de engorda,

Schilling et al. (2010)³⁷ incluyeron 10 y 20 % de DDGS convencionales, donde se demostró numéricamente que conforme la inclusión de DDGS aumenta, existe una ligera disminución en los valores de luminosidad (L*) y amarillos (b*) sin cambios significativos en los pigmentos rojos (a*).

1.7 Uso de los DDGS en aves

Los DDGS son utilizados como ingredientes en la alimentación de las aves, con niveles de inclusión que van desde 8% hasta 25% (Shim et al, 2011)³⁸ en pollo de engorda; sin embargo se obtienen mejores resultados en la ganancia de peso en la etapa de iniciación, con un nivel de inclusión del 8 al 12% y del 12 al 15% en la etapa de finalización (Kshun y Kurt, 2012; Shim et al, 2011; Swiątkiewicz y Koreleski, 2010; Leytem et al, 2008)^{4,38,39,40}. También se menciona que niveles de inclusión de hasta 12%, dan un alto rendimiento en canal de pechuga y muslo (Schilling et al, 2010)³⁷. En gallina de postura se llegan a utilizar de 10 a un 15%; sin embargo más arriba de 20 % causa un decremento en la producción de huevo (Loar et al, 2010; Lumpkins y Batal, 2005)^{41,42}.

En el caso de los DDGS bajos en aceite Guney et al. (2013)²⁷ mencionan que al incluir estos en 10 % en dietas maíz-soya para pollos de engorda, se mejora el rendimiento productivo; pero este último se ve afectado negativamente, si la inclusión de estos ingredientes es mayor a 20%.

JUSTIFICACIÓN

Uno de los problemas a los que se enfrenta la industria avícola, es la baja biodisponibilidad de fósforo existente en la mayoría de los ingredientes de origen vegetal utilizados en las dietas para aves; teniendo así que utilizar fosfatos y fitasas en la alimentación avícola.

Ante esto, se buscan alternativas de ingredientes con mayor biodisponibilidad de fósforo, con un costo aceptable. Por lo que en el presente estudio, se evaluó la biodisponibilidad de fósforo de una muestra de granos secos de destilería con solubles (DDGS) bajo en grasa en pollo de engorda. Considerando también, que el proceso de extracción de la grasa, no afecte su biodisponibilidad.

Otro aspecto importante en la industria avícola mexicana, es la producción de pollo de engorda y la pigmentación amarilla de la piel. Ante esto también se buscan ingredientes alternativos que proporcionen un cierto grado de pigmentación a la piel de los pollos; permitiendo así, disminuir los costos del pigmento en la dieta. Por lo que en este estudio también, se estudió la deposición de xantofilas de una muestra de DDGS bajo en grasa, en el tejido cutáneo. Así como también, estudiar si la eficiencia pigmentante de xantofilas no es alterada por el proceso de extracción de la grasa de este ingrediente.

HIPÓTESIS

Las hipótesis del presente estudio fueron:

1. La biodisponibilidad de fósforo en una muestra de DDGS bajo en grasa es similar a la obtenida a partir de una fuente de fósforo sintética (FMD)
2. La biodisponibilidad de fósforo de los DDGS bajos en grasa, no se altera con el proceso de extracción de aceite al que fue sometido.
3. El rendimiento productivo, el rendimiento en canal y la pigmentación de la piel de pollos de engorda alimentados con dietas basadas en sorgo-pasta de soya, no se afecta con la inclusión de diferentes niveles de DDGS bajos en grasa.
4. El porcentaje de aceite contenido en los DDGS bajos en grasa, no afecta la cantidad de grasa abdominal, presente en el ave.
5. La biodisponibilidad, de xantofilas y la deposición de los pigmentos en la piel de aves alimentadas con DDGS bajos en grasa es similar.

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar la biodisponibilidad del fósforo de un lote comercial de DDGS bajo en grasa, mediante la medición del contenido de cenizas en tibias en pollo de engorda de la estirpe Ross 308. Además estudiar en dietas con diferentes niveles de DDGSbg, los parámetros productivos, rendimiento, calidad de la canal y pigmentación cutánea.

Objetivos Particulares

- a) Evaluar en el Experimento 1, la biodisponibilidad del fósforo de un lote comercial de DDGS bg en pollos de la estirpe Ross 308, alimentados con dietas basadas en sorgo-pasta de soya; suplementadas con fosfato mono-dicálcico (FMD) o con una muestra de DDGS bg, mediante la determinación de cenizas en tibias.
- b) Evaluar en el Experimento 2 el rendimiento productivo, rendimiento de la canal y contenido de grasa abdominal de los pollos de engorda de la estirpe Ross 308, alimentados con dietas basadas en sorgo-pasta de soya, suplementados con diferentes niveles de una muestra de DDGS bg.
- c) Evaluar en el Experimento 2 la eficiencia pigmentante para pollos de la estirpe Ross 308 alimentados con dietas basadas en sorgo-pasta de soya, suplementados con diferentes porcentajes de DDGS bg, mediante la medición de la pigmentación amarilla cutánea, pigmentación amarilla en grasa abdominal y por medio de la cuantificación de xantofilas totales en plasma.

MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 Instalaciones y cuidado de los animales en experimentación

El estudio se llevó a cabo en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México (CEIEPAv-FMVZ-UNAM). El CEIEPAv se localiza en la calle Manuel M. López s/n, en la Colonia Santiago Zapotitlán, Delegación Tláhuac, México, Distrito Federal; a una altura de 2300 msnm, una Latitud Norte de 19° 18' y Longitud Oeste 99°02'. Bajo condiciones de clima templado subhúmedo con lluvias en verano y humedad media (INEGI, 2000)⁴³.

Se realizaron dos experimentos con pollos de engorda de la estirpe Ross 308. El manejo de las aves, se llevó a cabo cumpliendo los lineamientos del Subcomité Institucional para el cuidado y uso de los Animales Experimentales (SICUAE-FMVZ.UNAM) con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999⁴⁴.

5.2 Análisis realizados a la muestra de DDGS bajos en grasa

- Análisis Químicos. Se determinó proteína, energía bruta (Kcal/kg), fibra, grasa, aminoácidos digestibles (metionina, cistina, treonina, fenilalanina, leucina e isoleucina), calcio y fósforo total a la muestra de DDGSbg en estudio (Cuadro 2). Además del fósforo total se determinó el fósforo fítico y el ácido fítico. Los análisis fueron realizados por el laboratorio de nutrición de la UNAM y en el laboratorio Danisco Animal Nutrition.
- Determinación de xantofilas totales, luteína y zeaxantina por Cromatografía Líquida de alta resolución (HPLC), realizada por la empresa PIVEG. En el Cuadro 3 se muestra la cantidad de xantofilas totales, la cual fue de 0.0256 g/kg o 25.6ppm, y de esta cantidad, el 23.26% corresponde a luteína y el 40.54% a zeaxantina.
- Medición de la coloración mediante el colorímetro de reflectancia Minolta CR-400. Para esta medición se tomaron 6 observaciones. Este procedimiento fue realizado en las instalaciones del CEIEPAv- FMVZ.UNAM. Los resultados que se

muestran en el Cuadro 3, indican un valor de luminosidad (L^*) de 58.59, de enrojecimiento (a^*) de 9.62 y de amarillamiento de 43.20 (b^*).

- Índice de Fluidez. La determinación se realizó en el laboratorio de Nutrición de la FMVZ- UNAM. El método empleado para este procedimiento se basó en la técnica de Medición del Índice de Fluidez y Angulo de Reposo (Anexo 1). Los resultados mostrados en el Cuadro 3, indican una fluidez calificada como excelente.

El estudio biológico se realizó mediante dos experimentos:

5.3 Experimento 1

Se llevó a cabo para conocer la biodisponibilidad de fósforo de una muestra de DDGSbg en relación al fosfato mono-dicálcico (FMD), para el pollo en crecimiento:

Animales

Se utilizaron 150 pollos machos de 7 a 21 días de edad, de la estirpe Ross 308. Los cuales fueron alimentados los primeros 7 días de edad con una dieta de iniciación, sorgo-pasta de soya, adecuada en nutrientes.

Tratamientos

Se empleó un diseño completamente al azar con 5 tratamientos, con 3 repeticiones de 10 aves cada una. El contenido de fósforo total de la muestra de DDGSbg, se empleó para el cálculo de la cantidad a utilizar de este ingrediente; así como también la del FMD, con la finalidad de cubrir el porcentaje de fósforo a evaluar (Cuadro 4).

Los tratamientos experimentales quedaron de la siguiente manera:

T1: Dieta basal sorgo-pasta de soya con 0.14% de fósforo disponible (Pi).

T2: Como 1 + 0.05% de fósforo inorgánico proporcionado por FMD.

T3: Como 1 + 0.1 % de fósforo inorgánico proporcionado por FMD.

T4: Como 1 + 0.05% de fósforo total a partir de una muestra de DDGSbg.

T5.-Como 1 + 0.1% de fósforo total a partir de una muestra de DDGSbg.

La dieta basal y su análisis calculado se muestran en el Cuadro 5. A expensas de la celulosa, se hicieron las suplementaciones de fósforo con FMD y DDGSbg.

Medición de parámetros

Se tomaron registros semanales a los 14 y 21 días, de ganancia de peso, consumo de alimento, consumo de fósforo y conversión alimenticia.

Toma y análisis de muestras

Al final del experimento, a los 21 días de edad, se seleccionaron 18 aves por tratamiento (6 por réplica) y se sacrificaron mediante la administración de pentobarbital sódico, vía intravenosa, de acuerdo a la normatividad del SICUAE-FMVZ ⁴⁴.

Después del sacrificio, se extrajeron las tibias para determinar el porcentaje de cenizas.

Análisis estadístico

Se analizaron los datos de ganancia de peso, consumo de alimento y eficiencia alimenticia, mediante un análisis de varianza. En caso de diferencias significativas estadísticas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos, se realizó la prueba de comparaciones múltiples, empleando la prueba de Tukey. De acuerdo al siguiente diseño:

$$Y = \mu + Z_i + E$$

Donde:

Y: Valor observado de la variable de respuesta en estudio. En este caso corresponde a ganancia de peso, consumo de alimento y eficiencia alimenticia.

μ : Efecto de la media general.

Z_i : Efecto del tratamiento.

E: Error experimental.

Con los resultados de consumo de fósforo y cenizas en tibias, se hizo una regresión lineal múltiple.

La biodisponibilidad de fósforo fue estimada por la metodología de comparación de pendientes, utilizando los datos de la determinación de cenizas en tibias como variable dependiente; y la variable consumo de fósforo a partir de FMD y DDGSbg, como variable independiente. La biodisponibilidad del fósforo de los DDGSbg, se obtuvo considerando a los resultados obtenidos del porcentaje de cenizas con FMD, como el 100%; con la ecuación de regresión adquirida, se multiplicó el valor de X_2 (correspondiente a los DDGSbg) por 100, y se dividió entre el valor de X_1 (FMD).

El análisis de regresión empleado se hizo conforme el siguiente modelo:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$$

Donde:

Y = Variable independiente o de respuesta (Cenizas en tibias).

β_0 = Ordenada al origen.

β_1 = Pendiente de la variable explicativa FMD.

X_1 = Valor de la variable explicativa FMD.

β_2 = Pendiente de la variable explicativa DDGSbg.

X_2 = Valor de la variable explicativa DDGSbg.

5.4 Experimento 2

Con el objetivo de evaluar, diferentes niveles de inclusión con DDGS bajo en grasa en dietas sorgo-soya para pollos de engorda en tres diferentes etapas de alimentación y su efecto en el rendimiento productivo, pigmentación de la piel y rendimiento de la canal, se llevó a cabo el siguiente experimento.

Animales

Se utilizaron 225 pollos de la estirpe Ross 308, mixtos (113 machos y 112 hembras) de 1 a 42 días de edad.

Tratamientos

Se empleó un diseño completamente al azar, con 3 tratamientos con 3 repeticiones de 25 pollos cada uno.

Los tratamientos fueron los siguientes:

T1: Dieta basal sorgo-pasta de soya.

T2: Como 1 con 6% de DDGSbg.

T3: Como 1 con 12% de DDGSbg.

Se emplearon 3 fases de alimentación: Iniciación (1-10 días de edad), Crecimiento (11-21 días de edad) y Finalización (22-42 días de edad).

Las dietas experimentales, y los análisis calculados de estas se muestran en los Cuadros 6 (Fase de iniciación), 7 (Fase de crecimiento) y 8 (Fase de finalización).

En la fase de finalización, a partir de los 22 días de edad, se adicionaron a las dietas, 70 ppm de pigmento natural amarillo, obtenido a partir de flor de Cempasúchil (*Tagetes erecta*). Basándose en el contenido de xantofilas totales en la muestra de DDGSbg, la dieta testigo contenía en total 70 ppm y 71.5 y 73.1 ppm, en las dietas con 6 y 12% de DDGS, respectivamente.

Medición de parámetros

Parámetros productivos

Se llevaron registros semanales de ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia y mortalidad.

Rendimiento en canal

A los 42 días de edad, se seleccionaron 12 aves por tratamiento (6 hembras y 6 machos), las cuales se identificaron, se pesaron y fueron sacrificados en el rastro del CEIEPAv de la FMVZ-UNAM siguiendo los lineamientos establecidos por el

SICUAE⁴⁴. Posteriormente se obtuvieron 12 canales (sin vísceras, cabeza, cuello, patas, plumas y sangre) por tratamiento y fueron pesadas, calculando así el rendimiento en canal.

Peso de grasa abdominal

Se llevo a cabo la extracción y el pesaje de la grasa abdominal de las 12 aves sacrificadas. Esta extracción, abarcó la grasa que cubre la molleja, pasando por toda la región abdominal, hasta la grasa que se encuentra alrededor de la cloaca.

Medición de pigmentación amarilla cutánea

Se realizaron mediciones semanales de la coloración amarilla cutánea en el pollo vivo, mediante el fotocolorímetro de reflectancia Minolta CR-400 en la zona aptérica lateral izquierda (región de la vena de la grasa de la pechuga); a partir de los 22 hasta los 42 días de edad. Además se realizó esta medición en la canal caliente, en la canal fría y en la grasa abdominal, a los 42 días de edad.

Cuantificación de xantofilas en el plasma

A los 42 días de edad se obtuvieron 3 ml de sangre de 8 aves (4 machos y 4 hembras) por tratamiento, mediante punción de la vena radial con jeringas estériles (23 G X 25 mm), utilizando EDTA (etilendiaminotetracetato) al 2% como anticoagulante. Las muestras se mantuvieron en refrigeración y protegidas de la luz, hasta la determinación de xantofilas en plasma mediante la técnica de Allen (1987)⁴⁵. Esta técnica esta descrita en el Anexo 2.

Análisis estadístico

Se realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA) de las variables de respuesta de peso promedio, ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia y mortalidad; así como de pigmentación en el pollo vivo a los 21 días de edad. En caso de diferencia significativa estadística ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, se realizó la prueba de comparaciones múltiples, empleando la prueba de Tukey. De acuerdo al siguiente diseño:

$$Y = \mu + Z_i + E$$

Donde:

Y: Valor observado de la variable de respuesta en estudio. En este caso corresponde a peso promedio, ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, mortalidad.

μ : Efecto de la media general.

Z_i : Efecto del tratamiento.

E: Error experimental.

Para los datos de pigmentación cutánea amarilla a los 28, 35 y 42 días en el pollo vivo, canal caliente y fría, y grasa abdominal; así como para rendimiento en canal, peso de la grasa abdominal y de cuantificación de xantofilas en plasma, se utilizó un diseño completamente al azar con factorial 3 X 2; donde el primer factor fue el nivel de inclusión de cada muestra de DDGSbg (0, 6 y 12 %), y el segundo factor fue el sexo (macho y hembra). De acuerdo al siguiente modelo:

$$Y = \mu + \alpha + \beta + \alpha\beta + E$$

Donde:

Y: Valor observado de la variable de respuesta en estudio. En este caso corresponde a la pigmentación cutánea amarilla a los 21, 28, 35 y 42 días, en canal caliente, fría y grasa abdominal; rendimiento en canal, peso de la grasa abdominal y xantofilas en plasma.

μ : Efecto de la media general.

α : Efecto del factor nivel de inclusión de DDGSbg

β : Efecto del factor sexo.

$\alpha\beta$: Efecto de interacción del factor nivel de inclusión de DDGS bg y el factor sexo.

E: Error experimental.

Además para los resultados de pigmentación cutánea amarilla en canal caliente, en canal fría y en grasa abdominal; Se realizó un análisis de regresión simple. La eficiencia pigmentante de los DDGSbg, fue estimada mediante la pendiente obtenida en el modelo, utilizando los datos de canal caliente, en canal fría y en grasa abdominal como variables dependientes; y la variable nivel de xantofilas en el alimento como variable independiente. De acuerdo al siguiente modelo:

$$Y = \alpha + \beta X$$

Donde:

Y= Variable dependiente o de respuesta (pigmentación en canal caliente, en canal fría y en grasa abdominal)

α = Ordenada al origen.

β = Pendiente de la variable explicativa: Consumo de xantofilas por el ave.

X= Valor de la variable explicativa: Consumo de xantofilas por el ave.

Los resultados obtenidos tanto en el Experimento 1 como en el 2, fueron analizados mediante el paquete estadístico SPSS, versión 17⁴⁶.

RESULTADOS

Experimento 1

En el Cuadro 9 se muestran los datos de 7 a 21 días de edad, obtenidos de consumo de fósforo, ganancia de peso, consumo de alimento, eficiencia alimenticia y de cenizas en tibias. 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% de fósforo a partir de FMD y DDGSbg.

Para consumo de fósforo y porcentaje de cenizas en tibias (Cuadro 9) hubo diferencias ($P < 0.05$) entre tratamientos, de igual manera al incrementar el consumo de fósforo a partir de FMD o DDGSbg en la dieta, se vieron aumentados estos dos parámetros evaluados.

En la Figura 2 se muestra la ecuación ($Y = 27.236 + 0.007X_1 + 0.006X_2$) y el comportamiento del análisis de regresión lineal múltiple. En los resultados para la variable de respuesta porcentaje de cenizas en tibias y la variable explicativa consumo de fósforo a partir de FMD (X_1) y a partir de DDGSbg (X_2), se puede apreciar, mediante la comparación de pendientes, una biodisponibilidad de fósforo en los DDGSbg de 85.7%, en relación al FMD, considerado como el 100%.

Experimento 2

Parámetros productivos: En los Cuadros 10, 11 y 12 se muestran los resultados obtenidos de los parámetros productivos, en la fase de iniciación, crecimiento y finalización. Se observa que en las tres fases, los parámetros productivos peso promedio, ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia no fueron diferentes ($P < 0.05$) entre tratamientos.

En el Cuadro 13 se muestran los resultados de los parámetros productivos obtenidos a los 42 días de edad, donde se aprecia que no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos. Aunque cabe mencionar que en el tratamiento

testigo, sin inclusión de DDGSbg, se obtuvieron mejores resultados numéricos en cuanto a ganancia de peso, peso promedio final y conversión alimenticia.

Rendimiento en canal. En el Cuadro 14, se observan los resultados del rendimiento en canal, considerando los dos factores (nivel de inclusión de DDGSbg y sexo); donde se observa que no hubo diferencias en cada uno de los parámetros, ni en la interacción ($P < 0.05$) entre ellos.

Peso de la grasa abdominal: Los datos obtenidos del peso de la grasa abdominal se muestran en el Cuadro 14. No se encontraron diferencias ($P < 0.05$) entre parámetros, ni efecto en la interacción entre ellos.

Pigmentación amarilla:

Pollo vivo: En el Cuadro 15, se muestra la pigmentación cutánea amarilla a los 28, 35 y 42 días de edad. Se observa que no hubo efecto de interacción entre los factores a ninguna edad. En el caso del nivel de inclusión de los DDGSbg no se detectaron diferencias ($P < 0.05$) entre tratamientos, a los 28 días de edad; pero si a los 35 y 42 días de edad; presentándose valores menores en el tratamiento sin inclusión de DDGS. En el caso del sexo, las hembras obtuvieron una mejor pigmentación ($P < 0.05$) amarilla a las 35 y 42 días de edad. En la Figura 3 se muestra, como aumentó la pigmentación cutánea amarilla de los 22 a los 42 días de edad en todos los tratamientos; también se pueden apreciar mayores valores de amarillamiento con DDGSbg, a partir del día 35 de edad ($P < 0.05$).

Canal caliente: Se observa en el Cuadro 16, un efecto significativo ($P < 0.05$) en el factor inclusión, donde con 6% de DDGSbg, se obtuvo una mayor pigmentación en la canal caliente. En el caso del factor sexo y de la interacción entre estos dos factores, no se observó efecto. Existió linealidad ($P < 0.05$) entre el nivel de xantofilas proporcionadas en el alimento y el amarillamiento obtenido en la canal caliente. Con base en los valores de amarillos (b^*), del 105.2% y del 110.3% en los tratamientos con 6 y 12% de DDGSbg. Tomando como valor de referencia el obtenido en el tratamiento testigo, con el 100% de biodisponibilidad (Figura 4).

Canal fría: En el Cuadro 16 se muestra que no se detectó efecto ($P < 0.05$) sobre el amarillamiento de la canal fría, tanto de parte del tratamiento, del sexo y de la interacción entre los dos factores. Sin embargo se observó linealidad ($P < 0.05$), como se muestra en la Figura 5, en la variable de respuesta. Los valores estimados indican una eficiencia pigmentante de 104.1% con 6% de DDGSbg, y de 108.1% con 12% de estos mismos.

En la Figura 6 se observa la pigmentación amarilla en piel en el pollo vivo, en la canal caliente y en la canal fría, usando los tres niveles de inclusión de DDGSbg. Aquí se observa un aumento lineal de amarillamiento durante el procesamiento del pollo, pues la coloración en el pollo vivo aumenta en la canal caliente y posteriormente en la fría; así como la diferencia de esta pigmentación entre los diferentes niveles de inclusión de DDGSbg.

Grasa abdominal: Los datos obtenidos de coloración amarilla en la grasa abdominal, indicaron un efecto lineal en el factor tratamiento. En la Figura 7, se ve una eficiencia pigmentante con base en los valores de amarillamiento del 111.4 y de 122.5%, con 6 y 12% de DDGSbg.

Xantofilas Totales en plasma: Los resultados obtenidos de xantofilas totales en plasma de pollos de 42 días de edad se muestran en el Cuadro 17. No se observó efecto de interacción ($P < 0.05$) entre los factores sexo y nivel de inclusión de DDGSbg. Es decir que no hay efecto del sexo en la respuesta dada por cada nivel de inclusión de DDGSbg.

Del mismo modo no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) entre los niveles de inclusión (0, 6 y 12%) de DDGSbg y entre sexos.

Mortalidad acumulada: La mortalidad acumulada a los 42 días de edad no fue diferente ($P < 0.05$) en los tres niveles de inclusión de DDGSbg. Aunque cabe mencionar que fue mayor en el Tratamiento 1, sin inclusión de DDGSbg, ($6.92 \pm 4.72\%$) y menor con 12% de inclusión de estos ($3.8 \pm 2.13\%$).

DISCUSIÓN

La cantidad de extracto etéreo que contiene la muestra de DDGS en estudio, la ubica dentro del rango contenido en los DDGS bajos en grasa o en aceite, consecuentemente a esto la cantidad de Energía bruta también disminuye y la de Proteína aumenta (4004 y 27.4, respectivamente). Estos valores son similares a los reportados por Guney et al. (2013)²⁷, quienes reportaron valores de extracto etéreo en dos muestras de DDGSbg, de 7.52 y 6.74%. Sin embargo esta pequeña variabilidad en los datos puede deberse a la cantidad de grasa que contienen tanto el grano original, como los DDGS a los que se le extrae el aceite. También puede deberse a las condiciones del proceso de extracción a la que es la sometida la muestra. Majoni et al. (2011)⁴⁷ mencionan que la cantidad de aceite extraído va depender de algunos factores como son la temperatura, el pH y el uso de solventes. Obteniendo así en su estudio, una extracción mayor de aceite, utilizando en el proceso, una temperatura de alrededor de 60°C, a un pH de 3 o 4 y usando butanol como solvente

En cuanto al valor de xantofilas totales encontradas en la muestra en estudio, se observa que son ligeramente mayores a las presentes en el maíz amarillo (20ppm). Esto es debido a la sensibilidad que tienen estos carotenoides a altas temperaturas, mismas que son utilizadas en el secado y en el proceso de extracción de aceite (Winkler y Vaughn, 2009; Moreau 2010)^{36,33}. También se debe a la temperatura de almacenamiento de los DDGS. Soteno et al. (2003)⁴⁸ mencionan que con temperaturas altas, la concentración de xantofilas disminuye; obteniendo en su estudio una pérdida de 2.4 ppm en un periodo de 2 meses de almacenamiento. Sin embargo esta pérdida de carotenoides puede ser menos desacelerada con un almacenamiento bajo condiciones de refrigeración (temperatura de 4°C) o bien a la adición de antioxidantes (Jintasataporn y Yoangsoi, 2012)⁴⁹.

Los valores de color presentados, obtenidos apartir de la medición con el colorímetro de reflectancia Minolta CR400, indican que la cantidad de grasa está vinculada con el color de la muestra. Ya que el valor de luminosidad (L*) disminuyó

en la muestra con un porcentaje de grasa bajo, contrario a lo que sucede con los valores de amarillamiento (b^*) y enrojecimiento (a^*), los cuales presentaron valores más altos, al disminuir la cantidad de grasa en la muestra de DDGSbg. Al analizar diversas muestras de DDGS, Pekel et al. (2013)⁵⁰ encontraron resultados similares a los encontrados en este estudio. Donde observaron una correlación positiva entre la cantidad de grasa y la luminosidad. Sin embargo en el caso del amarillamiento, estos autores encontraron resultados diferentes, pues al igual que en la luminosidad, el amarillamiento aumentó conforme aumento la grasa de las muestras. Estos autores también relacionaron el color de la muestra con la cantidad de proteína y cenizas; disminuyendo la proteína, conforme aumenta el amarillamiento de la muestra, y aumentando el contenido de fósforo conforme aumenta el enrojecimiento de la muestra. En el caso de la digestibilidad de aminoácidos, diversos estudios (Pham et al, 2009; Batal y Dale, 2006)^{51,52} relacionan esta, con el color de las muestras, asociando así un color más oscuro de la muestra (con menos luminosidad), con la presencia de lisina poco digestible. Batal y Dale (2006)⁵² reportan que valores altos de luminosidad (mayores a 60.3) y de amarillos (mayores a 25.9) son asociados a 0.66% de lisina digestible. Mientras que valores menores (50.4 y 7.41, de luminosidad y amarillos, respectivamente) son asociados a 0.18 de lisina digestible.

Los datos obtenidos de fluidez indicaron que la muestra de DDGSbg utilizada en el presente estudio, tiene un índice de fluidez excelente. Característica que facilita el manejo, almacenamiento y transporte de estos ingredientes.

La extracción de grasa en estos ingredientes influye para que la muestra se encuentre en esta categoría, pues una alta cantidad de grasa hace que la fluidez de los ingredientes disminuya y por el contrario aumente la cohesión entre las partículas del ingrediente (Ganesan et al, 2008; Saunders y Rosentrater, 2009)^{17,32}.

Experimento 1

Los resultados de ganancia de peso y porcentaje de cenizas en tibias indicaron una relación lineal ($P < 0.05$) con el consumo de fósforo, pues al incrementar este último a partir de FMD o bien a partir de DDGSbg en la dieta, se observó un aumento de los parámetros. Mostrando así que al incluir los DDGSbg, con un porcentaje de fósforo disponible de 71.3 (obtenido por cálculo), en la dieta como fuente de fósforo, la respuesta fue favorable, siendo parecida a la obtenida con los mismos porcentajes de fósforo, a partir de FMD.

Valores similares de cenizas en tibias fueron encontrados por Martínez et al. (2004)³⁰, a partir de fosfato mono-potásico (KH_2PO_4) y de DDGS convencionales. De la misma manera otros autores han reportado resultados similares con la inclusión en dietas maíz-soya suplementadas con 0.05 y 0.1% de fósforo a partir de DDGS convencionales, con un porcentaje de grasa en promedio del 10% (Lumpkins y Batal 2005; Martínez et al, 2007; Martinez et al, 2006)^{42,23,31}.

En la comparación de pendientes de la variable de respuesta cenizas en tibias, la biodisponibilidad de fósforo fue alta. Esto es debido a que el 80% del fósforo total del organismo es depositado en el tejido óseo; donde, entre otras funciones, participa en la formación, mantenimiento y cambios en su estructura (Suttle, 2010)⁵³. Dándole así al hueso características como dureza y resistencia ósea.

Además cabe mencionar que al disminuir los niveles de calcio y fósforo en la dieta (Frost y Roland, 1991; Powell et al, 2008)^{54,55} o bien sólo de fósforo (Lima et al, 1997; Shaw et al, 2010)^{56,57}, disminuye la resistencia a la rotura y porcentaje de cenizas en tibias. En el presente estudio el fósforo fue modificado, suplementado con FMD y DDGSbg, pero en el caso del calcio no fue modificado y la respuesta obtenida por la inclusión de DDGSbg, fue favorable, siendo muy cercana a la obtenida por FMD.

La biodisponibilidad de fósforo encontrada en este estudio con una muestra de DDGSbg es muy similar a la reportada por otros autores que utilizaron DDGS convencionales. Lo que nos hace deducir que la extracción de aceite en estos ingredientes no afecta la biodisponibilidad de fósforo, y por lo tanto la cantidad de

fósforo fitico presente en los DDGSbg tampoco es modificada. Kim et al. (2008)⁵⁷ compararon la biodisponibilidad de tres subproductos del maíz (DDGS convencionales, DDGS altos en proteína y germen de maíz); donde observaron biodisponibilidades de fósforo similares entre los DDGS convencionales y los DDGS altos en proteína. Lo que afirma que la extracción de grasa no afecta la biodisponibilidad de fósforo; pues aunque los DDGS altos en proteína, son productos diferentes a los utilizados en el estudio, también son sometidos a una extracción de aceite, más extensa, para así obtener productos con un alto valor proteico.

Experimento 2

La inclusión de 6 y 12% DDGSbg no afectó el rendimiento productivo, en cuanto a ganancia de peso, consumo y conversión alimenticia, de los pollos de 0 a 42 días de edad.

Resultados similares fueron obtenidos por Guney et al. (2013)²⁷, quienes al incluir 10% de DDGS bg, el rendimiento productivo en pollos Cobb 500 alimentados con dietas maíz-pasta de soya, durante 18 días, no fue afectado. Otros autores (Lumpkins et al, 2004; Shim et al, 2011; Cortes et al, 2012)^{59,38,60} mencionan que al incluir hasta 15% de DDGS convencionales (con un porcentaje promedio de grasa del 10%) no se afecta el rendimiento productivo.

En cambio al incluir más del 14 o 15% de DDGS convencionales en la dieta de las aves se presenta un efecto cuadrático en la ganancia de peso; es decir que esta comienza a bajar cuando se sobrepasa dicho porcentaje (Cortés et al, 2012)⁶⁰. Este efecto es debido a un posible desbalance en el perfil de aminoácidos, pues al aumentar los DDGS en la dieta, otros ingredientes con un mejor perfil de aminoácidos, como la pasta de soya, bajan su inclusión.

El rendimiento en canal no disminuyó al incluir en la dieta 6 y 12% de DDGS bg. Loar et al. (2012)⁶¹ observaron que el rendimiento en canal disminuye con la una inclusión mayor al 14% de DDGS convencionales en la etapa de finalización.

En cambio en otros estudios se han encontrado resultados similares. Por ejemplo, Lu y Chen (2005)⁶² encontraron que al incluir 10 y 20% de DDGS convencionales en dietas maíz-soya, no se afecta el rendimiento en la canal. En cambio, Kimura (2007)⁶³ menciona que al incluir DDGS en la dieta de pollos de engorda es mas alto el rendimiento en la canal. Esto puede estar influenciado por la cantidad de proteína en la dieta, ya que al aumentar esta, el rendimiento también aumenta; aunque en el caso de nuestro estudio, la proteína fue la misma en las tres dietas experimentales.

Los resultados del peso de la grasa abdominal indican que la inclusión de DDGS bg no disminuye o aumenta la cantidad de grasa en la canal, pese a que estos ingredientes contienen menos grasa. Estos resultados son similares a los encontrados por Kimura (2007)⁶³, el cual tampoco encontró diferencia en el peso de la grasa abdominal, entre los tratamientos con y sin DDGS. En cambio los resultados obtenidos por Guney et al. (2013)²⁷ son contrarios a los observados en nuestro estudio; ya que estos autores encontraron que al incluir 20% de DDGS bajos en aceite, el peso de la grasa abdominal aumenta. En este estudio se menciona que esto puede ser debido a un desbalance ácido que ocurre cuando se alimenta con altos porcentajes de DDGS.

Además en el presente estudio no se observó más grasa abdominal en las hembras que los machos. Contrario a estos datos, fueron encontrados por Shim et al. (2011)³⁸, donde las hembras, presentaron más grasa abdominal que los machos; ambos alimentados con DDGS convencionales.

La pigmentación cutánea amarilla de los pollos de los 0.a los 21 días, obtenida mediante la inclusión de 6 y 12% de DDGSbg no fue diferente entre tratamientos; aunque el tratamiento sin inclusión de estos, obtuvo una menor coloración amarilla comparada con los tratamientos con la inclusión de DDGSbg. Después de suplementar con pigmento amarillo (*Tagetes erecta*), a partir de los 21 días, se presentó un efecto en el amarillamiento de la piel a los 42 días de edad, 21 días después de comenzar a suplementar con pigmento la dieta. Esto se puede explicar por el tiempo en que le toma al ave en producir un color deseable en piel, el cual es de alrededor de 3 o 4 semanas (Cuca et al, 2009)⁵, y que entre más edad

tenga, mas pigmento se va depositar. Sin embargo, cabe mencionar que la oxidación de las xantofilas en el organismo de las aves es mayor, a medida que aumenta la edad (Martínez, 2003)⁶⁴. Por lo que en la industria avícola se suplementa con pigmento, hasta 3 o 4 semanas antes del sacrificio o en la etapa de finalización, como fue en el caso de nuestro estudio. Por lo tanto la diferencia entre los tratamientos con y sin inclusión DDGS se detectó hasta la quinta semana de edad, cuando la acumulación de pigmento dada tanto por los DDGSbg, como por el pigmento, fue mayor. Otro aspecto que pudo haber influido en este hecho, es el que el pigmento suplementado en la etapa de finalización, es un producto elaborado a partir de extracto natural saponificado de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*); ya que se menciona que un producto saponificado tiene una mejor eficiencia pigmentante y esto es debido a la madurez digestiva del pollo, el cual no tiene suficiente cantidad de lipasas y ácidos biliares para digerir las xantofilas de su forma diéster a su forma libre, sino hasta las 8 semanas de vida (Piraces y Cortés, 1991)⁶⁵. Por lo que al suplementar el producto, la capacidad pigmentante de este, adicionada a la de los DDGSbg, se haya reflejado con más intensidad, depositándose de manera más eficiente.

Cabe mencionar que la Energía Metabolizable contenida en la dieta durante la fase de iniciación y de crecimiento (3025 y 3150 kcal/kg, respectivamente) fue menor a la contenida durante la fase de finalización (3200 kcal/kg), hecho que pudo influir en una mejor deposición de xantofilas durante la última fase de finalización. Pues se reporta que entre más energía metabolizable contenga una ración, la deposición de pigmentos es mejor (Cuca et al, 2009; Conn et al, 1981; Brown y McCartney, 1982)^{5,66,67}.

Además de haber influido la inclusión de DDGSbg en la coloración amarilla en piel a los 42 días de edad en el pollo vivo, también lo hizo en la canal caliente. Presentándose así una relación lineal entre el consumo de xantofilas del ave, dadas por los DDGSbg durante la fase de iniciación y crecimiento; y por los DDGSbg y el pigmento amarillo, en la fase de finalización. Teniendo que con un consumo de xantofilas de 272.4 mg/pollo se obtiene un amarillamiento (b*) de 30.10, en el

tratamiento con inclusión de 6% de DDGS y 1.5 y 71.5ppm en la dieta de iniciación y crecimiento, y de finalización, respectivamente. Con la inclusión de 12% de DDGSbg, donde la dieta contiene 3.1 y 73.1 ppm de pigmento, en iniciación y crecimiento, y finalización, respectivamente, se obtiene un consumo de 278.7 mg/pollo, lo que da un valor de b^* de 31.57. Mediante la comparación con el tratamiento testigo, sin inclusión de DDGSbg, donde el nivel de xantofilas en la dieta es de 0 en etapa de iniciación y crecimiento y de 70ppm en la etapa de finalización y el consumo de xantofilas por ave es de 260.2 mg, se tomó como el 100% de eficiencia pigmentante; y que por lo tanto la inclusión de 6% DDGS tiene una eficiencia de 105.2% y el 12% de DDGS de 110.3%: Lo que nos indica que al incluir los DDGSbg en un 6 y 12%, la pigmentación aumentará 5.2 y 10.3%, respectivamente. Gracias a estos resultados se observa que el amarillamiento en la canal caliente aumenta conforme se incrementa el nivel de inclusión de los DDGSbg, por lo que la biodisponibilidad de xantofilas de estos ingredientes es buena, pues la deposición de pigmento amarillo en la canal caliente en los tratamientos con estos ingredientes también lo fue.

De la misma manera se observó un efecto lineal en el amarillamiento de la canal fría y de la grasa abdominal. Teniendo así en la canal fría que con 6% de DDGS el amarillamiento obtenido fue de 38.47 y con 12 % de estos fue de 40. Al compararlo con el tratamiento testigo se tiene una biodisponibilidad del 104.1% y de 108.1% con la inclusión del 6 y 12% de DDGSbg; aumentando 4.1% con la inclusión de 6% y 8.1% con 12% de dichos ingredientes. En este caso el aumento en la coloración amarilla por parte de la inclusión de los DDGS bg fue menor al obtenido en la canal caliente (4.1 vs 5.2% con 6% de DDGSbg; y 8.1% vs 10.3% con 12% de DDGSbg), pero la diferencia entre ambas es mínima; y esto es porque el proceso de refrigeración solo aumentó en la canal 8 unidades de amarillamiento (UA).

Cabe mencionar que para el mercado mexicano el valor mínimo de amarillamiento en la canal es de 41 UA con la suplementación de 80 ppm en la etapa de finalización, que abarca generalmente de 21 a 49 días (Martínez et al, 2004)⁶⁸. En nuestro estudio nos ubicamos alrededor del valor de referencia (de 36.96 a 40 UA).

Sin embargo la suplementación fue de 70 ppm del pigmento amarillo más el aporte de los DDGS (1.5 y 3.1 ppm, para 6 y 12% de inclusión, respectivamente) dando como máximo una inclusión, por parte del tratamiento con 12% de DDGS, de 73.1 ppm. Además el estudio se realizó hasta los 42 días de edad solamente, lo que disminuye el tiempo de acumulación y deposición de las xantofilas. Por lo cual los valores se podrían considerar adecuados para las preferencias del mercado mexicano, tomando en cuenta que con 7 días más de inclusión, la deposición de pigmento será mejor.

Resultados similares se encontraron en diversos estudios; donde al incluir DDGS convencionales en la dieta las UA aumentaron. Min et al. (2012)⁶⁹ encontraron que al incluir 20% de DDGS convencionales, el valor de b* aumenta. Similar los resultados de este estudio, fueron los obtenidos por Lu y Chen (2005)⁶², los cuales observaron que al incluir 20% de DDGS convencionales (con 20.11 ppm de xantofilas totales) más un pigmento artificial (con una concentración de xantofilas de 10 g/kg), del cual se proporcionó la mitad de la dosis recomendada; el amarillamiento en la canal fue superior al obtenido en los demás tratamientos con 0 y 10% de inclusión de DDGS, y con o sin pigmento artificial. En el presente estudio también se suplementó con un pigmento amarillo, pero la dosis suministrada fue superior a la mitad, contrario a estos datos fueron los observados por Kimura (2007), ya que observó un efecto decreciente en los valores de amarillos (b*) en la canal, con la inclusión de DDGS convencionales (con 10.5% de grasa); sin embargo en el color de la grasa abdominal el efecto fue contrario, pues las UA aumentaron conforme aumentó la inclusión de DDGS.

Estos autores, en cambio, no encontraron algún efecto al incluir 0 y 8% de DDGS (Corzo et al, 2009)⁷⁰ y 6, 12, 18 y 24% (Schilling et al, 2010)³⁷ de DDGS, ambos convencionales, en el amarillamiento de la canal.

Esta variación en los resultados reportados entre los diversos autores y los obtenidos en el presente estudio, se puede atribuir, principalmente a la cantidad de xantofilas que poseen las muestras de DDGS, ya que como se mencionó existe una amplia variabilidad en la composición de estos ingredientes, entre los que se

encuentran las xantofilas. También se debe tomar en cuenta el consumo de alimento y por consiguiente de xantofilas de parte de los animales utilizados en cada estudio.

En el caso de la grasa abdominal también se observó un efecto lineal en el amarillamiento (b^*) de esta. Obteniendo con 6% de DDGS y un nivel xantofilas en la dieta de 71.5 ppm en la fase de finalización, una eficiencia pigmentante de 111.4%; y con 12% de DDGS y 73.1ppm en la dieta, de 122.5%. Obteniendo así un aumento de 11.4% con la inclusión de 6% de estos ingredientes; y 22.5% con 12% de los mismos. Lu y Chen (2005)⁶² también encontraron un efecto lineal en el amarillamiento de la grasa abdominal con la inclusión de DDGS; aumentando el color de esta hasta 20% con la inclusión de 10% de estos ingredientes y 67% con la inclusión del 20% de los mismos.

Se pudo observar que el aumento del amarillamiento en la grasa abdominal fue mayor que en la canal fría y en la caliente; y esto es debido a que el tejido adiposo posee una alta afinidad a los carotenoides. Además se observó que conforme aumenta la pigmentación en la canal, aumenta la pigmentación amarilla de la grasa abdominal.

La hembra deposita mayor cantidad de grasa abdominal que el macho y por lo tanto la coloración amarilla también es mayor en la hembra; esto es debido a que las xantofilas al ser sustancias liposolubles tienen una alta afinidad por tejido adiposo (Tycycowsky y Hamilton, 1986; Juárez, 2002; Castañeda et al, 2005)^{71,72,73}. También Hudon (1994)⁷⁴ sugiere que esta diferencia entre sexos en la pigmentación puede deberse a la presencia de hormonas sexuales femeninas.

La cuantificación de xantofilas totales en plasma, fue otro factor que se tomó en cuenta para determinar el efecto de los DDGSbg en la deposición de pigmento. Pero los datos obtenidos no mostraron algún efecto en la cantidad de xantofilas totales en plasma, ante la inclusión de DDGSbg; así como tampoco influyó el sexo. Sin embargo hubo una tendencia numérica a aumentar la cantidad de xantofilas, al aumentar la inclusión de DDGSbg.

No se encontraron estudios donde se realice la cuantificación de xantofilas en plasma a partir de DDGS, tanto convencionales como bajos en grasa. Sin embargo existen estudios (Texeira y Meleiro, 2008)⁷⁵ donde han utilizado maíz amarillo, del cual como se mencionó anteriormente, deriva la muestra de DDGSbg utilizados en este estudio. Donde los autores encontraron niveles plasmáticos de 3.55 $\mu\text{g/mL}$ de zeaxantina. En el presente estudio se encontraron valores mucho mayores a los obtenidos por estos autores (64.85 y 67.22 $\mu\text{g/mL}$) con la inclusión de pigmento amarillo (*Tagetes erecta*) y 6 y 12% de DDGS, tomando en cuenta que aquí se realizó la cuantificación de xantofilas totales y en el caso de el estudio de Texeira, fue solo de zeaxantina.

Los valores de carotenoides en plasma van a depender de diversos factores entre los que se involucran el tiempo y cantidad de consumo, el nivel de xantofilas en la dieta e incluso de la técnica utilizada para su cuantificación. Texeira y Meleiro (2008) indican que los valores de carotenoides en plasma, pueden ser alterados por el solvente utilizado en la técnica empleada.

En cuanto al tiempo de consumo se reporta que después de 1 semana de consumo, los carotenoides aumentan de 0.5 a 2.8 $\mu\text{mol/L}$ en pollos alimentados con luteína libre y esterificada; siendo mayor el aumento en el caso de la luteína y menor el de la zeaxantina (Breithaupt, 2003)⁷⁶. Sin embargo al realizar solamente el análisis al final del experimento, a los 42 días de edad, no se logró determinar si los niveles plasmáticos de xantofilas cambiaron al incluir los DDGSbg en la dieta.

CONCLUSIONES

Con base con los resultados obtenidos en el presente estudio en ambos experimentos, se puede concluir:

1. La biodisponibilidad de fósforo en la muestra de DDGSbg fue alta en relación a Fósforo mono-dicálcico, con un valor de 85.7%. Lo que indica que es una fuente de fósforo disponible para las aves.
2. La extracción del aceite, no afectó la biodisponibilidad de fósforo en los DDGSbg, al obtener datos similares a los reportados en estudios con DDGS convencionales
3. El rendimiento productivo y en canal, en pollos de engorda alimentados con dietas sorgo-soya, suplementadas con 6 y 12% de DDGSbg, no fue afectado.
4. La cantidad de grasa contenida en los DDGSbg, no influyó en la cantidad de grasa abdominal, presente en el ave.
5. La inclusión de 6 y 12% de DDGSbg, por su contenido de luteína y zeaxantina, mejoró la eficiencia pigmentante en la canal caliente, canal fría y en la grasa abdominal; en 4 hasta 23%.

CUADROS

Cuadro 1: Composición química de los DDGS citada por diversos autores.

Nutriente	*FEDNA (2012) ²⁵	* Waldroup et al.(2007) ²⁶	**Rochelle (2011) ¹²	**Guney (2013) ²⁷
EM (kcal/kg)	2310	2845	2146	2940
Proteína (%)	25	26.4	34.7	27.8
Extracto etéreo (%)	9.3	10.1	3.15	7.52
Fibra cruda (%)	7.8	6.7	8.69	6.29
Metionina dig. (%)	0.45	0.43	+NI	+NI
Cistina dig.(%)	+NI	0.42	+NI	+NI
Treonina dig. (%)	0.89	0.72	+NI	+NI
Triptofano dig. (%)	0.19	0.18	+NI	+NI
Fenilalanina dig. (%)	+NI	1.15	+NI	+NI
Leucina dig. (%)	+NI	2.70	+NI	+NI
Isoleucina dig. (%)	0.93	0.78	+NI	+NI
Calcio (%)	0.07	0.07	+NI	+NI
Fósforo Total (%)	0.78	0.77	+NI	+NI
Fósforo disponible (%)	0.52	0.48	+NI	+NI

*Datos de DDGS convencionales.

**Datos de DDGS bajos en grasa.

+NI:No hay información disponible en la fuente.

Cuadro 2: Composición nutrimental de la muestra de DDGSbg en estudio.

NUTRIENTES	%
Proteína Cruda	27.40
Energía bruta (kcal/kg)	4004
Fibra Cruda	8.43
Extracto etéreo	5.39
Metionina	0.57
Cistina	0.49
Treonina	0.96
Triptofano	0.24
Fenilalanina	1.34
Leucina	3.34
Isoleucina	1.08
Calcio	0.05
Fósforo Total	0.94
Ácido fítico	1.11
Fósforo fítico	0.31

Cuadro 3: Contenido de xantofilas, coloración y fluidez, de la muestra de DDGSbg

Determinación por HPLC	
<i>Xantofilas totales (g/kg)</i>	0.0256
<i>Luteína (%)</i>	23.2652
<i>Zeaxantina (%)</i>	40.5438
Determinación del color con colorímetro Minolta	
<i>a*</i>	9.62 ± 0.31
<i>b*</i>	43.20 ± 0.77
<i>L*</i>	58.59 ± 0.79
Fluidez	
<i>Valor de la fluidez</i>	200
<i>Categoría Fluidez</i>	Excelente

Cuadro 4: Contenido de Fósforo (total, fítico y disponible) de los principales ingredientes utilizados en las dietas experimentales del Experimento 1.

INGREDIENTE	FÓSFORO TOTAL (%)	ÁCIDO FÍTICO	FÓSFORO FÍTICO	% ÁCIDO FÍTICO	FÓSFORO DISPONIBLE
Sorgo	0.35	0.84	0.23	28	0.12
Pasta de soya	0.7	1.63	0.46	28.3	0.24
FMD	18.98	-----	-----	-----	18.98
DDGSbg	0.94	1.11	0.31	28	0.67

Cuadro 5: Composición de la dieta basal y su análisis calculado para pollos de 7 a 21 días de edad (Experimento 1).

Ingredientes	(%)
Sorgo	38.02
Pasta de Soya	38.72
Aceite de soya	8.00
Carbonato calcio	2.50
Celulosa	11.60
Sal	0.38
DL-metionina 99%	0.31
L-Lisina HCl	0.15
*Premezcla vitaminas	0.10
*Premezcla minerales	0.10
Cloruro de colina 60%	0.10
Bacitracina Zinc [†]	0.05
Antioxidante ^{††}	0.02
Total	100
Análisis Calculado	
Proteína Cruda (%)	22.00
EM (Kcal/kg)	3000
Grasa Cruda (%)	5.05
Lisina dig (%)	1.25
Met+Cist dig (%)	0.92
Calcio (%)	1.00
Fosforo disponible (%)	0.14

*La mezcla proporciona por kg. Vitamina A, 40, 000 MIOU; Vitamina D3, 8000 MIOU; Vitamina E, 40000g; Vitamina K 310000 g; Vitamina B1 4000g; Vitamina B2 20000g; Vitamina B12 60000 mg; Ácido fólico 1200 g; Acido Pantotenico 32000 g; Niacina 100000 g; Calcio 149524 g; Excipiente cbp. 100,000.

** La mezcla proporciona por Kg: Selenio, 0.4 g; Cobalto, 0.2 g; Yodo, 0.7 g; Cobre, 12.0 g; Zinc, 100.0 g; Manganeso, 120.0g; Excipiente cbp, 100.0g.

[†]BMD 11%: Antibiotico promotor del crecimiento.

^{††}BHT (1.2%), BHA (9.0%) y Etoxiquin (4.8%).

Cuadro 6: Composición de las dietas experimentales en la fase de iniciación (0-10 días) del Experimento 2.

Ingrediente	Tx 1 Testigo (%)	Tx2 6% DDGSbg (%)	Tx3 12% DDGSbg (%)
Sorgo	55.73	52.38	49.03
Pasta de soya	36.57	33.66	30.75
DDGSbg	0.00	6.00	12.00
Aceite de soya	3.13	3.39	3.67
Ortofosfato	2.01	1.85	1.70
Carbonato de Ca	1.34	1.43	1.53
Sal	0.38	0.38	0.39
L-Lisina HCl	0.21	0.27	0.33
DL-Metionina 99%	0.32	0.32	0.31
Cloruro de Colina 60%	0.10	0.10	0.10
*Premezcla de Vitaminas	0.10	0.10	0.10
**Premezcla de Minerales	0.05	0.05	0.05
Bacitracina zinc[†]	0.03	0.03	0.03
Antioxidante^{††}	0.01	0.01	0.01
Total	100	100	100
Análisis Calculado			
EM (Kcal/Kg)		3025	
Proteína Cruda (%)		23.00	
Met+ Cist dig.(%)		0.94	
Lisina dig.(%)		1.27	
Calcio Total (%)		1.05	
Fósforo Disponible (%)		0.50	

*La premezcla proporciona por kg. Vitamina A, 40, 000 MIOU; Vitamina D3, 8000 MIOU; Vitamina E, 40000g; Vitamina K 310000 g; Vitamina B1 4000g; Vitamina B2 20000g; Vitamina B12 60000 mg; Ácido fólico 1200 g; Acido Pantotenico 32000 g; Niacina 100000 g; Calcio 149524 g; Excipiente cbp. 100,000.

**La premezcla proporciona por Kg: Selenio, 0.4 g; Cobalto, 0.2 g; Yodo, 0.7 g; Cobre, 12.0 g; Zinc, 100.0 g; Manganeso, 120.0g; Excipiente cbp, 100.0g.

[†]BMD 11%: Antibiotico promotor del crecimiento.

^{††}BHT (1.2%), BHA (9.0%) y Etoxiquin (4.8%).

Cuadro 7: Composición de las dietas experimentales en la fase de crecimiento (11-21 días) del Experimento 2.

Ingrediente	Tx 1 Testigo (%)	Tx2 6% DDGSbg (%)	Tx3 12% DDGSbg (%)
Sorgo	59.75	59.39	53.05
Pasta de soya	31.79	28.88	25.97
DDGSbg	0.00	6.00	12.00
Aceite de soya	4.47	4.74	5.01
Ortofosfato	1.77	1.61	1.46
Carbonato de Ca	1.11	1.20	1.29
Sal	0.38	0.38	0.39
L-Lisina HCl	0.15	0.21	0.27
DL-Metionina 99%	0.27	0.26	0.25
Cloruro de Colina 60%	0.10	0.10	0.10
*Premezcla de Vitaminas	0.10	0.10	0.10
**Premezcla de Minerales	0.05	0.05	0.05
Bacitracina zinc[‡]	0.03	0.03	0.03
Antioxidante^{‡‡}	0.01	0.01	0.01
Total	100	100	100
Análisis Calculado			
EM (Kcal/Kg)		3150	
Proteína Cruda (%)		21.00	
Met+ Cist (%)		0.84	
Lisina (%)		1.10	
Calcio Total (%)		0.90	
Fósforo Disponible(%)		0.45	

*La premezcla proporciona por kg. Vitamina A, 40, 000 MIOU; Vitamina D3, 8000 MIOU; Vitamina E, 40000g; Vitamina K 310000 g; Vitamina B1 4000g; Vitamina B2 20000g; Vitamina B12 60000 mg; Ácido fólico 1200 g; Acido Pantotenico 32000 g; Niacina 100000 g; Calcio 149524 g; Excipiente cbp. 100,000.

**La premezcla proporciona por Kg: Selenio, 0.4 g; Cobalto, 0.2 g; Yodo, 0.7 g; Cobre, 12.0 g; Zinc, 100.0 g; Manganeso, 120.0g; Excipiente cbp, 100.0g.

[‡]BMD 11%: Antibiotico promotor de crecimiento.

^{‡‡}BHT (1.2%), BHA (9.0%) y Etoxiquin (4.8%).

**Cuadro 8: Composición de las dietas experimentales en la fase de finalización
(22-42 días) del Experimento 2.**

Ingrediente	Tx 1 Testigo (%)	Tx2 (%) 6% DDGSbg (%)	Tx3 12% DDGSbg (%)
Sorgo	63.92	60.57	57.22
Pasta de soya	27.00	24.09	21.18
DDGSbg	0.00	6.00	12.00
Aceite de soya	4.92	5.19	5.46
Ortofosfato	1.64	1.48	1.33
Carbonato de Calcio	1.07	1.17	1.26
Pigmento 14 g/kg	0.50	0.50	0.50
Sal	0.33	2.33	0.34
L- Lisina	0.10	0.16	0.22
DL-Metionina 99%	0.25	0.24	0.23
Cloruro de Colina 60%	0.10	0.10	0.10
*Premezcla de Vitaminas	0.10	0.10	0.10
**Premezcla de Minerales	0.05	0.05	0.05
Bacitracina zinc[†]	0.03	0.03	0.03
Antioxidante^{††}	0.01	0.01	0.01
Total	100	100	100
Análisis Calculado			
EM (kcal/Kg)		3200	
Proteína Cruda (%)		19.00	
Met+ Cist dig. (%)		0.73	
Lisina dig. (%)		0.94	
Calcio Total(%)		0.85	
Fósforo Disponible(%)		0.42	

*La premezcla proporciona por kg. Vitamina A, 40, 000 MIOU; Vitamina D3, 8000 MIOU; Vitamina E, 40000g; Vitamina K 310000 g; Vitamina B1 4000g; Vitamina B2 20000g; Vitamina B12 60000 mg; Ácido fólico 1200 g; Acido Pantotenico 32000 g; Niacina 100000 g; Calcio 149524 g; Excipiente cbp. 100,000.

**La premezcla proporciona por Kg: Selenio, 0.4 g; Cobalto, 0.2 g; Yodo, 0.7 g; Cobre, 12.0 g; Zinc, 100.0 g; Manganeso, 120.0g; Excipiente cbp, 100.0g.

[†]BMD 11%: Antibiotico promotor de crecimiento.

^{††}BHT (1.2%), BHA (9.0%) y Etoxiquin (4.8%).

Cuadro 9: Resultados de parámetros productivos, consumo de fósforo y porcentaje de cenizas en tibias en pollos de 7 a 21 días de edad del Experimento 1.

Tratamiento	Fósforo en la dieta (%)	Consumo de fósforo (mg)	Ganancia de peso(g)	Consumo de alimento (g)	Eficiencia alimenticia	Cenizas en tibias (%)
1.- Dieta basal	0.140	644 ^d ±40.2	285 ^b ±5.2	460 ^b ±32.2	0.68 ^a ±0.03	30.81 ^b ±0.6
2.- Como 1 + 0.05% con FMD	0.190	886 ^c ±27.6	331 ^b ±28.7	479 ^b ±15.7	0.82 ^a ±0.8	34.58 ^a ±0.7
3.- Como 1 + 0.10% con FMD	0.240	1440 ^b ±35.7	447 ^a ±10.8	626 ^a ±22.2	0.79 ^a ±0.4	36.58 ^a ±0.9
4.- Como 1 + 0.05% con DDGS	0.190	1026 ^c ±10.2	339 ^b ±4.1	518 ^b ±13.0	0.67 ^a ±0.02	34.76 ^a ±0.7
5.- Como 1 + 0.10% con DDGS	0.240	1641 ^a ±27.9	472 ^a ±6.4	657 ^a ±21.1	0.73 ^a ±0.01	38.04 ^a ±0.5

Media ± EEM

Valores con distinta literal entre filas, son diferentes estadísticamente (P<0.05).

Cuadro 10: Parámetros productivos de pollos alimentados con DDGSbg, de 0 a 10 días de edad (Fase de iniciación), Experimento 2.

<i>Tratamiento</i>	<i>Peso promedio (g)</i>	<i>Ganancia de peso acumulada (g)</i>	<i>Consumo de alimento acumulado(g)</i>	<i>Conversión alimenticia (Kg:kg)</i>
0% DDGS	248.2± 4.8	207.3± 4.3	387.7±9.1	1.87± 0.05
6% DDGS bajos	247.7± 4.2	207.1± 7.9	385.8±3.3	1.86± 0.05
12% DDGS bajos	256.7 ± 3.1	215.2±3.3	388.3±13.3	1.80 ± 0.07
<i>Media± EEM</i> NS (P>0.05)				

Cuadro 11: Parámetros productivos de pollos alimentados con DDGSbg, de 11 a 21 días de edad (Fase de Crecimiento), Experimento 2.

<i>Tratamiento</i>	<i>Peso promedio (g)</i>	<i>Ganancia de peso acumulada (g)</i>	<i>Consumo de alimento acumulado (g)</i>	<i>Conversión alimenticia (Kg:kg)</i>
0% DDGS	825.3± 33.6	577.1± 28.8	858.0±25.7	1.50± 0.1
6% DDGS bajos	837.26± 9.6	589.5±5.7	807.0±26.3	1.36± 0.03
12% DDGS bajos	844.3 ± 24.0	587.6±21.4	825.0±39	1.41 ± 0.01
<i>Media± EEM</i> NS (P>0.05).				

Cuadro 12: Parámetros productivos de pollos alimentados con DDGSbg, de 22-42 días de edad (Fase de finalización), Experimento 2.

<i>Tratamiento</i>	<i>Peso promedio (g)</i>	<i>Ganancia de peso acumulada (g)</i>	<i>Consumo de alimento acumulado (g)</i>	<i>Conversión alimenticia (Kg:kg)</i>
0% DDGS	2757.7.3± 32.3	1932.4± 35.7	3600.9 ±28.5	1.87 ± 0.04
6% DDGS bajos	2699.0± 60.9	1861.7±68.9	3668.8 ±136.7	1.97 ± 0.07
12% DDGS bajos	2636.5± 73.0	1792.1±53.9	3715.3 ±107.8	2.0 ± 0.09

*Media± EEM.
NS (P>0.05).*

Cuadro 13: Parámetros productivos de pollos alimentados con DDGSbg, a los 42 días de edad, Experimento 2.

<i>Tratamiento</i>	<i>Peso promedio (g)</i>	<i>Ganancia de peso acumulada (g)</i>	<i>Consumo de alimento acumulado(g)</i>	<i>Conversión alimenticia (Kg:kg)</i>
0% DDGS	2758± 32	2717± 32	4847±36	1.78± 0.03
6% DDGS bajos	2699± 61	2658± 61	4861±154	1.83± 0.05
12% DDGS bajos	2636 ± 72	2595±72	4929±75	1.90 ± 0.06

*Media± EEM.
NS (P>0.05).*

Cuadro 14: Rendimiento en canal (%) y grasa abdominal (g) de pollos alimentados con dietas con DDGSbg, a 42 días de edad*, Experimento 2.

TRATAMIENTO	MACHO	HEMBRA	PROMEDIO
Rendimiento en canal (%)			
0% DDGS	72.0	71.8	71.9±0.2
6% DDGS bajos	71.8	71.2	71.5±0.2
12% DDGS bajos	71.5	71.7	71.6±0.2
PROMEDIO	71.8±0.2	71.6±0.2	
Grasa abdominal (g)			
0% DDGS	56.7	46.7	51.7±3.2
6% DDGS bajos	54.3	61.2	57.7±4.0
12% DDGS bajos	49.7	56.0	52.8±4.3
PROMEDIO	53.6±2.6	54.61±3.7	

NS (P>0.05).

Cuadro 15: Pigmentación amarilla cutánea (b*) de hembras y machos, alimentados con diferentes niveles de inclusión de DDGSbg a los 28, 35 y 42 días de edad, del Experimento 2.

	Macho	Hembra	Promedio
28 días			
0%	4.77	5.48	5.13 ^a ±0.5
6%	4.70	4.79	4.75 ^a ±0.6
12%	4.77	5.49	5.12 ^a ±0.7
Promedio	4.75 ^a ±0.5	5.50 ^a ±0.4	
35 días			
0%	11.33	12.48	11.91 ^b ±0.5
6%	12.11	12.31	12.21 ^{ab} ±0.6
12%	11.93	16.01	13.97 ^a ±0.8
Promedio	11.75 ^b ±0.4	13.49 ^a ±0.5	
42 días.			
0%	11.41	14.74	12.93 ^b ±0.4
6%	14.32	15.08	14.74 ^a ±0.5
12%	13.54	14.68	14.15 ^{ab} ±0.4
Promedio	12.82 ^b ±0.3	14.83 ^a ±0.4	

Valores con distinta literal entre filas son diferentes estadísticamente, entre sexos; y entre filas, son diferentes entre niveles de inclusión (P<0.05)

*En la semana 3, la medición inicial promedio de amarillamiento de los tres tratamientos, fue de 0.92.

Cuadro 16: Pigmentación amarilla (b*) en canal caliente, canal fría y grasa abdominal de hembras y machos, alimentados con diferentes niveles de inclusión de DDGSbg a los 42 días de edad, Experimento 2.

	Macho	Hembra	Promedio
Canal caliente			
0%	27.78	27.53	27.66 ^b ±0.9
6%	33.14	30.90	32.02 ^a ±1.2
12%	31.20	30.00	30.61 ^{ab} ±0.7
Promedio	30.71 ^a ±1.1	29.48 ^a ±0.6	
Canal fría			
0%	37.68	35.48	36.58 ^a ±1.0
6%	40.95	37.51	39.23 ^a ±1.4
12%	39.31	37.64	39.62 ^a ±0.8
Promedio	39.3 ^a ±1.0	37.64 ^a ±0.8	
Grasa abdominal			
0%	20.21	21.65	20.93 ^b ±0.6
6%	22.59	25.04	23.82 ^a ±0.9
12%	27.45	23.93	25.68 ^a ±1.0
Promedio	23.4 ^a ±1.0	23.54 ^a ±0.7	

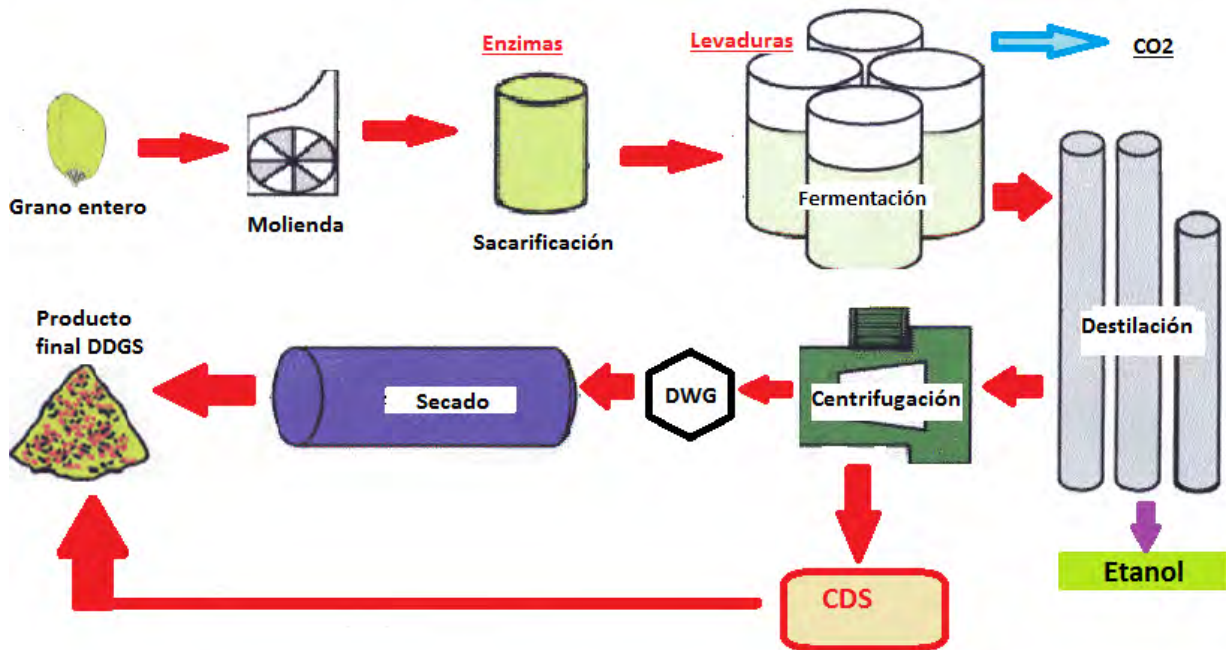
Valores con distinta literal entre filas son diferentes estadísticamente, entre sexos; y entre filas, son diferentes entre niveles de inclusión (P<0.05)

Cuadro 17: Xantofilas totales en plasma de pollos de 42 días de edad del Experimento 2.

TRATAMIENTO	MACHO	HEMBRA	PROMEDIO
0% DDGSbg	66.11	60.34	62.81±5.9
6% DDGSbg	65.77	63.92	64.85±3.8
12% DDGSbg	71.36	63.08	67.22±4.6
PROMEDIO	67.90±3.5	62.45±3.9	

NS (P>0.05).

FIGURAS



*Adaptado de varios autores (Barragan et al., 2008; Kshun y Kurt., 2012)^{8,4}.

- **DWG:** Granos húmedos de destilería.
- **CDS:** Solubles condensados de destilería.

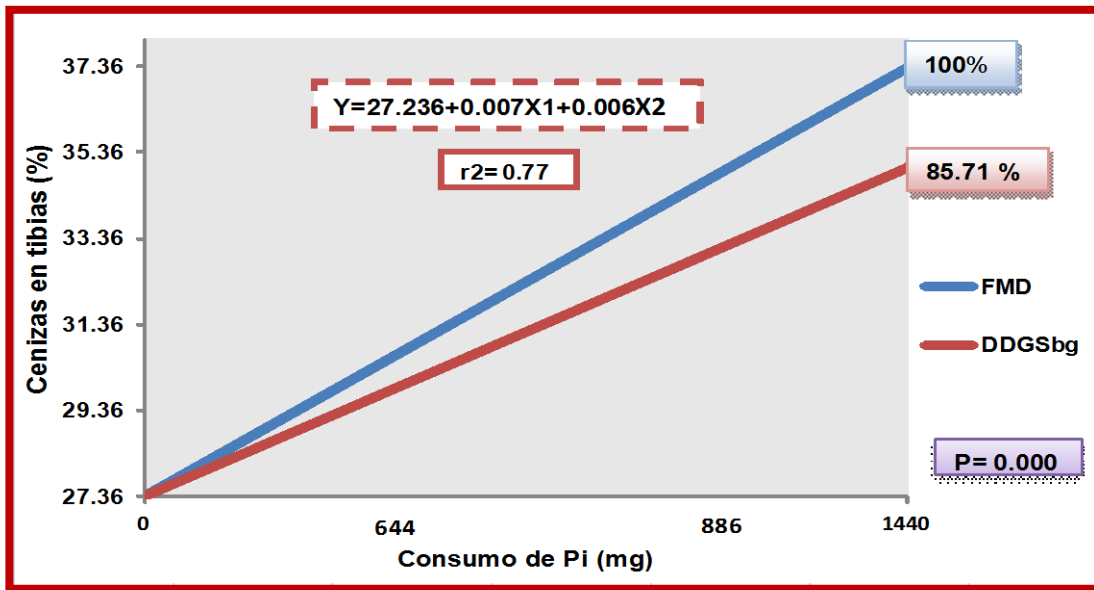


Figura 2: Biodisponibilidad de Fósforo en DDGSbg, con base en el consumo de fósforo y las cenizas en tibias, de pollos de 21 días de edad.

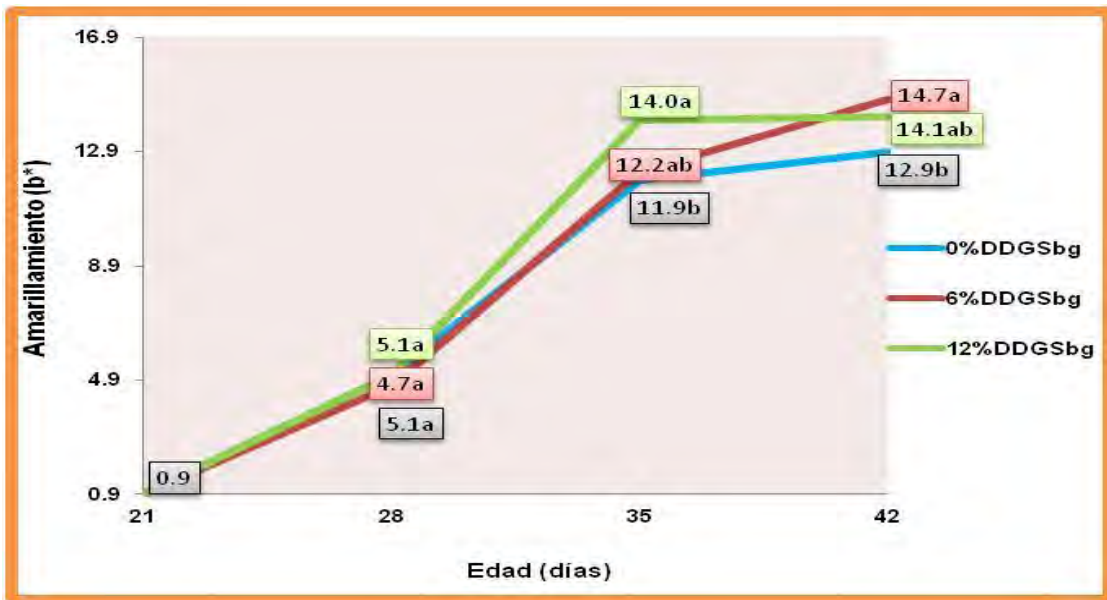


Figura 3: Amarillamiento cutáneo de pollos alimentados con diferentes niveles de DDGSbg a los 21, 28, 35 y 42 días de edad, Experimento 2.

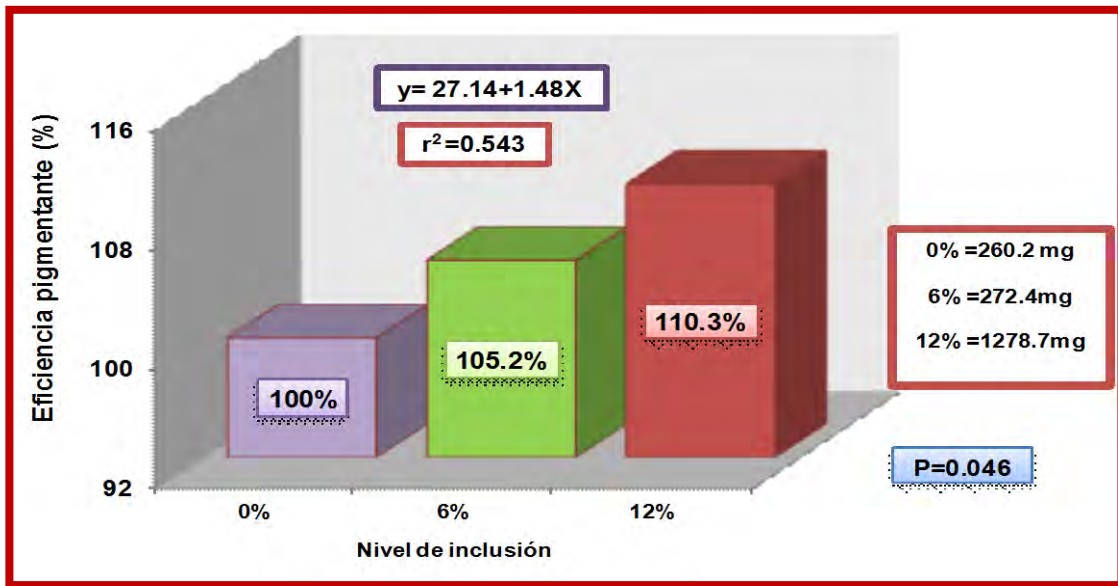


Figura 4: Eficiencia pigmentante de xantofilas con base a los resultados de amarillamiento de canal caliente y al consumo de xantofilas con diferentes niveles de inclusión de DDGSbg, Experimento 2.

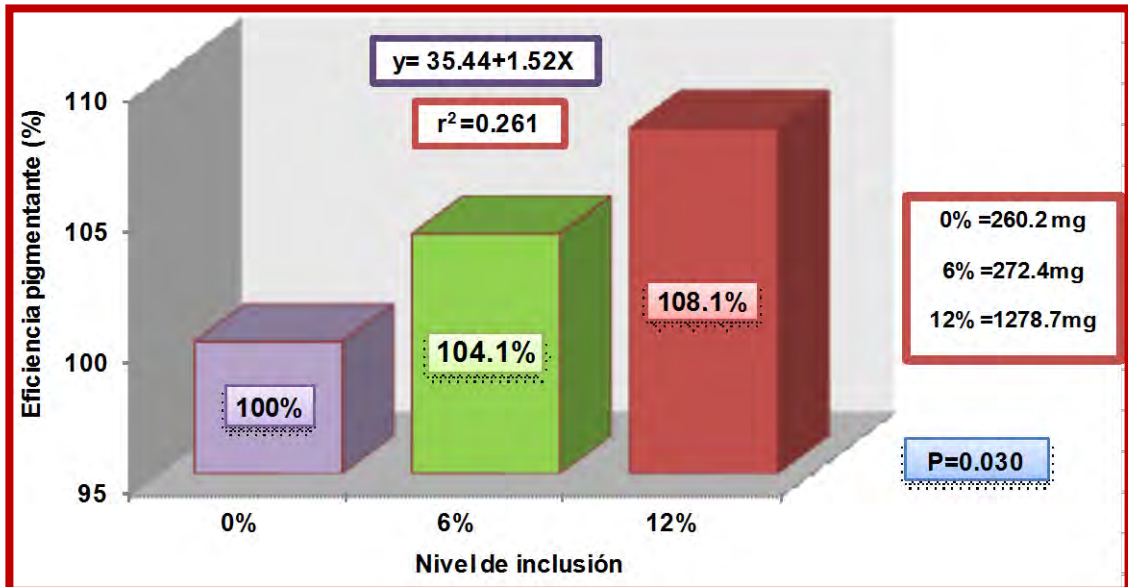


Figura 5: Eficiencia pigmentante de xantofilas con base en los resultados de amarillamiento de canal fría y al consumo de xantofilas con diferentes niveles de inclusión de DDGSbg, Experimento 2.

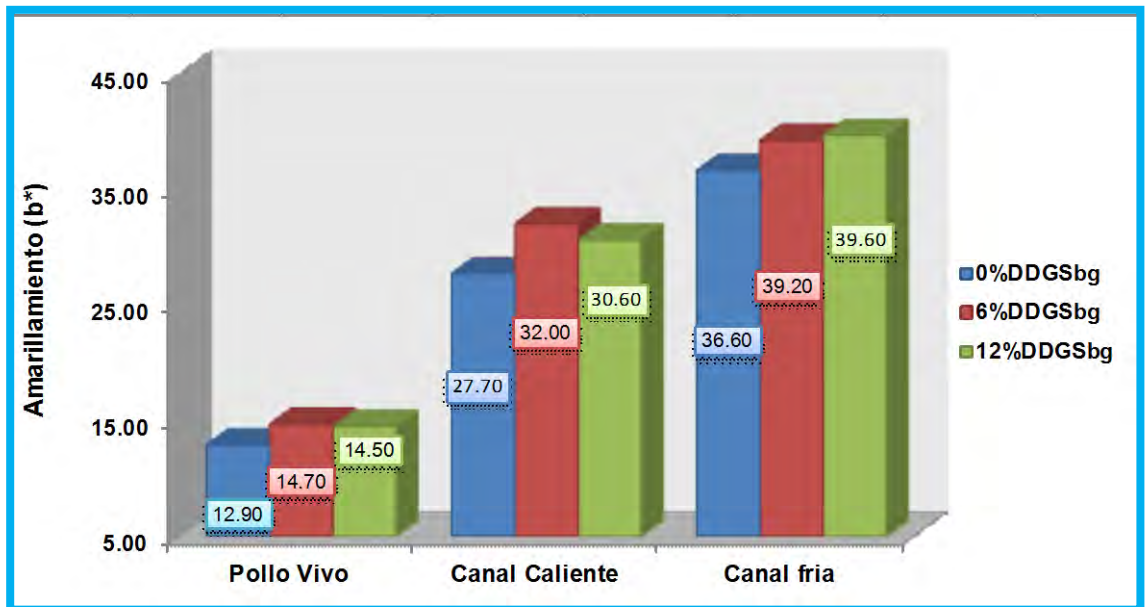


Figura 6: Amarillamiento cutáneo de pollos alimentados con diferentes niveles de DDGS bajos en grasa a los 42 días en pollo vivo, canal caliente y canal fría, Experimento 2.

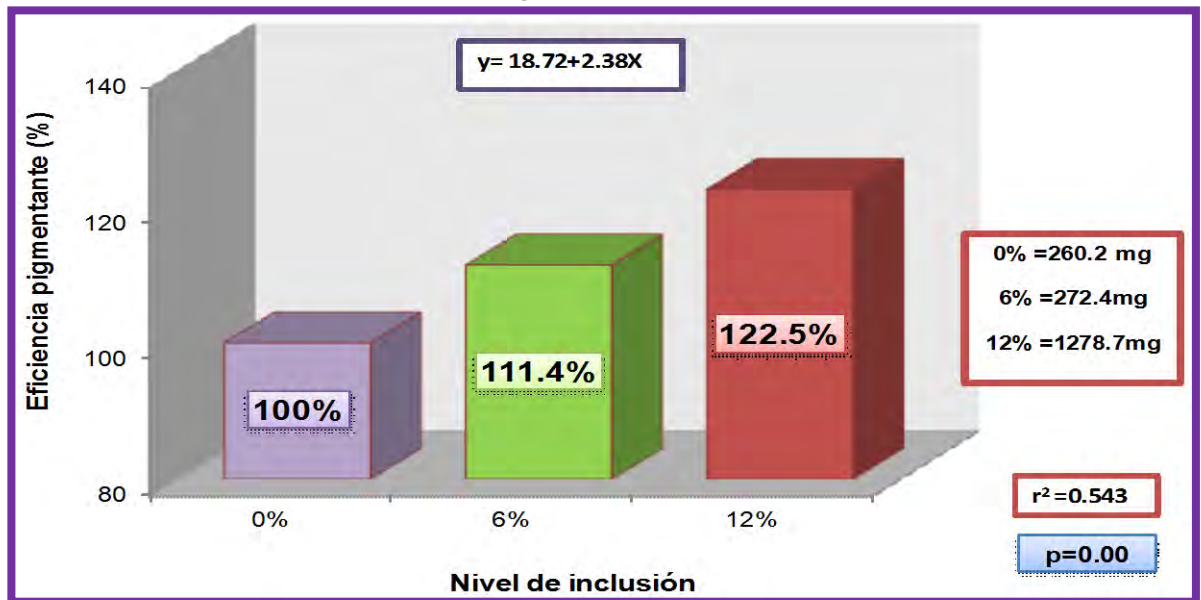


Figura 7: Eficiencia pigmentante de xantofilas con base en los resultados de amarillamiento de grasa abdominal y al consumo de xantofilas con diferentes niveles de inclusión de DDGSbg, Experimento 2.

LITERATURA CITADA

1. UNA, Unión Nacional de Avicultores. Indicadores económicos. 2013 (Citado 2014 enero 30). Disponible en: URL: <http://www.una.org.mx/index>.
2. Hofman L, Baker A. Market Issues and Prospects for U.S. Distillers Grains Supply, Use, and Price Relationships. USDA. Diciembre 2010.
3. Arvizu FJ. Biocombustibles derivados del maíz. Boletín Informativo. Instituto de Investigaciones eléctricas. Enero-Marzo, 2012.
4. Kshun L. y Kurt A. Distillers grains, production, properties, and utilization. 1st ed. Florida, USA, AK Peters/CRC Press, 2012.
5. Cuca GM, Avila GE, Pro MA. Alimentación de las aves. México, México. 2ed. Universidad Autónoma de Chapingo. 2009.
6. US GRAINS COUNCIL. DDGS production and exports. Enero 2014 (citado Enero 2014). Disponible en: <http://www.grains.org/index.php/buying-selling/ddgs>.
7. Renewable Fuels Associations (RFA). Ethanol Industry Outlooks. (Citado Octubre 2013). Disponible en: <http://www.ethanolrfa.org/>.
8. Barragan RJ, Martin del Campo MC, Peña AL, Robles OJ, Martínez PS, Jiménez PC, Hernandez GJ, De Lucas PE, Reyes VW. Utilización de granos secos de destilería con solubles (DDGS) en la alimentación animal. Avances en la investigación científica en el CUCBA. 2008.
9. Applegate TJ, Latour M, Ilegi KE, Hoffsteter U y Rodrigues I. Nuevas perspectivas en el uso de coproductos de la industria del bioetanol en la fabricación de piensos. XXIV Curso de especialización FEDNA. Madrid, 23, 24 de octubre de 2008.
10. Díaz RF, Rosentrater K. Composición de los lípidos en los Granos de Destilería. Dairy Science, 2012.
11. Applegate TJ, Troche C, Jiang Z., Johnson T. The nutritional value of high-protein corn distillers dried grains for broiler chickens and its effect on nutrient excretion. Poultry Science, 2009; 88 :354–359.

12. Rochell SJ, Kerr BJ y Dozier WA. Energy determination of corn co-products 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.
13. 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.
14. Schulze D. Flow Properties of Powders and Bulk Solids. *Powders and bulk solids*. Noviembre 2013 (citado noviembre, 2013). Disponible en: <http://www.dietmar-schulze.de/>.
15. Noll S, Purdum SE. Low oil DDGS value in Turkey and Laying Hen Rations. *Midwest Poultry Federation Convention*; 2013 marzo 12-14; Saint Paul River Centre, Minnesota, EU.
16. USDA, United States Department of Agriculture. Strong Start for 2012 DDG Exports Follows Record Shipments in 2011. *International Agricultural Trade Report*. Junio 2012.
17. Ganesan V, Rosentrater KA, Muthukumarappan A. Flowability and handling characteristics of bulk solids and powders – a review with implications for DDGS. *Biosystems engineering* , 2008; 425–435.
18. Shankar JT, Tabil L, Opoku A, Mosqueda M, Fadeyi O. Effect of process variables on the quality characteristics of pelleted wheat distillers dried grains with solubles. *Biosystems engineering*, 2010; 466 – 475.
19. Lesson S, Summer JE. *Comercial Poultry Nutrition*. Notthigham University Press, 3ra ed. Guelp, Canada.2008.
20. Acedo R.J. Problemática de utilización de materias primas fibrosas en Fábricas de piensos y plantas de mezclas, influencia sobre la Tecnología de fabricación a emplear. XXII Curso de especializacion FEDNA. Barcelona, 16, 17 de Octubre, 2006.

21. Kim EJ, Parsons CM, Srinivasan R, Singh R. Nutritional composition, nitrogen corrected true metabolizable energy, and amino acid digestibilities of new corn distillers dried grains with solubles produced by new fractionation processes. *Poultry Science*, 2010; 89:44–51.
22. Oryschak M, Korver D, Zuidhof M , Meng X, Beltranena E. Comparative feeding value of extruded and nonextruded wheat and corn distillers dried grains with solubles for broilers. *Poultry Science*, 2010; 89 :2183–2196.
23. Martinez AC., Parsons CM. Singh V, Srinivasan R, Murthy GS. Nutritional characteristics of corn distillers dried grains with solubles as affected by the amounts of grains versus solubles and different processing techniques. *Poultry Science* 2007; 86:2624–2630.
24. Huang, J.F., M.Y. Chen, H.F. Lee, S.H. Wang, Y.H. Hu, and Y.K. Chen. 2011. Effects of corn distillers dried grains with soluble on the productive performance and egg quality of brown Tsaiya duck layers. Livestock Research Institute, Council of Agriculture. Taiwan, 2011.
25. 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://fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/granos-y-solubles-de-ma%C3%ADz-ddgs.
26. Waldroup PW, Wang Z, Coto C., Cerrate S. Yan F. Development of a standardized nutrient matrix for corn distillers dried grains with solubles. *International Journal of Poultry Science*, 2007; 6 (7): 478-483.
27. Guney, A.C., Shim M.Y., Batal A.B., Dale N.M., and Pesti G.M. Effect of feeding low-oil distillers dried grains with solubles on the performance of broilers. *Poult. Sci.*, 2013; 92:2070-2076.
28. Salim HM, Kruk ZA, Lee BD. Nutritive value of corn distillers dried grains with solubles as an ingredient of poultry diets: A review. *World's Poult. Sci. J.* 2010; 6:411-432.
29. Batal A, Dale N. Mineral composition of distillers dried grains with solubles. *J. Appl. Poult. Res*, 2003; 12:400–403

30. Martinez AC, Parsons CM, Noll SL. Content and relative bioavailability of phosphorus in distillers dried grains with solubles in chicks. *Poult. Sci.*, 2004; 83:971–976.
31. Martinez AC, 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 solubles in Chicks. *Poultry Science*, 2006; 85:470–475.
32. Saunders JA, Rosentrater KA. Properties of solvent extracted low-oil corn distillers dried grains with solubles. *Biomass and bioenergy*, 2009; 1486–1490.
33. 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. *J Am Oil Chem Soc*, 2010; 87:895–902.
34. U.S. Grains Council. DDGS User handbook. Octubre 2012 (citado enero 2013). Disponible en: <http://www.grains.org/index.php/buying-selling/ddgs-user-handbook>.
35. 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. *Inter. J. Poult. Sci.*, 2005; 4:44-51.
36. Winkler MJ, Vaughn SF. Antioxidant Activity of Phytochemicals from Distillers Dried Grain Oil. *J Am Oil Chem Soc* (2009) 86:1073–1082
37. Schilling M. W., Battula V., Loar R. E., Jackson V., Kin S., and, Corzo A.. Dietary inclusion level effects of distillers dried grains with solubles on broiler meat quality. *Poult. Sci*, 2010; 89:752–76.
38. Shim MY., Pesti GM., Bakalli RI., Tillman PB., and Payne RL. Evaluation of corn distillers dried grains with solubles as an alternative ingredient for broiler. *Poult. Sci*, 2011. 90:369–376.
39. Świątkiewicz S, Koreleski J. The use of distillers dried grains with solubles (DDGS) in poultry nutrition. *World's Poultry Science Journal*, 2010; 64. 257-266.

40. Leytem AB, Kwanyuen P, Thacker P. Nutrient excretion, phosphorus characterization, and phosphorus solubility in excreta from broiler chicks fed diets containing graded levels of wheat distillers grains with solubles. *Poultry Science*, 2008; 87:2505–2511.
41. Loar RE, Schilling MW, MCDaniel CD, 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. *J Appl Poult Res* 2010; 19:30-37.
42. Lumpkins BS, Batal AB. The Bioavailability of lysine and phosphorus in distillers dried grains with solubles. *Poultry Science*, 2005; 84:581–586.
43. INEGI. Cuaderno Estadístico Delegacional, Tláhuac, DF. México DF: Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2000: 3,12.
44. Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. 062-ZOO. (6 de diciembre de 1999)
45. Allen PC. Physiological responses of chicken gut tissue to coccidial infection comparative effect of *Eimeria acervulina* and *Eimeria imitidis* on mucosal mass, carotenoide content and brush border enzyme activity, 1987; 66:1306-1315.
46. SPSS (versión 17.0, 23 Sep 2008; SPSS Inc., 2007).
47. Majoni S, Wang T, Lawrence AJ. Physical and chemical processes to Enhance Oil Recovery from Condensed Corn Distillers Solubles. *J Am Oil Chem Soc*, 2011; 88:425–434.
48. Soteno GA, Bedolla TJ, Alarcón BJ. Estabilidad de los pigmentos empleados en la elaboración de alimentos balanceados para pollo de engorda. Memorias X Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. Puerto Vallarta, Jalisco. Septiembre 8-12, 2003.
49. Jintasataporn O, Yuangsoi B. Stability of carotenoid diets during feed processing and under different storage conditions. *Molecules* 2012, 17, 5651-5660.

50. Pekel AY, Çakır EO, Polat M , Çakır 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 solubles. *J. Appl. Poult. Res*, 2013; 22 :814–824.
51. Pahm AA, Scherer SC, 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 solubles. *Poultry Science*, 2009; 88:571–578.
52. Batal AD, Dale NM. True Metabolizable Energy and Amino Acid Digestibility of Distillers Dried Grains with Solubles. *J. Appl. Poult. Res*. 2006; 15:89–93.
53. Suttle FN. *Mineral Nutrition of Livestock*. Cabi. Londres, 2010.
54. Frost, T.J., and D.A. Roland, SR.. The influence of various calcium and phosphorus levels on tibia strength and eggshell quality of pullets during peak production. *Poult. Sci*, 1991; 70:963-969.
55. Powell, S., S. Johnston, L. Gaston, and L.L. Southern. The effect of dietary phosphorus level and phytase supplementation on growth performance, bone-breaking strength, and litter phosphorus concentration in broilers. *Poult. Sci*. 87, 2008:949-957.
56. Lima FR, Mendonca CX, Alvarez JC, J.M.F. Garzillo, Ghion E, y Leal PM.. Biological evaluations of commercial dicalcium phosphates as sources of available phosphorus for broiler chicks. *Poult. Sci*1997. 76:1707-1713.
57. Shaw AL, Blake JP y Moran ET. Effects of flesh attachment on bone breaking and of phosphorus concentration on performance of broilers hatched from young and old flocks. *Poult. Sci*, 2010; 89:295-302.
58. Kim EJ, Martinez AC, Utterback BC Y Parsons CM. Phosphorus bioavailability, true metabolizable energy, and amino acid digestibilities of high protein corn distillers dried grains and dehydrated corn germ. *Poult. Sci.*, 2008; 87:700-705.
59. Lumpkins BS, Batal AB y Dale NM. Evaluation of distillers dried grains with solubles as a feed ingredient for broilers. *Poult. Sci* 2004. 83:1891-1896.

60. Cortes CA, Esparza CC, Sanabria EG, Miguel IJ, Ornelas RM, Ávila GE. El uso de granos secos de destilería con solubles (DDGS) en dietas sorgo-soya para pollos de engorda y gallinas de postura. *Rev Mex Cien. Pecu*, 2012; 3(3): 331-341.
61. 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. *J. Appl. Poult. Res.*, 2012; 21:48–62.
62. Lu, Jin-Jenn and Yuan-Kuo Chen. 2005. 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. Aug. 2005.
63. Kimura 2007: 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, Japan 2007.
64. Martinez PM. Efecto de tres niveles de flor de cempasúchil sobre la pigmentación de la piel de pollo de engorda. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, 2003.
65. Piraces SF, Cortes CR. Factores que afectan la pigmentacion del pollo de carne. Memorias del X Ciclo de conferencias internacionales sobre la avicultura. Asociacion Mexicana de Especialistas en Nutricion Animal A.C. Guadalajara, Jalisco: 1991; 103-125.
66. Coon CN, Becker WA, Spencer JV. The effect of feeding high energy diets containing supplemental fat on broiler weight, feed efficiency and carcass composition. *Poult Sci* 1981; 60:1264-1271.
67. Brown HB, McCartney MG. Effects of dietary energy and protein and feeding time on broiler performance. *Poult Sci* 1982; 61:304-310.
68. Martinez PM, Cortes CA., Avila GE. Efecto de tres niveles de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) sobre la pigmentación de la piel de pollo de engorda. *Tec Pecu Mex*, 2004; 42 (1): 105-111.

69. 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. *J. Appl. Poult. Res.* 2012. 21:603–611.
70. Corzo A., Schilling M. W., Loar R. E., Jackson V., Kin S. and Radhakrishnan V. The effects of feeding distillers dried grains with solubles on broiler meat quality. *Poult. Sci.* . 2009; 88:432–439.
71. Tyczkowski JK, Hamilton PB. Absorption, transport, and deposition in chickens of lutein diester, a carotenoid extracted from marigold (*Tagetes erecta*) petals. *Poultry Science*, 1986; 65:1526-1531.
72. Juárez RM. Efecto de varios agentes sobre la pigmentación cutánea de pollo de engorda. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 2002.
73. Castañeda MP. Hirschler EM. Sam AR. Skin pigmentation evaluation in broilers fed natural and synthetic pigments. *Poult. Science*, 2005; 84: 143-147.
74. Hudon J. Biotechnological applications of research on animal pigmentation. *Biotech. Adv.*, 1994; 49-69.
75. Teixeira M, Meleiro CH. A new method for analysis of plasma carotenoids in poultry. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 2008; 60 (6): 1399-1402.
76. Breithaupt DE. Weller P, Grashorn MA. Quantification of carotenoids in chicken plasma after feeding free or esterified lutein and capsanthin using high-performance liquid chromatography and liquid chromatography-mass spectrometry analysis. *Poultry Science*, 2003; 82:395–401.

ANEXO

1.- Técnica de medición del índice de fluidez.

1.- Se utilizaron 50 gramos de la muestra de los DDGS en estudio.

2.- La muestra fue vaciada en tamices de diferentes diámetros de apertura (mm); que iban desde 0.18 hasta 5 mm.

3.- Al ser vaciada la muestra en cada tamiz se dio un ligero movimiento durante medio minuto. Para que por medio de las aperturas del tamiz, pase una parte de la muestra (la cual corresponde a los granos más finos).

4.- El procedimiento se repite en cada tamiz, hasta que toda la muestra pase por las aperturas del tamiz. El diámetro correspondiente al tamiz es comparado con un valor, el cual corresponde al índice de fluidez; mismo que nos indica la categoría de fluidez de la muestra.

Índice de fluidez correspondiente a la apertura del tamiz (mm).

Apertura del tamiz (mm)	Índice de Fluidez	Categoría de la fluidez
4	250	Excelente
5	200	
6	167	Buena
10	100	
12	83	Regular
20	50	
22	45	Mala

2.- Técnica descrita por Allen (1987)⁴⁵ para la extracción y cuantificación de carotenoides.

1. Las muestras de sangre colectadas fueron centrifugadas a 1500 rpm/10 min, para la obtención del plasma.
2. Se transfirió a un tubo limpio 0.5 mL de plasma y a este se le adicionó 4.5 mL de acetona. Y se homogeneizó la solución mediante un vortex.
3. Esta última solución homogeneizada se centrifugó a 1500 rpm/10 min.
4. Se decantó el contenido del tubo, para extraer el sobrenadante.
5. Se prepararon diluciones para una curva estándar. Las diluciones que se utilizaron fueron a partir de la dilución 1:2 mL hasta 1:10 mL. Para hacer la dilución inicial se tomó la concentración del producto (pigmento amarillo utilizado en la fase de finalización).
6. Se leyeron las muestras en un espectrofotómetro de luz ultravioleta, con una longitud de onda de 478 nm.