



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



**RENDIMIENTO PRODUCTIVO Y PIGMENTACIÓN DE LA YEMA DEL
HUEVO EN GALLINAS ALIMENTADAS CON DIETAS SORGO-SOYA-
DDGS.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA

RIVERA SOTOMAYOR JOSÉ FRANCISCO

ASESORES:

MVZ MC CORTÉS CUEVAS ARTURO
MVZ MSc ÁVILA GONZÁLEZ ERNESTO

México, D. F.

2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

DEDICATORIA:

A mis padres, Ana Patricia Sotomayor Guerra y Lucio Rivera Espinoza, por confiar en mí, gracias a ustedes soy quien soy y espero no fallarles nunca, le agradezco a Dios haberme dado unos padres maravillosos.

A mis hermanos Rafa y Vic por estar siempre a mi lado.

Y a todas aquellas personas que en algún momento de mi vida me brindaron su apoyo y me ayudaron a salir adelante.

AGRADECIMIENTOS:

A mi Universidad Nacional Autónoma de México por cobijarme tantos años, es un honor formar parte de tan maravillosa institución.

A mi hermosa Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, por ser testigo de una de las mejores etapas de mi vida, porque ahí conocí a muchas personas excepcionales.

Al Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola y a todo su personal.

Al Dr. Ernesto Ávila y al Dr. Arturo Cortés por su apoyo, gran calidad humana y permitirme desarrollar este trabajo dentro de las instalaciones del CEIEPAv y por los consejos que me dieron para el desarrollo del mismo.

A todos los profesores que tuve durante mis estudios. Mil Gracias.

A PIVEG S.A. de C.V. por los análisis realizados.

A todos los que me ayudaron en la realización de esta tesis.

CONTENIDO

	Página
Dedicatoria	II
Agradecimientos	III
Contenido	IV
Resumen	1
1. Introducción	2
1.1 Granos Secos de Destilería con solubles	3
1.1.1 Elaboración de los granos secos de destilería con solubles.	5
1.1.2 Características de los granos secos de destilería con solubles.	7
1.1.3 Granos secos de destilería con solubles en la alimentación de la gallina de postura.	9
1.2.Pigmentación de la yema de huevo	10
1.2.1 Carotenoides	11
1.2.1.1. Metabolismo de los carotenoides	18
1.2.1.2. Transporte y depósito a tejidos.	20
1.3. Evaluación del color y la pigmentación de la yema del huevo.	21
2. Justificación	25
3. Hipótesis	26
4. Objetivos	27

5. Material y métodos.	28
6. Resultados	33
7. Discusión	37
8. Conclusiones	42
9. Referencias:	43
10. Cuadros	57
11. Figuras	63

RESUMEN

RIVERA SOTOMAYOR JOSÉ FRANCISCO. Rendimiento productivo y pigmentación de la yema del huevo en gallinas alimentadas con dietas sorgo-soya-DDGS. (Bajo la dirección de: MVZ MC Cortés Cuevas Arturo y MVZ MSc Ávila González Ernesto).

Con la finalidad de evaluar la inclusión de dos muestras (A y B) de granos secos de destilería con solubles (DDGS) bajos en aceite en dietas sorgo-soya para gallinas de postura y su efecto en la respuesta productiva y pigmentación de la yema del huevo, se realizó el presente estudio. Se utilizaron 360 gallinas de la estirpe Bovans White de 69 semanas de edad. Se utilizó un diseño completamente al azar, de 5 tratamientos con 6 repeticiones de 12 gallinas cada una. Los tratamientos fueron los siguientes: T1.- Dieta testigo sorgo-soya, T2.- 6% de DDGS A, T3.- 12% de DDGS A, T4.- 6% de DDGS B y T5.- 12% de DDGS B. También se evaluó la pigmentación de la yema por 3 semanas con la adición de 1 ppm de cantaxantina y 3 semanas con 2 ppm en todos los tratamientos. Los resultados en 70 días de experimentación para rendimiento productivo no indicaron diferencia ($P>0.05$) entre tratamientos. Los resultados de luminosidad por colorimetría de reflectancia y mediante el abanico colorimétrico de DSM® no fueron diferentes ($P>0.05$) entre tratamientos. Sin embargo para el enrojecimiento y amarillamiento de la yema, los datos indicaron diferencia estadística ($P<0.05$) entre tratamientos, con menor amarillamiento y enrojecimiento en el tratamiento 1 respecto a los tratamientos 2 y 4, seguidos por los tratamientos 3 y 5. De los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede concluir que la adición de 6 y 12% de DDGS bajos en aceite en dietas sorgo-soya para gallinas de postura, no afectó el comportamiento productivo y mejora la pigmentación de la yema de huevo. La inclusión de cantaxantina en 1 y 2 ppm incrementó la tonalidad amarillo naranja de la yema de huevo.

1. INTRODUCCIÓN.

Actualmente existen en México alrededor de 112 millones de habitantes los cuales necesitan de una alimentación adecuada para preservar su salud y desarrollar sus actividades cotidianas. Sin embargo, se ha demostrado la incapacidad de poder satisfacer los requerimientos nutricionales de la población, debido a diversos factores.¹

La avicultura es una actividad económica, altamente dinámica, debido a que más de la mitad de la proteína de origen animal que consumen los mexicanos provienen de la carne de pollo y el huevo, productos obtenidos a partir de la explotación intensiva del pollo y la gallina de postura, respectivamente; esta alta demanda de productos avícolas está dada principalmente porque es la fuente de proteína animal más barata en México.²

Por otro lado, el incremento en los precios de los insumos alimenticios, incrementa a su vez los costos de producción y reduce la rentabilidad, lo que ha provocado que nuevas tecnologías no convencionales conduzcan a minimizar los costos de producción para mejorar los rendimientos productivos y maximizar la rentabilidad.

Actualmente numerosos investigadores vienen realizando grandes esfuerzos en la búsqueda de nuevas alternativas en la alimentación de los animales para seguir obteniendo de ellos proteína para consumo humano, teniendo en cuenta que esas

nuevas alternativas tengan como principal fundamento el preservar el bienestar y salud animal, sin perjuicio de la salud del hombre.

Dentro de la búsqueda de nuevas opciones en la alimentación y nutrición animal, se encuentra el empleo de granos secos de destilería con solubles (DDGS- Distiller's Dried Grains with Solubles por sus siglas en inglés).

1.1 Granos Secos de Destilería con Solubles (DDGS).

Los granos como el maíz, están compuestos de tres partes: el pericarpio, el germen y el endospermo. El pericarpio es la parte externa y protege a la semilla, además de aportar casi el total de la fibra del grano. El germen está formado de tres elementos: raíz, tallo y escutelo, mientras que el endospermo es el depósito de carbohidratos, que son la parte energética de la semilla.³

La producción de biocombustibles, particularmente el etanol, ha aumentado rápidamente en todo el mundo con el fin de reducir en parte la dependencia del petróleo y mejorar la calidad del aire del medio ambiente. En la mayor parte de los procesos, se utilizan cereales como maíz en EUA, trigo en Canadá y cebada en los países nórdicos europeos.⁴

Los DDGS se obtienen mediante el secado de los residuos del proceso de obtención de etanol como biocombustible, dicho proceso consiste en convertir los almidones y azúcares en materias primas, como el etanol, a través de técnicas de

licuefacción, fermentación y destilación. Además del etanol, se produce un co-producto final llamado DDGS.⁵

El uso de DDGS en la alimentación animal no es un tema nuevo, desde la década de los 70 con la creación de nuevas plantas productoras de etanol con mayor capacidad de producción, se comenzaron a realizar investigaciones para su uso en la alimentación de rumiantes y cerdos, en la década de los 80 se producían apenas 175 millones de galones por año en Estados Unidos de América (EUA), para el año 2012 EUA reportó una producción anual de 13,300 millones de galones.^{6,7}

A pesar de que las plantas productoras de etanol generan una gran variedad de co-productos, los DDGS son los más importantes, ya que, se comercializan internacionalmente para su uso como ingrediente en la formulación y la preparación de alimentos para cerdos, aves, ganado lechero, ganado de engorda y peces.

México, mantiene un importante vínculo comercial de DDGS con Estados Unidos, el cual podría incrementarse en los próximos años, debido en primera instancia a la cercanía y por otro lado a que los Estados Unidos año con año ha ido incrementando su producción de etanol, lo que aumentará la disponibilidad de este co-producto en los próximos años.⁸

1.1.1 Elaboración de los granos secos de destilería con solubles.

El proceso de obtención de estos co-productos de destilería (Figura 1), consta de varios pasos:

1. Recepción y limpieza: la materia prima se recibe y se analiza el contenido de humedad, presencia de hongos y apariencia general. Si cumple con los controles estándar de calidad, se envía a un sistema de limpieza donde se remueven materiales extraños como pueden ser insectos, rocas, hojas, etc.
2. Molienda: Una vez limpio el grano pasa a través de los molinos de martillo, con el objetivo de separar el almidón y las proteínas de la fibra, posteriormente se pasa a un contenedor donde es mezclado con agua para después pasar por una estufa de chorro con el fin de eliminar microorganismos que podrían competir con la levadura durante la fermentación.
3. Licuefacción: El maíz molido es mezclado con agua y se le adiciona la enzima *alfa amilasa*. Luego pasa a través de los tanques de cocimiento donde se licua el almidón. A esta mezcla se agrega componentes químicos para mantenerla con un pH adecuado. La mezcla se calienta con el fin de eliminar microorganismos que podrían competir con la levadura que se le agregara posteriormente.

4. Sacarificación: Al mosto o puré se le agrega una segunda enzima (*glucoamilasa*) para convertir el almidón licuado en azúcar fermentable (dextrosa).
5. Fermentación: La fermentación se realiza en ausencia de oxígeno. Al mosto se le agrega la levadura *Saccharomyces cerevisiae* para fermentar los azúcares y con ello obtener, por cada molécula de glucosa, 2 moléculas de etanol y 2 de dióxido de carbono.
6. Destilación: El mosto fermentado es bombeado a la columna de destilación, donde el contenido se hierve, separando el alcohol etílico de los sólidos y del agua. El alcohol deja la columna de destilación con una pureza del 96% aproximadamente (el otro 4% corresponde a agua), y el residuo, es transferido a otros procesos para obtener co-productos.
7. Deshidratación: El alcohol de la columna pasa a través de un sistema de la deshidratación donde el agua es eliminada, el producto en esta fase se llama alcohol o etanol anhidrido.
8. Desnaturalizado: El etanol que será usado para combustible se debe desnaturalizar agregando un 2 a 5% de gasolina para hacerlo no apto para el consumo humano.

9. Co-productos: Hay dos co-productos principales en el proceso de producción de etanol, el dióxido de carbono (CO_2) y los granos secos de destilería con solubles (DDGS). El dióxido del carbono se emite en grandes cantidades durante la fermentación y muchas plantas de etanol recolectan ese dióxido del carbono, lo limpian de cualquier alcohol residual, lo comprimen y lo venden para carbonatar bebidas o para fabricar hielo seco.
10. Centrifugación de los residuos de la destilación: El proceso da lugar a dos tipos de co-productos: los granos de destilería húmedos y al líquido destilado. El líquido destilado se concentra en un evaporador y se vende como solubles de destilería. En la mayoría de los casos ambos productos son mezclados y deshidratados para comercializarlos posteriormente como granos secos de destilería con solubles (75% granos de destilería y 25% solubles, aproximadamente).^{3,9}

Por cada 100 kg de maíz fermentado en una planta de etanol, se obtienen aproximadamente 36 litros de etanol, 32 kg de DDGS y 32 kg de dióxido de carbono.¹⁰

1.1.2 Características de los granos secos de destilería con solubles.

Las características de los DDGS dependen de la calidad del producto inicial, del equipo utilizado y de las condiciones del procesamiento (temperatura, tiempo de cocción, destilación, deshidratación y granulado). En general, se concentran (2.2 a

3 veces) el contenido en fibra, proteína, extracto etéreo y cenizas, en relación con el producto original, es decir el maíz molido. ^{9, 11}

Los motivos por los cuales se emplean los DDGS en la alimentación animal, son porque representan una buena fuente proteína (25- 32%) y energética (EM 2.15- 3.1 Mcal/kg) ^{3, 12-14}, que pueden sustituir en cierta proporción a ingredientes energéticos y proteicos utilizados en dietas para aves. Además, los DDGS provenientes de maíz amarillo tienen una alta palatabilidad, cuentan con una aceptable disponibilidad de fósforo y pueden mejorar la pigmentación de la piel y de la yema del huevo debido a que aportan xantofilas (40 ppm). ^{4, 15, 16}

El principal problema de su empleo, es que presenta gran variabilidad en el contenido de nutrientes y su calidad. Recientemente, los DDGS provienen de plantas de etanol con una tecnología más avanzada y estandarizada lo que se traduce en DDGS más regulares en el contenido de proteína, grasa, calcio y fósforo; estas características aunadas a un precio accesible hacen a los DDGS un ingrediente alternativo para emplearlo en la alimentación de las aves; estos granos de “nueva generación” presentan un característico color dorado y olor dulce diferenciándolos de los granos de “viejas generaciones” que presentaban un color café y olor a quemado. ^{17, 18, 19}

Otro problema importante de este co-producto podría estar representado por la cantidad de micotoxinas que contengan, ya que pueden triplicarse, al igual que los nutrientes. Además, las micotoxinas no se destruyen durante la fermentación.

El aceite contenido en los DDGS está formada por ácidos grasos insaturados, siendo el linoleico, oleico y palmítico los más abundantes (50 %, 25% y 15% respectivamente del total de ácidos grasos). El ácido linoleico es de mucha importancia en la formulación de dietas ya que, no es sintetizado por las aves y resulta esencial para el crecimiento, el tamaño del huevo y la incubabilidad. ^{20, 21}

Recientemente, la gran mayoría de las plantas productoras de etanol remueven aún más el aceite contenido en los solubles de destilería condensados del maíz amarillo mediante centrifugación, esto trae como consecuencia la generación de un nuevo co-producto llamado “DDGS bajos en aceite” (RF-DDGS por sus siglas en inglés). Este co-producto (Cuadro 1), tiene menor contenido de grasa y ligeramente mayor concentración de proteína y otros nutrientes respecto a los contenidos en DDGS convencionales. Por otra parte, la importación de estos nuevos co-productos cada vez será mayor en México y América Latina. ^{3, 22, 23}

1.1.3 Granos secos de destilería con solubles en la alimentación de la gallina de postura.

Se han hecho diversos estudios sobre cuál es el límite de inclusión de DDGS, sin que altere la producción en gallinas de postura. Diversas publicaciones señalan que un 15 % de inclusión de DDGS no repercute en la mayoría de los parámetros productivos analizados ²⁴. Mientras otros autores han observado efectos negativos con el empleo del 15 % de DDGS, mencionando una reducción significativa en el

porcentaje postura en las aves y a su vez proponen un nivel máximo de inclusión del 12%.²⁵

En cuanto a la pigmentación se refiere, pocos datos existen sobre este tema, algunos estudios que se han realizado en los últimos años revelan que los DDGS son una buena fuente de xantofilas (30-50 ppm), aunque en menor cantidad que el gluten de maíz (180- 200 ppm) ^{4, 16}; además se ha observado que los niveles de luteína en la yema del huevo, aumentan linealmente conforme se incrementan los niveles de DDGS en la dieta. Algunos pasos en el procesamiento de los granos de destilería (sobrecalentamiento) pueden resultar en la unión de las xantofilas con agentes oxidantes, lo que disminuye la cantidad de xantofilas que pueden ser aprovechadas.^{24, 26}

Los valores de contenido de xantofila de DDGS de maíz han sido reportados como 10.62 mg/kg ²⁷, 29.75 mg/kg ²⁴, 34 mg/kg ²⁸ y 59 mg/kg ²⁹

1.2. Pigmentación de la yema de huevo.

En México, una de las características del huevo que se relaciona directamente con el grado de aceptación por parte del consumidor, es el color o pigmentación de la yema. Dependiendo de la ubicación geográfica, la cultura y las tradiciones, hay percepciones específicas, sobre lo que constituye una buena, apetitosa y saludable pieza de huevo. En este contexto, existen algunos mercados que prefieren las yemas con el máximo color amarillo posible, otros prefieren los

colores anaranjados o rojos, en tanto que otros se encuentran en una situación contraria rechazando incluso los huevos muy pigmentados.³⁰

La pigmentación de la yema del huevo depende de los carotenoides que recibe la gallina en el alimento, ya que estos no pueden ser sintetizados ni por los mamíferos ni por las aves, estos se sintetizan principalmente en los tejidos vegetales.³¹

La explotación intensiva de las aves impide que estas se encuentren consumiendo vegetales al aire libre, por lo que las dietas deben complementarse con fuentes naturales ricas en carotenoides o mediante carotenoides sintéticos.

1.2.1 Carotenoides.

Los carotenoides son compuestos ampliamente difundidos en la naturaleza, se encuentran presentes en diversas estructuras como plantas, una gran variedad de animales, algas, hongos y bacterias. Estos pigmentos no sólo son responsables del color de flores y frutos o de estructuras animales como las plumas y picos de algunos pájaros, el exoesqueleto de crustáceos y el músculo o la piel de algunos peces; son considerados también compuestos indispensables para la fotosíntesis, hasta el punto de que sin ellos, la fotosíntesis sería inviable ya que su función en plantas y bacterias es captar energía luminosa, energía que es luego transferida a las clorofilas para ser transformada y poder ser aprovechada.³²

Los carotenoides son sustancias solubles en lípidos, de naturaleza terpenoide, esto significa, que están formados por subunidades repetidas de la molécula de cinco carbonos denominada isopreno, cuyo arreglo se hace inverso en el centro, y pueden ser de cadena lineal o tener ciclizaciones en los extremos. Poseen un sistema conjugado de dobles enlaces, denominado cadena poliénica, esta parte de la molécula conocida como cromóforo es responsable de la capacidad de los carotenoides de absorber luz en la región visible y, en consecuencia, de su gran capacidad de coloración que van desde el amarillo al rojo y al púrpura. Los carotenoides se presentan en diferente forma geométrica (isomería cis o trans o Z-E), la forma trans es más efectiva para la pigmentación debido a que su coloración es más roja y a su gran estabilidad.^{31, 33}

No obstante, el interés por estos compuestos isoprenoides se ha multiplicado a nivel mundial, debido a estudios realizados en los cuales han concluido que algunos, son compuestos con actividad antioxidante y son benéficos para la prevención de diversas enfermedades, como ciertos tipos de cáncer, trastornos oculares y vasculares, etc.^{34- 37}

Clasificación de los carotenoides.

Se han aislado y caracterizado más de 600 carotenoides³⁸, para los cuales se han propuesto diversas clasificaciones, la más simple es la que los subdivide en dos grandes grupos de acuerdo a su estructura química:

1. Carotenos: hidrocarburos, que contienen solamente carbono e hidrógeno.
2. Xantofilas: hidrocarburos, los que además de contener carbono e hidrógeno, también poseen oxígeno en su estructura, conocidos también, como oxicarotenoides. Por sus características químicas, éstas son las que tienen una importancia real en la pigmentación de la yema del huevo.

Una clasificación más completa es la de Marusich y Bauernfeind en 1971, catalogan a los carotenoides en base su función provitamina A y a su acción pigmentante:

1. Precursores de la vitamina A que no pigmentan (α y β -carotenos).
2. Precursores de la vitamina A que pigmentan como son: Criptoxantina, β - apo-8'- carotenal y el ácido β -apo-8' carotenoico.
3. No precursores de la vitamina A, que no pigmentan, o bien pigmentan poco como la violaxantina y neoxantina.
4. No precursores de la vitamina A que pigmentan, como la luteína, zeaxantina y cantaxantina.

Clasificación de las xantofilas.

Las xantofilas están ampliamente distribuidas en la naturaleza, por lo tanto los que se muestran a continuación son algunos de los oxicarotenoides (Figura 2), de origen natural que se han empleado en la alimentación de las aves:

1. Luteína: Es de un color amarillo limón y está presente en la harina de alfalfa, maíz amarillo, algas y en la flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*).
2. Zeaxantina: Con un color amarillo-naranja, presente en el maíz amarillo, en la alfalfa, el gluten de maíz y en la flor de cempasúchil.
3. Capsantina: Aporta un color rojo y se encuentra en los chiles del género *Capsicum*.
4. Criptoxantina: Tiene un color amarillo-anaranjado. Se puede hallar abundantemente en el pimiento dulce y en menor proporción en el maíz y la alfalfa.
5. Bixina: Es un pigmento amarillo procedente del arbusto tropical achiote o bija (*Bixa Orellana*).
6. Astaxantina: Pigmento de coloración roja que se obtiene de los crustáceos.

7. Citranaxantina: Es un carotenoide de color amarillo-pardo y se halla en algunas frutas cítricas.

8. Cantaxantina: Pigmento de color rojo fuerte, se encuentra en el hongo cantarela, robellón o níscolo, así como en el caparazón de algunos crustáceos.^{30, 39}

Fuentes naturales y sintéticas de xantofilas.

Las principales fuentes naturales de xantofilas empleadas de luteína y zeaxantina por la avicultura en México, son los carotenoides del maíz amarillo, de la flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*), y los de chiles del género *Capsicum* (capsantina, aportan color rojo).^{40, 41}

Con la idea de reducir los costos en la formulación de dietas para aves por concepto de pigmento, el empleo de DDGS como fuente complementaria, es importante, ya que aporta una cantidad considerable (30-50 mg/kg), la cual se complementa con la adición pigmentos que la industria ha desarrollado desde hace varios años ricos en xantofilas como la flor de cempasúchil y los pigmentos sintéticos.^{24, 27, 28, 29}

En el proceso para la obtención de concentrados de harina de flor de cempasúchil, en primer lugar los pétalos de la flor se deshidratan y se trituran formando una

pasta pulverizada, posteriormente se realiza la extracción (con solventes) para obtener oleorresina (carotenoides esterificados con ácidos grasos); posteriormente es saponificado (hidrólisis alcalina), para obtener la luteína en su forma libre (disponible para pigmentar).

Los carotenoides purificados son estabilizados para prevenir su oxidación e isomerización y son microencapsulados para darles una mejor dispersión cuando son incluidos en la dieta.⁴²

Los carotenoides sintéticos más utilizados son:

1. Apo-ester (Etil-ester del ácido β -apo-8' carotenoico): es una molécula de color amarillo naranja.
2. Cantaxantina (4, 4'-diketo- β -caroteno): es utilizada en la avicultura como base roja.
3. Citranaxantina (6'-metil-6'-apo- β -caroteno-6'-uno): se obtiene a partir del β -apo-8'- carotenal, por lo tanto da un color amarillo a la piel y a la yema de huevo.^{43, 44-46}

Cantaxantina.

Cuando no es suficiente una pigmentación amarilla, por intensa que sea para cubrir las exigencias del mercado con tonalidades amarillo-naranja o amarillo-rojizas, es necesario agregar xantofilas rojas, tales como la cantaxantina. Normalmente se complementa de 1 a 2 ppm de cantaxantina por kg de dieta.⁴⁰

La cantaxantina, además de pigmentante, es uno de los antioxidantes liposolubles más poderoso que nos ofrece la naturaleza, ya que muestra una potente actividad antiradicales libres. Estas propiedades han despertado gran interés en la comunidad científica, hasta el punto que los estudios realizados apuntan que la presencia de cantaxantina podría efectivamente reducir las reacciones oxidativas que tienen lugar en distintos tejidos y en los embriones de pollo. En el huevo, la cantaxantina se transfiere de forma muy eficiente del saco vitelino al embrión en desarrollo, donde se distribuye por distintos órganos y tejidos. Se han hecho diversos estudios donde concluyen que la cantaxantina mejora la tasa de eclosión, la fertilidad, y la reducción de la presencia de agentes oxidantes.^{47, 48}

La deposición de la cantaxantina en la yema de huevo, es directamente proporcional a los niveles dietéticos y asciende a un rango entre el 30 y 45% de los valores suplementados, en cambio la luteína tiene un rango de deposición entre el 20 y 30 %.^{33, 42, 49-51}

En el Cuadro 2, se muestran los valores de algunas fuentes de xantofilas que se han empleado en la alimentación de las aves.

1.2.1.1. Metabolismo de los carotenoides.

Entre las distintas especies de animales, se presentan diferencias al momento de absorber los carotenoides. Los mamíferos, por ejemplo, tienen una absorción mayor de β caroteno, mientras que los peces y las aves absorben mejor los oxicarotenoides.⁴⁹

En la dieta, los carotenoides pueden encontrarse de diversas formas: en su forma libre, unidos a proteínas o esterificados como monoésteres o diésteres.

Los carotenoides son sustancias liposolubles, en general siguen la misma ruta de la digestión de los lípidos. Principalmente se asimilan a nivel del duodeno y parte proximal del yeyuno y el resto son absorbidos en la porción anterior y media del íleon. Esta absorción es promovida en presencia de ácidos y sales biliares.

De manera general una vez que se han liberado de la matriz del alimento, los carotenoides son hidrolizados en el intestino delgado y se absorben vía difusión pasiva a través de las membranas del intestino.^{42, 52}

Después de ser absorbidos, los carotenoides son transportados por la sangre, almacenados en hígado y depositados en órganos y tejidos como el adiposo, piel y tarsos, así como los folículos ováricos donde se depositan y eliminan en el caso de las gallinas.

La capacidad pigmentante está relacionada con el grado de asimilación a nivel del intestino delgado en primer lugar, y en segundo lugar por la afinidad específica o preferencia de cada carotenoide por depositarse en un tejido determinado. ^{53- 55}

El grado de absorción puede variar dependiendo de la forma en que se presentan los carotenoides (libres o esterificados). La mayoría de las xantofilas que contiene la flor de Cempasúchil (*Tagetes erecta*) se encuentran en forma esterificada; por el contrario, la mayor parte de los caratoneoides que aporta el maíz se encuentran no esterificados. La luteína libre o no esterificada, es la principal forma en la que esta es absorbida en el intestino. ^{32, 42}

En el caso de la gallina de postura, los carotenoides esterificados, son los que se depositan mejor en la yema del huevo. ^{49, 52, 56}

El proceso de saponificación (carotenoides en forma libre) mejora la absorción de las xantofilas. La saponificación de la luteína (di-palmitato de luteína), tiene lugar en el intestino delgado gracias a las sales biliares durante la digestión o en el proceso de fabricación del pigmento añadiendo un compuesto alcalino. ^{42, 52}

También la absorción de los carotenos dependerá del tipo de grasas en la dieta. Los ácidos grasos saturados de cadena corta (ácido laúrico), promueven más la absorción, debido a que favorecen la formación de micelas lipídicas, seguida de triglicéridos y finalmente ácidos grasos insaturados de cadena larga.

La absorción de los carotenoides en la mucosa intestinal se lleva a cabo mediante un mecanismo pasivo (a favor de un gradiente de concentración), en donde la luteína en forma libre se absorbe rápidamente. Esta absorción es promovida en presencia de ácidos y sales biliares. ^{33, 57}

1.2.1.2. Transporte y depósito en tejidos.

Los carotenoides se reesterifican en las células de la mucosa intestinal, ahí se unen con las lipoproteínas de alta densidad (HDL) y las lipoproteínas de baja densidad (LDL) y son transportados vía sanguínea al hígado. ⁴² Los carotenos se encuentran fundamentalmente unidos a las LDL, mientras que las xantofilas se encuentran ligadas a las HDL. ⁵⁷

En el hígado, la mayor parte de la luteína transportada se encuentra en forma libre, mientras que los monoésteres representan el porcentaje restante, las xantofilas después vuelven a ser transportadas en la sangre, la luteína se transporta principalmente en su forma libre, pero es re-esterificada por enzimas locales, cuando entra a los sitios de depósito. Así, podemos encontrar que los principales carotenoides de la yema de huevo y el suero son la luteína en forma libre, la luteína mono y diésterificada, y la 3'-oxiluteína, lo que indica una vía metabólica oxidativa adicional. En cambio en la grasa subcutánea, se encuentra la luteína en forma de diéster. ^{42, 52, 58}

La información sobre el valor de las xantofilas de los alimentos naturales es muy abundante y a la vez muy contradictoria. Esta contradicción obedece a la gran variabilidad del contenido de xantofilas en los alimentos, esto puede deberse a diversos factores como: el origen genético del vegetal u hongo, las circunstancias de su cultivo (agua, luz, abono), el estado de madurez de la planta, la duración y las condiciones del almacenaje antes de su consumo, etc.

1.3. Evaluación del color y la pigmentación de la yema del huevo.

El análisis del pigmento y la evaluación del color son conceptos muy diferentes, aún cuando se les emplea como sinónimos. La pigmentación se puede conceptualizar como la deposición de pigmento que puede afectar la propiedad de reflejar la luz de un objeto y por lo tanto de alterar el color. El color es la propiedad de un objeto en términos de cómo la luz es reflejada por este objeto y parte es emitida por la superficie como ondas de diferentes longitudes.⁵⁹

Se han desarrollado y utilizado muchos métodos para evaluar la pigmentación en la piel de pollo y la yema de huevo. La selección del mejor método debe ser en función de alguna situación en particular, debido a que un solo método a veces no puede cumplir con lo que se desea evaluar, mientras algunos procedimientos describen el color final del producto, otros describen el depósito del pigmento.

Los métodos de evaluación de color y la pigmentación de productos avícolas son:

Apreciación visual.

La evaluación del color se puede hacer subjetivamente mediante el ojo humano, con base o no en una norma visual. El abanico colorimétrico de DSM®, entre otros, son usados para evaluar el color de la yema de huevo y la piel del pollo de engorda, la evaluación consiste en comparar mediante la observación visual la yema de huevo o la piel del pollo con patrones preestablecidos en el abanico que consta de hojas coloreadas y numeradas, cuya interpretación se relaciona con las condiciones del mercado.

En el caso del abanico colorimétrico de DSM®, la escala numérica presenta valores del 1 al 15 donde las tonalidades de las hojas varían del amarillo pálido hasta naranja intenso.

La desventaja de este método, es la gran variación en la apreciación de cada persona que evalúa el color y de la intensidad de la luz con la que se está evaluando; además, no describe con precisión el color por la incapacidad de los ojos para distinguir las diferencias verdaderas en la concentración de los pigmentos en la yema o piel.⁶⁰

Colorimetría de Reflectancia.

Se basa en el empleo de espectrofotómetros de reflectancia, que usan una fuente lumínica y un detector constante. Estos instrumentos iluminan el objeto con una fuente de luz conocida y determinan la reflectancia en cuanto a longitudes de onda predefinidas que se usan para expresar y calcular el color. Pueden utilizarse equipos portátiles o fijos, y pueden emplearse tanto en interiores como en exteriores, sin que esto implique diferencias en las lecturas

El colorímetro funciona dando tres valores numéricos:

1. Luminosidad (L), que es la presencia o no de luz, abarcando desde el negro absoluto, con un valor de cero, hasta la iluminación total, con un valor de 100. En el caso de la piel de pollo un rango aceptable varía entre 64 y 72. ⁶⁰
2. Enrojecimiento (a), las lecturas abarcan un rango de -60 a +60. Los valores con tendencia negativa corresponden a los colores verdes y los de tendencia positiva corresponden a los rojos. Un valor aceptable en el caso de la piel de pollo se necesita un valor mínimo de 2. ⁶⁰
3. Amarillamiento (b), las lecturas van de un rango de -60 a +60. Teniendo a los colores azules en los valores negativos, mientras que los amarillos corresponden a valores positivos. En el caso del pollo se necesita un valor

mínimo de 45 y en la yema de huevo se necesita un valor de 45 para obtener 10-11 puntos en el abanico colorimétrico.^{51, 60, 61}

Análisis químico del pigmento o método indirecto.

Se basa en la extracción y cuantificación de los pigmentos, sea individualmente o en grupo, contenidos en una muestra como: alimento, suero, piel de la pechuga o de los tarsos, yemas de huevo y órganos como el hígado. Se utiliza principalmente la técnica de Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución (HPLC).⁶²

El HPLC es una técnica de separación, identificación y cuantificación de los pigmentos, la cual separa los lípidos solubles cuando estos pasan por una columna y por una cierta serie de reactivos, lo que hace que los diferentes carotenoides se puedan extraer.^{52, 62}

2. JUSTIFICACIÓN.

Debido a que la mayoría de los estudios que se han realizado acerca del uso de DDGS en dietas para pollos de engorda y gallinas de postura, han sido en dietas con base a maíz-soya-DDGS y a los adelantos tecnológicos, como lo es la extracción de aceite, que han hecho posible obtener nuevos y mejores co-productos del proceso de producción de etanol como lo son los DDGS bajos en aceite, se planteó el presente estudio para evaluar el empleo de dos muestras de DDGS bajos en aceite en dietas sorgo-soya para gallinas de postura y su efecto sobre el rendimiento productivo (porcentaje de postura, peso promedio del huevo, masa de huevo, consumo de alimento y conversión alimenticia) y la pigmentación de la yema del huevo.

3. HIPÓTESIS.

El empleo de DDGS bajos en aceite en dietas sorgo-soya no afecta el comportamiento productivo (porcentaje de postura, peso promedio del huevo, masa de huevo, consumo de alimento y conversión alimenticia).

La adición de DDGS bajos en aceite en dietas sorgo-soya mejora la pigmentación de la yema de huevo.

La inclusión de 1 ppm y 2 ppm de cantaxantina en dietas sorgo-soya y sorgo-soya-DDGS mejora la pigmentación de la yema de huevo.

4. OBJETIVOS.

Evaluar el efecto de los DDGS bajos en aceite, con una inclusión del 6% y 12% en dietas sorgo-soya, sobre el comportamiento productivo (porcentaje de postura, peso promedio del huevo, masa de huevo, consumo de alimento y conversión alimenticia) en gallinas Bovans White.

Determinar la coloración de la yema del huevo, al incluir DDGS bajos en aceite, con una inclusión del 6% y 12% en dietas sorgo-soya.

Evaluar la coloración de la yema del huevo, al incluir en las dietas sorgo-soya- DDGS 1 y 2 ppm de cantaxantina.

5. MATERIAL Y MÉTODOS.

Ubicación.

La investigación se realizó en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (C.E.I.E.P.Av) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, el cual se localiza en la calle de Manuel M. López S/N en la Colonia Santiago Zapotitlán de la Delegación Tláhuac, Distrito Federal, a una altura de 2250 m.s.n.m, en el paralelo 19°17' latitud norte y el meridiano 99° 02' 30" longitud oeste. El clima es templado subhúmedo (Cw), su temperatura promedio anual es de 16°C y la precipitación pluvial anual media de 747 mm.⁶³

Diseño del experimento.

Se utilizaron 360 gallinas de la estirpe Bovans White de 69 semanas de edad (51 semanas en producción), alojadas en jaulas convencionales, en una caseta de ambiente natural. Las aves se distribuyeron al azar en 5 grupos de 72 aves cada uno. A las aves se les proporcionó un fotoperiodo de 16 horas luz/día. El alimento y el agua se ofrecieron a libre acceso durante todo el experimento.

Se utilizó un diseño completamente al azar, de 5 tratamientos con 6 repeticiones de 12 gallinas cada una. Los tratamientos fueron los que a continuación se presentan:

- Tratamiento 1.- Dieta testigo sorgo-soya.
- Tratamiento 2.- 6% de DDGS A.
- Tratamiento 3.- 12% de DDGS A.
- Tratamiento 4.- 6% de DDGS B.
- Tratamiento 5.- 12% de DDGS B.

Las dietas se formularon utilizando el programa Nutrion Windows TM versión 5.0 Pro.⁶⁴

El estudio tuvo una duración 70 días, todas las dietas empleadas fueron a partir de una dieta basal sorgo–soya con 15% de P.C y con 2800 kcal/kg de EM, a las cuales se le adicionaron 6 y 12% de las dos muestras de DDGS (A y B) bajos en aceite con la misma cantidad de proteína y energía tal como se muestra en el Cuadro 3.

Evaluación de variables productivas.

Diariamente se midió la producción de huevo y el peso promedio del huevo, para así poder calcular porcentaje de postura, peso promedio del huevo y masa de huevo.

Cada semana se recogió el alimento sobrante de cada replica para calcular el consumo de alimento. La conversión alimenticia se calculó tomando en consideración el consumo de alimento y el peso del huevo.

Se realizó un resumen de los parámetros productivos en las semanas cuatro, siete y diez.

Evaluación del color.

Previo al inicio del estudio, se tomaron muestras de DDGS A y B bajos en aceite para realizar un análisis químico proximal (Cuadro 4) y también se determinó por HPLC la cantidad de luteína y zeaxantina (Cuadro 5).

A partir de esta determinación de xantofilas, se adicionaron a todos los tratamientos 8 ppm de xantofilas de flor de cempasúchil para tener una pigmentación base de un color pálido y poder así analizar si existe un aumento en la pigmentación con la inclusión de DDGS.

Para evaluar la pigmentación en las yemas del huevo sin y con adición de cantaxantina en el alimento, el experimento constó de 3 etapas (1 a 28 días, 29 a 49 días y de 50 a 70 días).

En la primera etapa solo se adiciono 8 ppm de pigmento amarillo y se midió cual fue el impacto que tuvo el adicionar 6 y 12 % de DDGS A y B bajos en aceite sobre la pigmentación de las yemas. Para estudiar el efecto de la adición de cantaxantina en las dietas, sobre la pigmentación de la yema del huevo, a partir del día 29 al 49 de experimentación, a todos los tratamientos se les agregó 1 ppm de cantaxantina. Posteriormente del día 50 al 70 de experimentación, a todos los tratamientos se le agregó 2 ppm de cantaxantina (Cuadro 6).

Al terminar cada fase de alimentación, se midió la pigmentación de la yema en los huevos producidos el último día de cada etapa utilizando las técnicas de apreciación visual con el abanico colorimétrico de DSM® y la colorimetría de reflectancia mediante un colorímetro de reflectancia Minolta CR 400®. Las lecturas se realizaron sobre un fondo metálico y con luz natural.

Análisis Estadístico.

Al finalizar el estudio se realizaron los análisis estadísticos de las variables en estudio, conforme a un diseño experimental completamente al azar utilizando el paquete estadístico SPSS versión 17 para Windows.⁶⁵

Mediante el siguiente modelo:

$$Y_{ik} = \mu + \alpha_i + e_{ik}$$

$i = (1, 2, 3, 4 \text{ y } 5)$.

$k = (1, 2, 3, 4, 5 \text{ y } 6)$.

Y_{ik} = Variable de respuesta (porcentaje de postura, peso promedio del huevo, masa de huevo, consumo de alimento, conversión alimenticia, pigmentación amarilla, pigmentación roja, luminosidad y coloración con el abanico de DSM®).

μ = Media general.

α_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

$e_{(ik)}$ = Error experimental.

En caso de que existiera diferencia estadística entre tratamientos ($P < 0.05$), los datos de las variables en estudio se sometieron a un análisis estadístico de comparación de medias mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de ($P < 0.05$). Para esto, se empleó el paquete estadístico SPSS versión 17 para Windows.⁶⁵

6. RESULTADOS.

Los resultados obtenidos del análisis químico proximal (Cuadro 4), de las 2 muestras de DDGS bajos en aceite, indicaron ser similares en materia seca, humedad, proteína cruda, cenizas, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno. Sin embargo en extracto etéreo, los DDGS A obtuvieron mayor porcentaje (6.54%) respecto a los DDGS B (5.39%), lo cual indica que los DDGS A contienen mayor cantidad de lípidos que los DDGS B.

Los datos obtenidos de la determinación de xantofilas totales, porcentaje de luteína y porcentaje de zeaxantina en los DDGS A, indicaron que tuvieron mayor cantidad de xantofilas totales (25.6 mg/kg), pero menor porcentaje de luteína (23.26%), y mayor porcentaje de zeaxantina (40.54%) respecto a los DDGS B, tal como se aprecia en el Cuadro 5.

Los resultados promedio obtenidos para porcentaje de postura, peso promedio del huevo, consumo de alimento, masa de huevo y conversión alimenticia se pueden apreciar en el Cuadro 7. Estos datos, indicaron que no hubo diferencia ($P>0.05$) entre tratamientos con resultados similares al adicionar 6 y 12 % de DDGS.

Los resultados de la evaluación de la yema de huevo a los 28 días con dietas que contenían sólo 8 ppm de pigmento amarillo, se observan en el Cuadro 8. Se muestra como los resultados de luminosidad y DSM, no fueron diferentes ($P>0.05$)

entre tratamientos. Sin embargo, para la variable de enrojecimiento y amarillamiento los datos indicaron diferencia estadística ($P < 0.05$). Para el enrojecimiento, el tratamiento 1 resultó ser el valor más bajo (-7.30) seguido de los tratamientos con 6 y 12 % de inclusión de DDGS A o B respectivamente con una mayor pigmentación en los tratamientos con 12 % de DDGS (-6.11 A y -6.17 B). Por otra parte, los datos del amarillamiento de la yema indicaron ser diferentes ($P < 0.05$) entre tratamientos, con el mismo comportamiento de pigmentación que sucedió en el enrojecimiento de la yema.

Los resultados de la pigmentación de la yema con la adición de 1 ppm de cantaxantina, del día 29 al 49 se muestran en el Cuadro 9. Los datos de luminosidad y enrojecimiento no mostraron diferencias ($P > 0.05$) entre tratamientos; sin embargo, en amarillamiento, los resultados fueron diferentes ($P < 0.05$) entre tratamientos, con una menor pigmentación (38.04) en el tratamiento que no se le adicionó DDGS, seguidos por un mayor amarillamiento en los tratamientos con 6 y 12 % de DDGS A o B, cabe señalar que el tratamiento con 12 % de DDGS B obtuvo el mayor valor (42.33) de pigmentación amarilla ($P < 0.05$) respecto a los demás tratamientos. Para la variable DSM, los resultados de los tratamientos 1, 2, 4 y 5 fueron similares ($P > 0.05$), sin embargo en el tratamiento 3 se obtuvo el mayor ($P < 0.05$) valor en la coloración de la yema con el abanico de DSM®.

En el Cuadro 10, se pueden observar los resultados de la evaluación de la pigmentación de la yema de huevo con la adición de 2 ppm de cantaxantina del día 50 al 70 se puede apreciar que para las variables luminosidad, enrojecimiento y apreciamiento del color con el abanico colorimétrico de DSM® no se observaron ($P>0.05$) diferencias entre tratamientos. Sin embargo, para el amarillamiento de la yema el tratamiento con 0 % de DDGS se obtuvo el menor valor estadísticamente ($P<0.05$) respecto a los tratamientos con 6 y 12% de DDGS A o B.

En la Figura 3, se muestran los resultados de la evaluación del amarillamiento de la yema de huevo con el fotocolorímetro de reflectancia en los distintos tratamientos con la inclusión de 0, 1 y 2 ppm de cantaxantina en la dieta. Se puede apreciar que en el tratamiento sin DDGS la pigmentación amarilla se incrementó conforme se aumentó la inclusión de cantaxantina, sin embargo para los tratamientos con 6 y 12% de DDGS A y B solo se incrementó la pigmentación amarilla de la yema con 2 ppm de cantaxantina, no así al incluir 1 ppm, la pigmentación se comportó similar a la no adición de cantaxantina.

En la Figura 4, se muestran los resultados de la evaluación del enrojecimiento de la yema de huevo con el fotocolorímetro de reflectancia en los diferentes tratamientos con la inclusión de 0, 1 y 2 ppm de cantaxantina en la dieta. Se muestra como al no incluir cantaxantina en la dieta, existe menor enrojecimiento de la yema. Se puede apreciar que el enrojecimiento se incrementó numéricamente conforme se adiciono 1 y 2 ppm de cantaxantina.

En la Figura 5, se muestran los resultados de la evaluación de apreciación del color de la yema con el abanico de DSM® con la adición de 0, 1 y 2 ppm de cantaxantina en los diferentes tratamientos. Se puede observar que en todos los tratamientos, se incrementaron los valores numéricamente de coloración de la yema al incluir 1 o 2 ppm de cantaxantina.

7. DISCUSIÓN.

La implementación de tecnología de extracción de aceite en el proceso de elaboración de etanol, ha dado lugar a una amplia gama de contenido de grasa cruda en los DDGS (3 a 12%), existen pocos estudios sobre los DDGS bajos en aceite y su inclusión en dietas para animales. En cuanto a los resultados de extracto etéreo obtenidos del análisis químico proximal (5.39 y 6.54%), se observa que tienen menor contenido de grasa que los DDGS convencionales (9-11%) (Batal *et al.* 2006) ⁶⁶, pero resultan ser valores más altos a los reportados por Rochelle *et al.* (2011) ²² 3.15%, Jacela *et al.* (2011) ⁶⁷ 4.56% y Anderson *et al.* (2011) ⁶⁸ 3.15%, esto puede ser asociado al proceso de elaboración y a la tecnología de extracción de aceite usada por las diferentes plantas productoras de etanol.

Las variables porcentaje de postura, peso promedio del huevo, consumo de alimento y conversión alimenticia no fueron diferentes estadísticamente entre tratamientos ($P > 0.05$) e indican que la inclusión de DDGS en los diferentes porcentajes utilizados en las dietas experimentales (6 y 12%) durante los 70 días de experimentación no tuvieron efecto negativo en estas variables, datos similares fueron publicados por diversos estudios usando DDGS convencionales con 10% de grasa cruda en promedio como el de Roberts *et al.* (2007) ⁶⁹, quienes encontraron que el uso de 10% de DDGS en dietas de gallinas ponedoras no tuvo efectos negativos en la producción de huevo. Del mismo modo Robertson *et al.*

(2005) ²⁴ concluyeron que usando DDGS se podría alimentar a las gallinas ponedoras a niveles tan altos como el 15%, mientras que Lumpkins *et al.* (2005) ²⁵ mencionan una reducción significativa ($P < 0.05$) en la postura en las aves con un nivel del 15% de inclusión, sugiriendo una inclusión máxima de 10 a 12 %.

Matterson *et al.* 1966 ⁷⁰, Harms *et al.* 1969 ⁷¹, Jensen *et al.* 1978 ⁷², Lumpkins *et al.* 2005 ²⁵, Roberson *et al.* 2005 ²⁴ y Cheon 2008 ²¹ indican que las gallinas ponedoras incluso pueden ser alimentadas con niveles de 20% de DDGS sin ningún efecto negativo sobre la producción de huevo y el peso del huevo. Por el contrario, Swiatkiewicz *et al.* (2006) ⁷³ mencionan que se puede incluir en la dieta hasta un 15% sin efectos negativos sobre el rendimiento y la calidad del huevo, pero una adición del 20% de DDGS en la dieta disminuyó los parámetros de producción de huevos.

Estos resultados tan variables en los diferentes estudios pueden ser asociados a múltiples factores como lo plantea Belyea *et al.* (2004) ¹¹ quienes indican que la calidad del maíz empleado en el proceso, tiempo de almacén de los DDGS, tecnología usada en la planta de etanol, calidad del equipo utilizado y las condiciones del procesamiento para la elaboración de DDGS, modifican el contenido de nutrientes y la calidad de los DDGS.

Respecto a la pigmentación de la yema de huevo, se ha observado en diferentes estudios (Cheon *et al.* 2008 ²¹, Masa'deh *et al.* 2011 ⁷⁴, Sun *et al.* 2013 ²⁶) que la pigmentación y los niveles de luteína en la yema del huevo, aumentan

linealmente conforme se incrementan los niveles de DDGS en la dieta. Robertson *et al.* (2005) ²⁴ mencionan que el enrojecimiento (a) aumenta linealmente mediante el incremento de los niveles de DDGS, también exponen que la yema de huevo cambia visualmente al plazo de un mes, cuando se incluyen 10% o más de DDGS y se incrementa cuando se alimenta por dos meses, con 5% DDGS, en el presente experimento se obtuvieron resultados similares al medir el enrojecimiento (a) y el amarillamiento (b) por medio del colorímetro de reflectancia en el cual el tratamiento con 0% de DDGS resultó ser el dato más bajo seguido de los tratamientos con 6 y 12 %. (A y B), este aumento lineal en el amarillamiento y enrojecimiento no se observó reflejado en los resultados obtenidos al medir la coloración de la yema de huevos con el abanico de DSM®.

Cabe recalcar que las xantofilas totales en los DDGS pueden ser muy variables como lo señalan Robertson *et al.* (2005) ²⁴, quienes al analizar una muestra de DDGS dorados observa que tiene niveles de xantofilas de 29.75 mg/kg comparado con una muestra analizada de DDGS de color café (sugestivo a un sobrecalentamiento durante su proceso) los cuales presentaron valores de xantofilas de 3.48 mg/kg. Resultados más altos, han sido obtenidos por Sauvante *et al.* (2004) ²⁸ (34 mg/kg) y Tangendjaja *et al.* (2011) ²⁹ (59 mg/kg). Los resultados del análisis de xantofilas totales en las muestras usadas en este experimento fueron de 25.6 mg/kg (A) y 24.2 mg/kg (B).

En cuanto a la cantidad de luteína y zeaxantina contenida en los DDGS no existe mucha información, por ejemplo, Masa´deh *et al.* 2011 ⁷⁴ y Sun *et al.* 2013 ²⁶ mencionan que las xantofilas en los DDGS son altamente disponibles, de fácil digestión y absorción. Los resultados para el análisis de xantofilas exponen que la muestra A tiene un contenido de luteína de 5.95 mg/kg (23.26% de las xantofilas totales) y 10.37 mg/kg de zeaxantina (40.53% de las xantofilas totales), mientras la muestra B presenta 5.85 mg/kg de luteína (24.19% de las xantofilas totales) y 8.14 mg/kg de zeaxantina (33.67% de las xantofilas totales).

Teniendo como base una dieta sorgo-soya con la adición de 8 ppm de xantofilas de flor de cempasúchil con 1.54 ppm y 3.07 ppm de xantofilas totales a partir de 6 y 12% de DDGS A respectivamente o bien 1.45 ppm y 2.90 ppm de xantofilas totales a partir de 6 y 12% de DDGS B respectivamente, se observó que el color de la yema de huevo en la escala del abanico de DSM®, sin la adición de cantaxantina arrojó valores promedio de 3.9. Sin embargo, el tono amarillo pálido de la yema, se pudo aumentar con la inclusión de 1 ppm de cantaxantina en la dieta y obtener una coloración promedio de 9.12 y al adicionar 2 ppm se pudo incrementar a 9.7 de la misma escala. Resultados similares obtuvieron Santos *et al.* (2004) ⁷⁵ quienes emplearon 2.5 ppm de Apo-ester + 1.5 ppm de Cantaxantina durante 10 semanas en una dieta a base de sorgo-soya-arroz, obteniendo valores de 12.46 en la escala de DSM®. Por otro lado, Grashorn *et al.*(2002) ⁵⁰ , encontraron que los valores del abanico colorimétrico aumentan logarítmicamente conforme se aumentan los niveles de cantaxantina (0, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 32 y 64

ppm), sin embargo los valores obtenidos con 1 y 2 ppm fueron de 9.2 y 10.9, datos similares a los obtenidos en este estudio (9.12 y 9.7 respectivamente). Otros estudios, como el realizado por Esfahani-Mashhour *et al.* (2009) ⁴⁶, quienes evaluaron el efecto de *Dietzia natronolimnaea* (Bacteria) como fuente de cantaxantina en comparación con la cantaxantina sintética en la pigmentación de la yema de huevo y señalan que la inclusión de 4, 8 y 16 ppm de cantaxantina sintética obtuvieron valores de 12, 14 y 15 en base al abanico de DSM® respectivamente. Estos autores obtuvieron una coloración de la yema sin la adición de cantaxantina de 6.83. En el mismo sentido, García *et al.* (2002) ⁷⁶ concluyeron que para obtener yemas clasificadas como 14 en el abanico colorimétrico de DSM®, fue necesario añadir 6 ppm de cantaxantina. Los valores obtenidos en el presente experimento indican que es suficiente la inclusión de 1 ppm para obtener una similar apreciación del color con el abanico colorimétrico de DSM® respecto a la adición de 2 ppm de pigmento rojo.

Es importante señalar que la gran mayoría de los estudios realizados acerca del uso de DDGS en dietas para pollos de engorda y gallinas de postura, han sido investigados con base a dietas maíz-pasta de soya, cuando en México gran parte de las empresas avícolas, formulan dietas con base a sorgo-pasta de soya. Esto último, junto a los incrementos cada vez mayores de las fuentes de proteína, tales como la pasta de soya, induce a seguir investigando al respecto para generar información que permita al nutriólogo formular dietas que reduzcan su costo.

8. CONCLUSIONES.

Con base en los resultados obtenidos en gallinas de postura Bovans White alimentadas durante 70 días con dietas a base de sorgo-soya con niveles de 6 y 12% de DDGS bajos en aceite se puede concluir que:

1. La adición de 6% y 12% de DDGS bajos en aceite en dietas sorgo-soya para gallinas de postura, no afectó significativamente ($P>0.05$) el consumo de alimento, porcentaje de postura, el peso promedio del huevo, masa de huevo y la conversión alimenticia.
2. El empleo de 6% y 12% de DDGS bajos en aceite en dietas sorgo-soya para gallinas de postura, mejoró la pigmentación de la yema del huevo.
3. La adición de 1 y 2 ppm de cantaxantina en dietas sorgo-soya y sorgo-soya-DDGS, aumentó el enrojecimiento en la yema de huevo.

9. REFERENCIAS.

1. INEGI [homepage on the Internet]. México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía; 2010. [updated 2010; cited 2013 May 07]. Número de habitantes. [about 2 screens]. Available from: <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/habitantes.aspx?tema=P>.
2. FMVZ [homepage on the Internet]. México. UNAM FMVZ. 2005. [updated 2005; cited 2013 May 07]. Zootecnia de aves. [about 2 screens]. Available from: http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/p_estudios/apuntes_zoo/unidad_7_aves.pdf.
3. KESHUN L, KURT AR. Distillers grains production, properties, and utilization. CRC Press. EUA 2012.
4. BARRAGÁN RJ, MARTÍN DEL CAMPO MC, PEÑA AL, ROBLES OJ, MARTÍNEZ SP, JIMÉNEZ PC, HERNÁNDEZ GJ, DE LUCAS PE, REYES VP. Utilización de granos secos de destilería con solubles (DDGS) en la alimentación animal. Avances en la investigación científica en el CUCBA. 2008; 575-582.
5. DE BLAS C, MATEOS GG, REBOLLAR PG. DDGS de maíz (granos de destilería, DDG, y solubles, DDS). Universidad Politécnica de Madrid, España. 2007.

6. SHURSON G, SPIESHS M, WHITNEY M. The use of maize distiller's dried grain with solubles in pig diets. *Anim Sci* 2004; 9.
7. RENEWABLE FUEL ASSOCIATION. [homepage on the Internet]. EUA. Renewable Fuel Association 2013. [updated 2013; cited 2013 Aug 07] Statistics. [about 2 screens] Available from: <http://www.ethanolrfa.org/pages/statistics>.
8. FINANCIERA RURAL. [homepage on the Internet]. México. Financiera Rural; 2011 [updated 2011; cited 2013 May 07]. Monografía de los Granos de Destilería. [about 2 screens] Available from: [http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADaGranosDestil\(jul2011\).pdf](http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADaGranosDestil(jul2011).pdf).
9. DAVIS K. Corn Milling, processing and generation of co-products. 62nd Minnesota Nutrition Conference and Minnesota Corn Growers Association Technical Symposium. 2001 Sep 11- Sep12. Bloonington, Minnesota.
10. SHURSON J, NOLL S. Feed and alternative uses for DDGS. *Energy from agriculture: New Technologies, Innovative Programs & Success Stories* 2005; 14:1-11.

11. BELYEA RL, RAUSCH KD, TUMBLESON ME. Composition of corn and distillers dried grains with solubles from dry grind ethanol processing. *Bioresource Technology*. 2004; 94: 293–298.
12. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient Requirements of Poultry*. 9a ed. National Academy Press. Washington DC. 1994.
13. SPIEHS MJ, WHITNEY MH, SHURSON GC. Nutrient database for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. *Journal of Animal Science*. 2002; 80: 2639-2645.
14. LUMPKINS BS, BATAL AB, DALE NM. Evaluation of Distillers Dried Grains with Solubles as a Feed Ingredient for Broilers. *Poultry Science*. 2004; 83:1891–1896.
15. TRONCOSO AH. Uso de los Granos secos de destilería con solubles" en la alimentación de las aves de corral. *Los Avicultores y su Entorno*. Enero 2013:96-100.
16. SCOTT ML, NESHEIM MC, YOUNG RJ. *Nutrition of the chicken*. 3a ed. M.L. Scott & Associates. EUA. 1982.

17. CROMWELL GL, HERKELMAN K L, STAHLY TS. Physical, chemical, and nutritional characteristics of distillers dried grains with solubles for chicks and pigs. *J. Animal Science*. 1993; 71:679-686.
18. NOLL SL, ABE C, BRANNOM J. Nutrient compositions of corn distiller dried grains with solubles. *Poultry Science*. 2003; 82(Suppl. 1):71.
19. DALE N, BATAL A. Nutritional value of distillers dried grains and solubles for poultry. 19th Annual Carolina Nutrition Conf; 2003 October 30; Research Triangle Park (NC) EUA.
20. 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.
21. CHEON YJ, LEE HL, SHIN HM, JANG A, LEE SK, LEE JH, LEE BD, SON CK. Effects of Corn Distiller's Dried Grains with Solubles on Production and Egg Quality in Laying Hens. *Asian-Aust. J. Anim Sci*. 2008; 21(9):1318-1323.
22. ROCHELLE SJ, KERR BJ, 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.

23. PURDUM SE, KREIFELS B. Feeding low oil DDGS to layers. *Egg Industry* 2012. 117; 7: 4-6.
24. ROBERTSON KD, KALBFLEISCH JL, PAN W, CHARBENEAU RA. Effect of corn distillers dried grains with soluble at various levels on performance of laying hens and egg yolk color. *Inter J Poult. Sci.* 2005; 4:44-51.
25. LUMPKINS BS, BATAL AB, DALE NM. Use of Distillers Dried Grains Plus in Laying Hen Diets. *J. Appl. Poult. Res.* 2005; 14:25–31.
26. SUN H., LEE EJ, SAMARAWEERA H, PERSIA M, DONG UA. Effects of increasing concentrations of corn distillers dried grains with solubles on chemical composition and nutrient content of egg. *Poultry Science* 2013; 92:233-242.
27. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Feeding Value of Ethanol Production By-products. National Academy Press. Washington DC. 1981.
28. SAUVANT D., TRAN G. Corn distillers. Wageningen Academic Publishers, Holanda 2004.

29. TANGENDJAJA B, WINA E. Feeding Value of Low and High Protein Dried Distillers Grains and Corn Gluten Meal for Layer. Media Peternakan, Agosto 2011: 133-139.
30. DE BLAS C, MATEOS GG. Nutrición y alimentación de la gallina ponedora. Mundi-Prensa. Bilbao, España. 1991.
31. CARRANCO JME, CALVO CMC, PÉREZ-GIL RF. Carotenoides y su función antioxidante: Revisión. Arch Latinoam Nutr. 2011; 61 (3): 233-241.
32. MELENDEZ MA, VICARIO MI, HEREDIA FJ. Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales y fisicoquímicas. Archivos Latinoamericanos De Nutrición. 2007; 57 (2): 109-117.
33. HENCKEN H. Chemical and Physiological Behavior of Feed Carotenoids and Their Effects on Pigmentation. Poultry Science. 1992; 71:711-717.
34. YAMAGUCHI LF, MARTINEZ GR, CATALANI LH, MEDEIROS MHG, DI MASCIO P. Lycopene entrapped in human albumin protects 2'-deoxyguanosine against singlet oxygen damage. Arch Latinoam Nutr 1999; 49(1-S): 12-20.
35. NAGUIB YMA. Antioxidant activities of astaxanthin and related carotenoids. J Agric Food Chem 2000; 48: 1150-1154.

36. RUSSELL RM. Beta-carotene and lung cancer. *Pure & Applied Chemistry* 2002; 74(8): 1461-1467.
37. SLATTERY M, BENSON J, CURTIN K, MA K-N, SCHAEFFER D, POTTER JD. Carotenoids and colon cancer. *Am J Clin Nutr* 2000; 71: 575-582.
38. SURAI PF, SPEAKE BK, SPARKS NHC. Carotenoids in Avian Nutrition and Embryonic Development. 1. Absorption, Availability and Levels in Plasma and Egg Yolk *Journal of Poultry Science*. 2001; 38: 1-27.
39. LARBIER M, LECLERCQ B. Nutrition Feeding of poultry. Nottingham University Press. Reino Unido. 1992.
40. CUCA GM., ÁVILA GE, PRO MA. Alimentación de las Aves. Universidad Autónoma de Chapingo. Dirección del patronato universitario. México. 2009.
41. ÁVILA GE. Alimentación de las aves. 2ª ed. Trillas. México. 1990.
42. TYCZKOWSKI J, HAMILTON P. Absorption, transport, and deposition in chickens of lutein diester, a carotenoid extracted from marigold (*Tagetes erecta*) petals. *Poultry Science*. 1986; 65: 1526-1531.

43. MARTÍNEZ PM, CORTÉS CA, AVILA GE. Evaluación de tres niveles de pigmento de flor de cempasuchil (*Tagetes erecta*) sobre la pigmentación en la piel de pollos de engorda. *Téc Pecu Méx.* 2004; 42(1):105-111.
44. CORTÉS CA, ESPARZA CC, ELIZALDEA SG, IRIARTEA JM, 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 Cienc Pecu.* 2012;3(3):331-34.
45. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. [homepage on the Internet]. EUA. FAO. 2012 [updated 2012; cited 2013 Aug 14]. Citranaxanthin. [about 4 screens]. Available from: <http://www.fao.org/ag/agn/jecfa-additives/specs/Monograph1/Additive-134.pdf>.
46. ESFAHANI-MASHHOUR M, MORAVEJ H, MEHRABANI-YEGANEH H Y RAZAVI SH. Evaluation of Coloring Potential of *Dietzia natronolimnaea* Biomass as Source of Canthaxanthin for Egg Yolk Pigmentation Asian-Aust. *J. Anim. Sci.* 2009; 22(2):254-259.
47. SURAI, PF, SPEAKE BK, WOOD N, BLOUNT JD, BORTOLOTTI GR,, SPARKS N.. Carotenoid discrimination by the avian embryo: A lesson from wild birds. *Comp. Biochem. Physiol. B Biochem. Mol. Biol.* 2001; 128:743-750.

48. ROSA AP, SCHER A, SORBARA JO, BOEMO LS, FORGIARINI J, LONDERO A. Effects of canthaxanthin on the productive and reproductive performance of broiler breeders. *Poultry Science*. 2012; 91:660–666.
49. SCHIEDT K, LEUENBERGER FJ, VECCHI M, GLINZ E. Absorption, retention and metabolic transformation of carotenoids in chicken, salmonids and crustacean. *Pure & Appl. Chem.* 1985; 57(5): 685-692.
50. GRASHORN MA, STEINBERG A. Deposition rates of canthaxanthin in egg yolks. *Arch. Geflügelkd.* 2002; 66:258–262.
51. DE LA CRUZ SC: Enriquecimiento de huevo con luteína y zeaxantina en estirpes Hy-Line W-36 e Isa-Babcock B-380. Tesis Maestría Facultad de Medicina Veterinaria Y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 2006.
52. BREITHAUPT DE, SÉLLER 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 Sci.* 2003; 82: 395-401.

53. KOTAKE-NARA E, NAGAO A. Absorption and Metabolism of Xanthophylls. Mar. Drugs 2011; 9: 1024-1037.
54. LITTLEFIELD LH, BLETNER JK, SHIRLEY HV, GOFF OE. Locating the site of absorption of xanthophylls in the chicken by surgical technique. Poult Sci 1972; 51:1721- 1725.
55. MIDDENDORF DF, CHILDS GS, CRAVENS WW. A rapid bioassay for the comparison of xanthophyll availability from various sources. Poult Sci 1980; 59:1442-1454.
56. WU L, HUANG X, SHI K, TAN R. Bioavailability comparison of free and esterified lutein for layer hens. Rev. Bras. Cienc. Avic. 2009; 11 (2):95-98.
57. MELÉNDEZ MAJ, VICARIO IM, HEREDIA FJ. Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. Publicación oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición. Arch Latinoam Nutr. 2004; 54 (2): 149-154.
58. PÉREZ-VENDRELL AM, HERNANDEZ JM, LLAURADO L, SCHIERLE J, BRUFAU J. Influence of source and ratio of xanthophyll pigments on broiler chicken pigmentation and performance. Poult. Sci. 2001; 80: 320-326.
59. FLETCHER DL. Methodology for achieving pigment specification. Poultry Sci. 1992; 71: 733-743.

60. MARTÍNEZ PM, CORTÉS CA, ÁVILA GE. Evaluación de tres niveles de pigmento de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) sobre la pigmentación de la piel en pollos de engorda. *Téc Pecu Méx* 2004;42(1):105-111.
61. BECERRIL G M.: Evaluación del poder pigmentante de luteína y capsantina en pollos de engorda y gallinas en postura con un colorímetro de reflectancia. Tesis de Maestría. Fac. de Med. Vet. Y Zoot., Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 1988.
62. HAMILTON P. The use of high-performance liquid chromatography for studying pigmentation. *Poultry Sci.* 1992; 71: 718 –724.
63. INEGI. [homepage on the Internet]. México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía; 2004. [cited 2013 May 07]. Cuaderno estadístico de la delegación Tlahuac, Distrito Federal, Edición 2004 [about 4 screens]. Available from: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem04/estatal/df/m011/index.html>.
64. FIGUEROA DC, FUNTANET NC. *Nutrion Pro*. [Computer program]. Version 5.0. Jalisco. Comercializadora de Software S.A. de C.V. México.

65. NORMAN HN, DALE HB, HADLAI HC. SPSS Inc. SPSS for Windows [Computer program]. Version 17.0.0 IBM, Chicago IL, EUA 2009.
66. BATAL AB, DALE NM. True metabolizable energy and amino acid digestibility of distiller's dried grains with solubles. *J. Appl. Poult. Res.* 2006; 15:89-93.
67. JACELA JY, DEROCHEY JM, DRITZ SS, TOKACH MD, GOODBAND RD, NELSEN JL, SULABO RC, THALER RC, BRANDTS L, LITTLE DE Y, PRUSA KL. Amino acid digestibility and energy content of deoiled (solvent-extracted) corn distillers dried grains with soluble for swine and effects on growth performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 2011; 89:1817-1829.
68. ANDERSON PV, KERR BJ, WEBER TE, ZIEMER CZ, Y SHURSON GC. Determination and prediction of energy from chemical analysis of corn co-products fed to finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 2011; 90:1242–1254.
69. ROBERTS, S.A., H. XIN, B.J. KERR, J.R. RUSSELL AND K. BREGENDAHL. Effects of dietary fiber and reduced crude protein on nitrogen balance and egg production in laying hens. *Poult. Sci.* 2007; 86: 1716-1725.

- 70.MATTERSON L., TLUSTOHOWICZ J, SINGSEN EP Corn distillers dried grains with solubles in rations for high producing hens. Poult. Sci. 1966; 45: 147-151.
- 71.HARMS RH, MORENO RS, DAMRON BL. Evaluation of distiller's dried grain with solubles in diets of laying hens. Poult. Sci. 1969; 48: 1652-1654.
- 72.JENSEN LS. Distillers feeds as source of unidentified factors for laying hens. Distillers Feed Research Council Conference, Louisville. Kentucky. 1978; 33: 17-22.
- 73.SWIATKIEWICZ S, KORELESKI J. Effect of maize distillers dried grains with solubles and dietary enzyme supplementation on the performance of laying hens. J Anim Feed Sci 2006; 15:253-260.
- 74.MASA´DEH MK, PURDUM SE, HANFORD KJ. Dried distiller grains with solubles in laying hen diets. Poult. Sci. 2011; 90:1960-1966.
- 75.SANTOS BE, OSPINA OE, OVIEDO RE .Evaluation of Xanthophylls Extracted from Tagetes erectus (Marigold Flower) and Capsicum Sp. (Red Pepper Paprika) as a Pigment for Egg-yolks Compare with Synthetic Pigments. International Journal of Poultry Science. 2004; 3 (11): 685-689.

76. GARCIA EA, MENDES AA, PIZZOLANTE CC, GONÇALVES HC, OLIVEIRA RP, SILVA MA. Effect of cantaxantina levels on performance and egg quality of laying hens. Brazilian J. Poult. Sci. 2002; (4):1-4.

10. CUADROS.

Cuadro 1. Valores nutricionales de los granos secos de destilería con solubles.

	NRC ¹² 1994	DDGS ¹³ 2002	DDGS ²¹ 2008	DDGS ¹⁴ 2004	DDGS Gold ²² 2011	DDGS ²² 2011	RF-DDGS ²² 2011
Materia Seca (%)	93.00	89.30	87.52	87.00	89.13	86.59	87.36
EM (kcal/kg)	2,480	2,627	3,278	2,800	3,098	2,685	2,146
Proteína (%)	27.20	30.50	26.53	27.00	29.49	31.94	34.74
Fibra Cruda (%)	9.10	8.80	5.79	NP	7.95	7.56	8.69
Grasa Cruda (%)	9.00	10.70	12.50	10.00	11.71	10.16	3.15
Calcio (%)	0.17	0.06	0.06	NP	NP	NP	NP
Fosforo (%)	0.72	0.89	0.77	NP	NP	NP	NP
Potasio (%)	0.65	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Lisina (%)	0.75	0.82	0.76	0.94	NP	NP	NP
Metionina (%)	0.60	0.55	0.50	0.60	NP	NP	NP
Treonina (%)	0.92	NP	1.00	0.95	NP	NP	NP

NP= No proporcionado.

Cuadro 2. Contenido de xantofilas en ingredientes usados en dietas para aves. ⁴,
16, 30, 40

Ingrediente	Contenido de xantofilas (mg/kg de base seca)
Alfalfa deshidratada	400-450
Maíz Amarillo	20-25
Flor de cempasúchil	6000-10000
Gluten de maíz Amarillo	180-250
Granos secos de destilería con solubles	40-50
Espirulina (alga)	3000
Extracto saponificado de flor de cempasúchil	12000-40000
Extracto saponificado de chiles	2500-8000

Cuadro 3. Composición de las dietas para gallinas ponedoras (kg).

Ingrediente	T1	T2	T3	T4	T5
Sorgo	698.018	665.810	633.604	664.522	630.852
Pasta de soya	178.175	150.124	120.976	149.039	119.935
DDGS		60.000	120.000	60.000	120.000
Aceite vegetal	8.371	9.166	10.017	11.064	13.812
Fosfato de calcio	16.063	14.659	13.628	14.513	12.963
Carbonato de calcio	90.201	90.923	91.646	91.109	92.017
Sal	3.762	3.818	3.875	3.820	3.878
DL-Metionina 99%	1.475	1.384	1.308	1.396	1.318
L-Lisina HCl	0.652	0.716	1.329	1.254	1.855
Pigmento 15%	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533
Premezcla vitaminica ¹	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Premezcla mineral ²	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
Cloruro de colina 60%	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
Bacitracina de Zn	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
Antioxidante	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150
Aporte calculado					
Proteína cruda %	15	15	15	15	15
Energía metabolizable (kcal/kg)	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800
Calcio Total %	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Fosforo %	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Sodio (%)	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180
Lisina (%)	0.75	0.71	0.71	0.67	0.67
Met + Cist (%)	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
Arginina (%)	0.82	0.78	0.78	0.72	0.72
Treonina (%)	0.48	0.44	0.44	0.47	0.47

T.1–Dieta testigo, T2.–6% DDGS A, T3.–12% DDGS A, T4.–6% DDGS B, T5.–12% DDGS B.

1-Composición: 3 883 000 UI vitamina A, 1 500 000 UI vitamina D3, 13.3 mg vitamina E, 1.3 mg vitamina K, 499.6 mg vit.B1, 2 000 mg Vit. B2, 1 000 mg Vit B6, 6 670 mg Vit B12, 15 000 mg nicotinamida, 3 332 mg ácido pantoténico, 277 mg ácido fólico, 40 mg biotina, 133.3 g colina, vehículo cbp 2 500 g.

2 -Composición: 3.3 g cobre, 23.3 g hierro, 37.9 g manganeso, 33.4 iodo, 26.7 zinc, 100 mg selenio, 5 g aceite mineral, 370 g calcio, vehículo cbp 1000 g.

Cuadro 4. Análisis Químico Proximal de las muestras de DDGS A y B.

	DDGS A	DDGS B
Materia seca (%)	95.45	95.05
Humedad (%)	4.55	4.95
Proteína cruda (%)	28.05	27.02
Extracto etéreo (%)	6.54	5.39
Cenizas (%)	5.40	5.26
Fibra Cruda (%)	8.05	8.43
Extracto Libre de Nitrógeno (%)	47.41	48.96

Cuadro 5. Análisis de xantofilas totales en las muestras de DDGS A y B

	Xantofila Totales (g/kg)	% de Luteína	% de Zeaxantina
DDGS A	0.0256	23.265	40.543
DDGS B	0.0242	24.190	33.672

**Valores determinados por PIVEG SA de CV por HPLC.

Cuadro 6. Diseño de las etapas del experimento.

Tratamiento	Etapas 1 1-28 días	Etapas 2 29-49 días	Etapas 3 50-70 días
1.- 0% DDGS	8 ppm	8 ppm + 1ppm de CX	8 ppm + 2 ppm de CX
2.- 6% DDGS A	8 ppm	8 ppm + 1ppm de CX	8 ppm + 2 ppm de CX
3.- 12% DDGS A	8 ppm	8 ppm + 1ppm de CX	8 ppm + 2 ppm de CX
4.- 6% DDGS B	8 ppm	8 ppm + 1ppm de CX	8 ppm + 2 ppm de CX
5.- 12% DDGS B	8 ppm	8 ppm + 1ppm de CX	8 ppm + 2 ppm de CX

8 ppm de flor de cempasúchil.

CX= Cantaxantina.

Cuadro 7. Resultados de parámetros productivos a los 70 días de experimentación con dietas elaboradas a diferentes niveles de inclusión de dos muestras de DDGS bajos en aceite.

Tratamiento	Postura (%)	Peso del huevo (g)	Consumo de alimento ave/día (g)	Masa de huevo ave/día (g)	Conversión alimenticia (kg: kg)
1.- 0% DDGS	87.20 ± 3.06	64.63 ± 1.34	108.48 ± 2.64	56.37 ± 2.53	1.93 ± 0.06
2.- 6% DDGS A	87.06 ± 4.48	64.67 ± 0.56	109.13 ± 1.90	56.31 ± 3.03	1.94 ± 0.82
3.- 12% DDGS A	87.60 ± 2.52	64.36 ± 1.48	107.45 ± 2.57	56.35 ± 0.89	1.91 ± 0.06
4.- 6% DDGS B	86.11 ± 2.17	65.00 ± 0.76	109.50 ± 1.72	57.25 ± 1.61	1.92 ± 0.04
5.- 12% DDGS B	86.11 ± 2.17	64.62 ± 0.68	108.87 ± 2.61	55.65 ± 1.73	1.96 ± 0.06

Promedio ± Desviación estándar.

No se encontró diferencia significativa entre tratamientos ($P>0.05$).

Cuadro 8. Resultados de evaluación de la pigmentación de la yema de huevo a los 28 días de experimentación en dietas elaboradas con diferentes niveles de inclusión de DDGS bajos en aceite.

Tratamiento	L* Luminosidad	a* Rojos	b* Amarillos	Abanico DSM*
1.- 0% DDGS	62.83 ± 3.47a	-7.30 ± 0.23a	36.47 ± 6.30a	3 ± 0.51a
2.- 6% DDGS A	65.01 ± 2.34a	-6.76 ± 0.40ab	40.15 ± 2.56ab	4 ± 0.20a
3.- 12% DDGS A	64.63 ± 2.10a	-6.11 ± 0.34b	42.68 ± 2.51b	4 ± 0.42a
4.- 6% DDGS B	61.21 ± 4.81a	-6.69 ± 0.74ab	39.60 ± 1.86ab	4 ± 0.41a
5.- 12% DDGS B	64.66 ± 1.83a	-6.17 ± 0.30b	42.93 ± 2.84b	4 ± 0.89a

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

Promedio ± Desviación estándar.

Cuadro 9. Resultados de evaluación de la pigmentación de la yema de huevo a los 49 días de experimentación, con la adición de 1 ppm de cantaxantina en dietas elaboradas con diferentes niveles de inclusión de DDGS y DDGS bajos en aceite.

Tratamiento	L* Luminosidad	a* Rojos	b* Amarillos	Abanico DSM*
1.- 0% DDGS	63.43 ± 1.55a	-1.81 ± 1.15a	38.04 ± 2.12a	8 ± 0.77a
2.- 6% DDGS A	62.53 ± 2.73a	-2.17 ± 1.27a	39.61 ± 4.17ab	9 ± 0.84ab
3.- 12% DDGS A	62.01 ± 1.91a	-1.48 ± 0.85a	41.69 ± 2.84b	10 ± 0.81b
4.- 6% DDGS B	61.73 ± 2.26a	-1.41 ± 0.62a	39.57 ± 3.97ab	9 ± 0.62ab
5.- 12% DDGS B	63.23 ± 1.63a	-2.30 ± 1.21a	42.33 ± 3.57b	9 ± 0.92ab

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

Promedio ± Desviación estándar.

Cuadro 10. Resultados de evaluación de la pigmentación de la yema de huevo a los 70 días de experimentación, con la adición de 2 ppm de cantaxantina en dietas elaboradas con diferentes niveles de inclusión de DDGS y DDGS bajos en aceite.

Tratamiento	L* Luminosidad	a* Rojos	b* Amarillos	Abanico DSM*
1.- 0% DDGS	63.01 ± 2.18a	-0.83 ± 1.72a	41.62 ± 3.27a	9 ± 1.21a
2.- 6% DDGS A	63.01 ± 3.14a	-0.83 ± 1.63a	44.94 ± 3.94b	10 ± 1.19a
3.- 12% DDGS A	63.44 ± 1.84a	-0.77 ± 1.50a	46.45 ± 2.72b	9 ± 1.08a
4.- 6% DDGS B	62.55 ± 2.03a	-0.39 ± 1.37a	45.01 ± 2.33b	9 ± 0.76a
5.- 12% DDGS B	62.16 ± 2.06a	-1.36 ± 1.19a	45.28 ± 2.74b	10 ± 1.04a

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

Promedio ± Desviación estándar.

11. FIGURAS

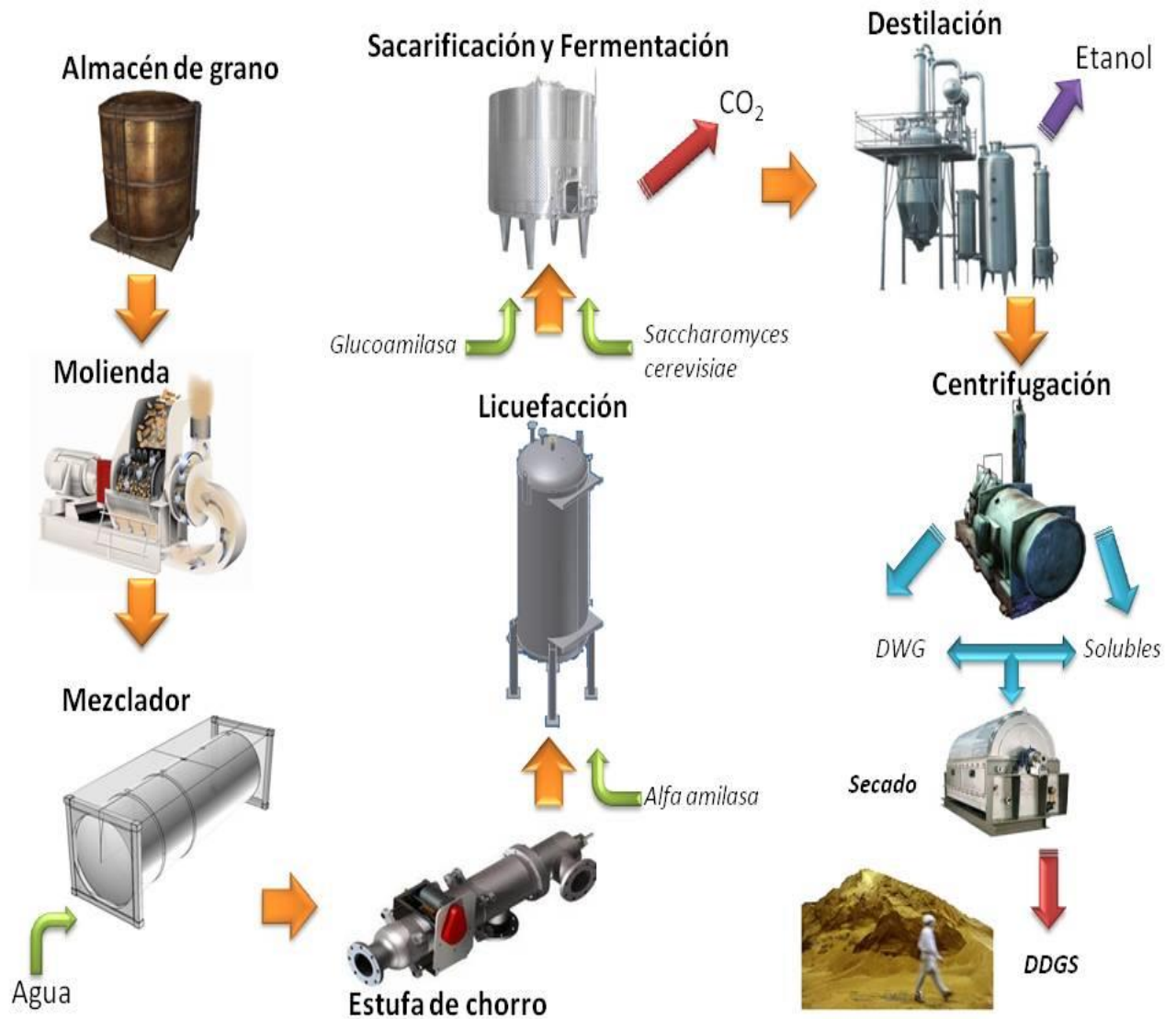


Figura 1. Proceso para la obtención de etanol y subproductos como los granos secos de destilería con solubles. (Adaptado de Keshun L, Kurt AR. Distillers grains production, properties, and utilization. CRC Press. EUA 2012).⁴

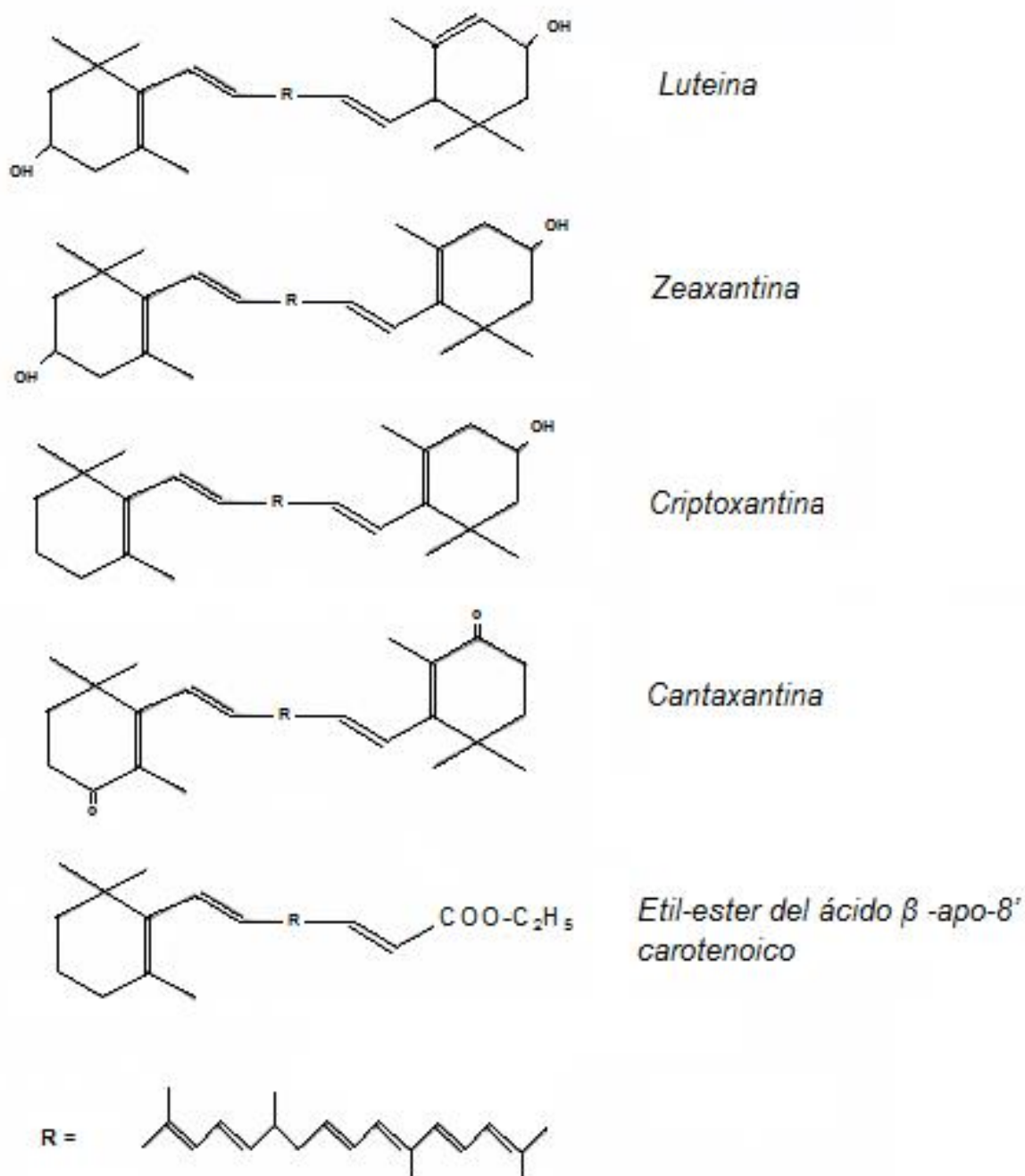


Figura 2. Estructura química de algunas xantofilas (Modificado de Larbier M y Leclercq B. Nutrition Feeding of poultry. Nottingham University Press. Reino Unido. 1992).³⁹

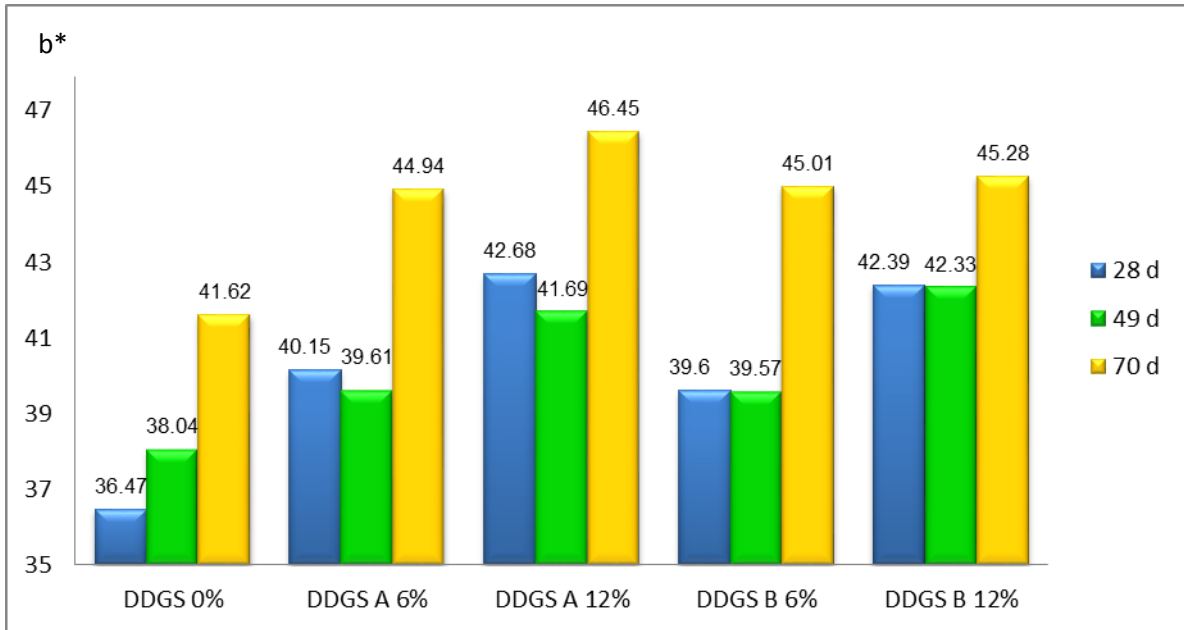


Figura 3. Amarillamiento (b*) de la yema de huevo en dietas sorgo-soya-DDGS utilizando un colorímetro de reflectancia MINOLTA CR-400.

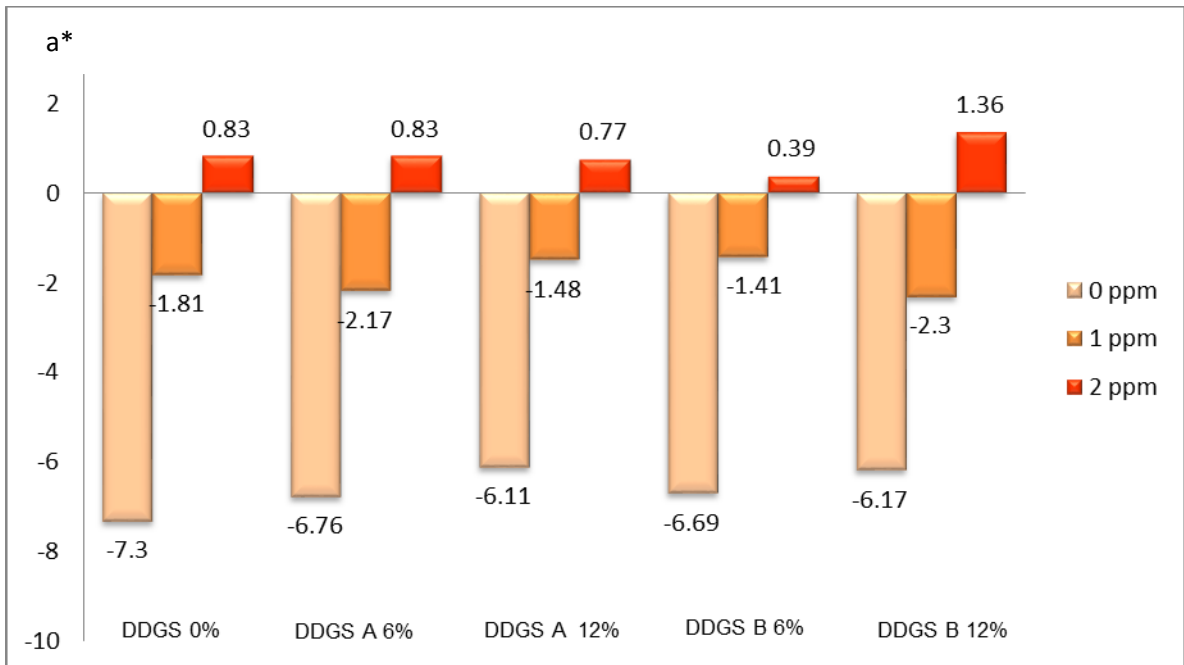


Figura 4. Enrojecimiento (a*) de la yema de huevo al adicionar Cantaxantina en dietas sorgo-soya-DDGS utilizando un colorímetro de reflectancia MINOLTA CR-400.

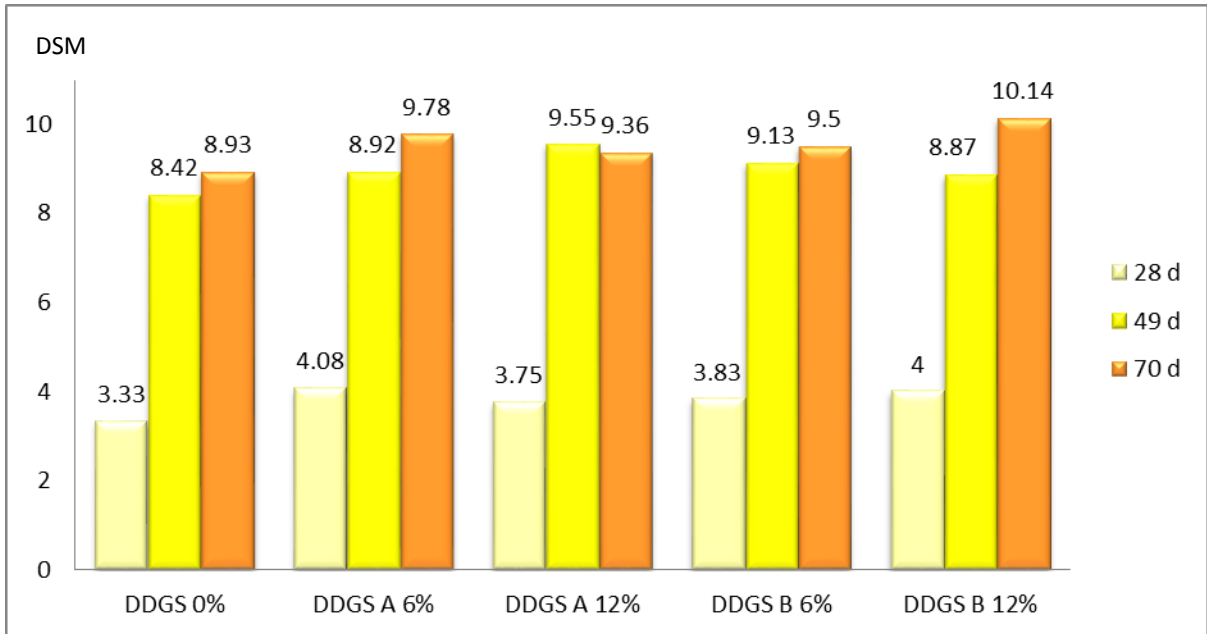


Figura 5. Evaluación visual de la pigmentación amarilla de la yema de huevo en dietas sorgo-soya-DDGS utilizando el abanico colorimétrico de DSM®.