



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

**GRANOS SECOS DE DESTILERÍA CON SOLUBLES DE
MAÍZ Y SUPLEMENTACIÓN DE XILANASA EN
POLLAS Y GALLINAS BOVANS WHITE**

JENNIFER PÉREZ MARTÍNEZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2016

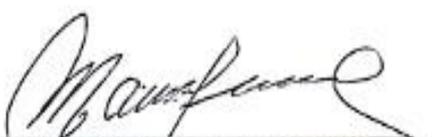
LA PRESENTE TESIS TITULADA: GRANOS SECOS DE DESTILERÍA CON
SULUBLES DE MAÍZ Y SUPLEMENTACIÓN DE XILANASA EN POLLAS Y
GALLINAS BOVANS WHITE REALIZADA POR LA ALUMNA: **JENNIFER
PÉREZ MARTÍNEZ** BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR
INDICADO, HA SIDO APROBADA POR EL MISMO Y ACEPTADA COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO


Dr. JUAN MANUEL CÚCA CARGIA

ASESOR


Dr. CARLOS MIGUEL BECERRIL PÉREZ

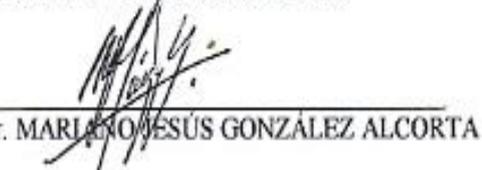
ASESOR


Dr. ARTURO PRO MARTÍNEZ

ASESOR


Dr. OMAR HERNENDEZ MENDO

ASESOR


Dr. MARIO JESÚS GONZÁLEZ ALCORTA

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, ENERO DE 2016

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

A los miembros del Consejo particular:

Dr. Manuel Cuca García por apoyarme por más de 6 años y por la disponibilidad que siempre tuvo para las cientos de dudas que surgieron en el camino.

Dr. Carlos Miguel Becerril Pérez.

Dr. Arturo Pro Martínez.

Dr. Omar Hernández Mendo.

Dr. Mariano Jesús González Alcorta.

A mis amigos de Colegio de Postgraduados.

DEDICATORIA

A MI PÁPA Y A MI MÁMA POR APOYARME INCONDICIONALMENTE.

A MI FAMILIA POR ESTAR SIEMPRE CERCA.

A MI ANGEL POR APOYARME SIEMPRE.

CONTENIDO

ÍNDICE	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN GENERAL	vii
GENERAL ABSTRACT	viii
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO I. REVISIÓN DE LITERATURA GENERAL	2
Producción de etanol.....	3
Recepción del grano.....	3
Disminución del tamaño de partícula de los granos.....	3
Cocción y licuefacción.....	4
Sacarificación y fermentación.....	4
Destilación, deshidratación y almacenamiento de etanol.....	5
Coproductos derivados del etanol.....	5
Producción de granos secos de destilería con solubles.....	6
Características físicas de los granos secos de destilería con solubles.....	7
Contenido de proteína y aminoácidos en granos secos de destilería con solubles.....	8
Energía metabolizable en granos secos de destilería con solubles.....	9
Color en granos secos de destilería con solubles.....	9
Olor en granos secos de destilería con solubles.....	10
Contenido de humedad en granos secos de destilería con solubles.....	10
Contenido de fósforo (P) en granos secos de destilería con solubles.....	10
Contenido de xantofilas en granos secos de destilería con solubles.....	11
Uso de granos secos de destilería en la avicultura.....	11
Uso de granos secos de destilería con solubles en pollitas.....	12
Uso de granos secos de destilería con solubles en gallinas de postura.....	12
Uso de granos secos de destilería con solubles en pollos de engorda.....	13
Uso de enzimas en la avicultura.....	14
Uso de enzimas en la alimentación avícola con granos secos de destilería con solubles.....	15
Aflatoxinas.....	16
Efecto de las Aflatoxinas sobre la salud y producción de las aves.....	17
Micotoxinas en granos secos de destilería con solubles de maíz.....	17
Niveles de micotoxinas permitidos en alimentos para animales.....	18
Capturantes o adsorbentes.....	20
Arcillas.....	20
Literatura citada.....	22
CAPÍTULO II. GRANOS SECOS DE DESTILERÍA CON SOLUBLES DE MAÍZ EN POLLAS BOVANS WHITE	30
Experimento 1	
Resumen.....	31
Abstrac.....	32

Introducción.....	33
Materiales y métodos.....	34
Análisis estadístico.....	39
Resultados y discusión.....	40
Alimento consumido (AC).....	40
Peso vivo (PV).....	40
Ganancia de peso (GP).....	43
Conversión alimenticia (CA).....	43
Energía consumida calculada (ECC, kcal/ave/d).....	44
Costo de producción de una polla (CPP).....	44
Conclusiones.....	45
Literatura citada.....	46
CAPÍTULO III. GRANOS SECOS DE DESTILERÍA CON SOLUBLES DE MAÍZ Y SUPLEMENTACIÓN DE XILANASA EN GALLINAS BOVANS WHITE.....	49
Experimento 2	
Resumen.....	50
Abstrac.....	51
Introducción.....	52
Materiales y métodos.....	53
Análisis estadístico.....	58
Resultados y discusión.....	59
Estimación de la energía metabolizable aparente (EMAn) de los granos secos de destilería con solubles.....	59
VARIABLES DE RESPUESTA RELACIONADAS A LA MADUREZ SEXUAL DE LAS AVES.....	60
Alimento consumido (AC).....	62
Porcentaje de postura (PP).....	64
Peso de huevo (PH).....	65
Conversión Alimenticia (CA).....	66
Masa de huevo (MH).....	66
kg de Huevo producidos por ave (KHP).....	67
Consumo de kcal/ave/d calculada (CKAC).....	67
Calidad de huevo.....	69
Altura de albúmina (AA) y grosor de cascarón (GC).....	69
Unidades Haugh (UH).....	69
Color de Yema (CY).....	70
Costo de un kg de huevo producido (CKHP).....	71
Conclusiones.....	72
Literatura citada.....	73
CAPÍTULO IV. AFLATOXINA B1 EN HUEVO DE GALLINAS BOVANS WHITE ALIMENTADAS CON GRANOS SECOS DE DESTILERÍA Y SOLUBLES DE MAÍZ.....	78
Experimento 3	
Resumen.....	79
Abstrac.....	80
Introducción.....	81

.....	
Materiales y métodos.....	82
Determinación de AFB1 en alimento.....	84
Determinación de AFB1 en huevo.....	85
Resultados y discusión.....	86
Contenido de AFB1 en la dieta.....	86
Contenido de AFB1 en huevo.....	86
Conclusiones.....	88
Implicaciones.....	88
Literatura citada.....	89
Anexo A.....	93
Anexo B.....	94

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro Núm.		Pág.
CAPÍTULO I		
1	Coproductos derivados del etanol.....	6
2	Concentraciones de aflatoxinas para consumo directo o como parte de alimentos procesados para animales.....	19
3	Niveles de micotoxinas encontrados en alimentos y sus niveles permisibles según la FDA.....	19
4	Niveles recomendados por la FDA en alimentos completos e ingredientes de alimentos balanceados.....	20
CAPÍTULO II		
1	Medias del contenido de proteína cruda, aminoácidos totales y digestibles de granos secos de destilería con solubles (%).....	34
2	Composición de las dietas experimentales durante la etapa de iniciación (1-6 semanas de edad) (%).....	35
3	Composición de las dietas experimentales durante la etapa de crecimiento (6-12 semanas) (%).....	36
4	Composición de las dietas experimentales durante la etapa de desarrollo (13- 18 semanas) (%).....	37
5	Calendario de vacunación.....	38
6	Costo por kg de ingrediente de la dieta.....	38
7	Influencia de la xilanasa y GSDS en las características productivas por periodo de pollas Bovans, durante 18 semanas de experimentación (%).....	41
8	Costo de producción de una polla por concepto de alimentación durante la crianza (tres periodos de 6 semanas cada uno).....	44
CAPÍTULO III		
1	Composición de las dietas experimentales durante la etapa de postura (18-74 semanas de edad) de gallinas Bovans White (%).....	54
2	Composición de las dietas experimentales durante la etapa de postura (18-74 semanas de edad) de gallinas Bovans White (%).....	55
3	Costo por kg de ingrediente de la dieta.....	56

4	Medias del contenido de proteína cruda, aminoácidos totales y digestibles de granos secos de destilería con solubles (%).....	57
Cuadro		Pág.
Núm.		
5	Composición de los granos secos de destilería con solubles para estimar energía metabolizable.....	59
6	Medias de la composición de análisis de granos secos de destilería con solubles.	59
7	Influencia de los niveles de GSDS y xilanas en la madurez sexual de gallinas de postura Bovans White.....	61
8	Efecto de los niveles de granos secos de destilería con solubles y xilanas en el comportamiento productivo de gallinas Bovans White de 22 a 73 semanas de experimentación.....	62
9	Efecto de los niveles de granos secos de destilería con solubles y xilanas en la calidad de huevo de gallinas Bovans, a las 25, 50 y 75 semanas de experimentación.....	69
10	Costo de producción de un kg de huevo por concepto de alimentación de gallinas Bovans White con diferentes niveles de granos secos de destilería con solubles y xilanas.....	72
CAPÍTULO IV		
1	Composición de las dietas para alimentar gallinas Bovans White (%) en la etapa de postura (46-75 semanas de edad).....	83
2	Costo por kg de ingrediente de la dieta.....	84
3	Contenido de AFB1 en la dieta de gallinas Bovans White.....	86
4	Contenido de AFB1 en huevo de gallinas Bovans White alimentadas con granos secos de destilería con solubles.....	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Núm.		Pág.
CAPÍTULO I		
1	Consumo de granos secos por especie.....	7
2	Producción de granos secos.....	7
3	Escala de medición de Hunter Laboratorio.....	10
4	Estructura química de la aflatoxina B1.....	17
5	Estructura básica de los silicatos.....	21
CAPÍTULO II		
1	Efecto de la interacción GSDS x Xilanasa, en la media del peso vivo de los tres periodos.....	43
CAPÍTULO III		
1	Interacción GSDS x Xilanasa en el alimento consumido.....	63
2	Interacción GSDS x Xilanasa en el porcentaje de postura.....	65
3	Efecto de la interacción GSDS x Xilanasa en el CKAC.....	68
4	Influencia de los niveles de granos secos de destilería con solubles en el color de la yema.....	71
CAPÍTULO IV		
1	Esquema de la obtención de las submuestras del alimento para gallinas Bovans White en postura.....	85

RESUMEN GENERAL

Los GSDS de maíz son un ingrediente alternativo para usarse en dietas de ponedoras, pollos de engorda, patos y pavos, porque concentran aproximadamente 2.2 y 3 veces el contenido nutricional, entre las limitantes de su uso en la avicultura se encuentra el perfil de aminoácidos desequilibrado, el contenido de grasa insaturada y la posible concentración de niveles altos de micotoxinas como aflatoxinas (AFT), que puede afectar la salud del ave. El análisis químico de los GSDS indicó que contienen 27.5% de proteína cruda, 63.59% de fibra detergente neutra y 5177 kcal/kg de energía bruta. El contenido de aminoácidos expresado en porcentaje fue: metionina, 0.57; cistina, 0.55; metionina+cistina, 1.12; lisina, 0.80; treonina, 1.05; triptófano, 0.22; arginina, 1.25; isoleucina 1.04; leucina, 3.30; valina, 1.38; histidina, 0.74 y fenilalanina 1.39. El valor de EMAn fue de 1 935.33 kcal/kg de MS en los GSDS. La dieta que contenía 32% de GSDS sin capturante de aflatoxinas tuvo 0.0012 ppm de aflatoxina B1. Las concentraciones utilizadas de GSDS fueron de 0%, 8%, 16%, 24% y 32% y la xilanasa 0% y 0.05%. En las pollas las concentraciones de GSDS y la inclusión de la xilanasa no afectaron ($P \geq 0.05$) las variables: alimento consumido (AC), peso vivo de las pollas (PV), ganancia de peso (GP), conversión alimenticia (CA), energía consumida (ECAD, kcal/ave/d) y costo de producción de una polla, por concepto de alimentación (CPS, periodo). La xilanasa a 0.05% será necesaria cuando se incluya 32% de GSDS. En las pollas no hubo diferencias en las variables de madurez sexual por efecto de los GSDS y la enzima ($P \geq 0.05$); en la dieta de las gallinas los GSDS pueden sustituir la pasta de soya hasta 8%, sin afectar alimento consumido, porcentaje de postura, peso de huevo, masa de huevo, conversión alimenticia. El costo para producir un kg de huevo aumenta con la concentración de 32% de GSDS. En calidad de huevo las unidades Haugh y el color de yema mejoraron ($P \leq 0.05$) con los GSDS, mientras que la altura de albúmina y grosor de cascarón no se afectaron. La adición de la enzima influyó positivamente ($P \leq 0.05$) en alimento consumido, porcentaje de postura, conversión alimenticia, masa de huevo, energía consumida ave/d y el costo de un kilo de huevo producido. Cuando se adiciona 32% de GSDS es importante incluir un capturante de aluminosilicatos en la dieta para evitar que ésta contenga aflatoxinas y así no pase al huevo.

Palabras clave: granos secos de destilería con solubles, xilanasa, alimento, composición química, pollas, gallinas.

GENERAL ABSTRACT

Maize DDGS are an alternative ingredient for use in the diet of laying hens, broilers, ducks, and turkeys given that they concentrate approximately 2.2 to 3 times the nutritional content. Among the limitations for their use in poultry growing are an unbalanced amino acid profile, unsaturated fat content, and the possible concentration of high levels of mycotoxins such as aflatoxins (AFT), that can affect bird health. The chemical analysis of the DDGS indicated that they contain 27.5% crude protein, 63.59% neutral detergent fiber, and 5177 kcal/kg gross energy. The amino acid content, expressed in percentages, was: methionine, 0.57; cystine, 0.55; methionine+cystine, 1.12; lysine, 0.80; threonine, 1.05; tryptophan, 0.22; arginine, 1.25; isoleucine, 1.04; leucine, 3.30; valine, 1.38; histidine, 0.74; and phenylalanine, 1.39. The EMAn value was 1 935.33 kcal/kg DM in DDGS. The diet containing 32% DDGS without aflatoxin capture mechanism had 0.0012 ppm aflatoxin B1. The DDGS concentrations used were: 0%, 8%, 16%, 24%, and 32%, and xylanase 0% and 0.05%. In pullets, the DDGS concentrations and the additions of xylanase did not affect ($P \geq 0.05$) the variables: feed intake (FI), live weight of the pullets (LW), weight gain (WG), feed conversion (FC), energy intake (ECAD, kcal/bird/day), and production cost of a single pullet from feeding (PCF, period). Xylanase at 0.05% is necessary when using 32% DDGS. In pullets, there were no differences in the sexual maturity variables from the effect of DDGS and the enzyme ($P \geq 0.05$). DDGS can substitute soy meal by up to 8% in the diet of hens without affecting feed intake, laying percentage, egg weight, egg mass, and feed conversion. The cost to produce one kg of eggs increases with a concentration of 32% DDGS. With regard to egg quality, the Haugh units and yolk color improved ($P \leq 0.05$) with DDGS, while albumin height and shell thickness were not affected. Adding the enzyme positively affected ($P \leq 0.05$) feed intake, laying percentage, feed conversion, egg mass, energy intake bird/day, and the cost of producing one kg of eggs. When adding 32% DDGS, it is important to include an amino silicate capture system in the diet to avoid it containing aflatoxins that can enter the egg.

Key words: dried distillers grains with maize solubles, xylanase, feed, chemical composition, pullets chick, hens.

INTRODUCCIÓN GENERAL

Un problema para la industria avícola es el alto costo de los ingredientes, lo que lleva a la búsqueda continua de alimentos alternativos para reducir el costo de las dietas, ya que la alimentación representa el 70% de los costos de producción (Olorede y Ajayi, 2005; Oluremi *et al.*, 2007). Una alternativa para sustituir las materias primas tradicionales en la avicultura son los granos secos de destilería GSDS (DDGS por sus siglas en inglés) que son un subproducto de la industria del etanol; el contenido nutricional de estos depende de la calidad del grano inicial y del proceso de obtención de estos (molienda, temperatura, tiempo de cocción, procesos de fermentación, enfriamiento, destilación y secado (Świątkiewicz y Korelesky, 2008).

Los GSDS en general concentran de 2.2 a 3 veces la energía, proteína, aminoácidos, vitaminas, minerales y xantofilas (Cozannet *et al.*, 2010; Salim *et al.*, 2010). Sin embargo, el uso de estos granos en la avicultura es limitado por la variabilidad del perfil de aminoácidos, digestibilidad, tamaño de partícula, densidad aparente, contenido de grasa insaturada, alto nivel de fibra y el posible contenido de micotoxinas como aflatoxinas (AF), las cuales pueden ocasionar un efecto sinérgico y afectar la salud del ave, así como incrementar los residuos de metabolitos tóxicos en los productos de origen avícola (carne y huevo) (Barragan *et al.*, 2008).

El valor nutricional de los GSDS puede mejorarse mediante la adición de enzimas exógenas a la dieta de las aves, ya que éstas actúan sobre los polisacáridos no amiláceos PNA (NSP por sus siglas en inglés) contenidos en los GSDS incrementando la digestibilidad y la disponibilidad de los nutrientes al disminuir la viscosidad del contenido intestinal, así como el tiempo de paso de la digesta a través del tracto gastrointestinal (Lázaro *et al.*, 2003; Cowieson y Ravindran, 2008).

CAPÍTULO I. REVISIÓN DE LITERATURA GENERAL

Producción de etanol

Los principales países productores de maíz son Estados Unidos, China, Brasil, Unión Europea, Ucrania y México (Anónimo, 2015) con una producción mundial de 1008.82 millones de toneladas, del cual el 50% se utiliza para la producción de etanol; Estados Unidos es el líder del mercado de etanol con una producción de 47 070 260 L al año (SAGARPA, 2015).

Estados Unidos incrementó en los últimos 15 años el porcentaje de producción de maíz para la extracción de etanol (5% a 40%), ya que éste es una de las principales fuentes de almidón (glucosa). La producción de etanol de maíz de acuerdo con la norma de Combustibles Renovables (NCR) del Plan Nacional de Energía, incrementará el consumo para todos los biocombustibles en el año 2022 a 136 millones L (Romero *et al.*, 2014).

Recepción del grano

Durante la recepción el grano se monitorea para saber la cantidad de micotoxinas, después éste se vierte en un pozo subterráneo de recepción para trasladarse posteriormente al lugar de almacenamiento, donde permanecerá entre 7 d y 10 d en la planta de etanol, después de almacenarse, el maíz se envía a limpiar para eliminar los granos rotos, finos, paja del grano así como material extraño (rocas, troncos, mazorcas, hojas e insectos). Posteriormente se pasan imanes grandes para eliminar objetos de metal que puedan estar en el grano (Rosentrater *et al.*, 2012).

Disminución del tamaño de partícula de los granos

El primer paso para la producción de etanol es disminuir el tamaño de partícula del maíz, que se tritura con un molino de martillo o molino de rodillos; la finalidad de esta trituración es que aumente el área de superficie del almidón, de modo que esté en contacto con las enzimas y levaduras durante las etapas de procesamiento posteriores.

El tamaño del grano molido se determina por el volumen del rotor, la velocidad de la punta del martillo, el número de martillos, el desgaste del equipo, el tamaño de la abertura de la malla y las características del maíz tales como dureza, forma, tamaño, contenido de humedad y grietas existentes (Dupin *et al.*, 1997; Rosentrater *et al.*, 2012). El tamaño de partícula típica del maíz

molido para la producción de etanol puede variar de 2 mm a menos de 0.25 mm. Rausch *et al.* (2005) encontraron una media geométrica de 0.94 mm.

Cocción y licuefacción

Después de la molienda, al maíz se le agrega agua y destilado reciclado, que servirán como acondicionadores para la lixiviación de la proteína soluble, los azúcares y los lípidos ligados no almidonosos; en este proceso un disolvente líquido pasa a través de un sólido. Durante la cocción (40°C a 95°C durante 15 min a 20 min) se agregan enzimas amilolíticas para que las levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) conviertan la glucosa a etanol. Posteriormente inicia la gelatinización del almidón (50°C y 70°C), lo que hace que éste sea más susceptible pues su conversión a glucosa implica la terminación de la gelatinización (Lin y Tanaka, 2006). Enseguida, se lleva a cabo la licuefacción en donde se rompe la estructura cristalina del almidón y se extrae casi toda la amilosa. A continuación, se enfría mediante presión atmosférica en un condensador de vacío (Han y Hamaker, 2001); la mezcla se mantiene en un tanque de licuefacción a 85°C–95°C de 30 min a 120 min, y se agrega α -amilasa o glucoamilasa (0.05%–0.08%), la enzima α -amilasa se utiliza para cortar los enlaces α -1,4 glucosídicos, mientras que la glucoamilasa se utiliza para hidrolizar los enlaces α -1,6 glucosídicos a cadenas de polímeros de glucosa llamados maltodextrinas. A continuación se añade ácido sulfúrico para mantener un pH entre 5.5–6, calcio (10% a 15%) como nutrientes para las enzimas y urea como una fuente de nitrógeno (Rosentrater, 2012).

Sacarificación y fermentación

El siguiente paso es la sacarificación; proceso en donde se rompen las cadenas cortas de glucosa en moléculas individuales de dextrosa, después se enfría aproximadamente a 30°C, después se transfiere a los tanques para fermentarse. La fermentación es el proceso en el que la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) convierte los azúcares simples a etanol (95%), 1% en materia celular de las levaduras así como glicerol, ácido acético, ácido láctico, propanol, butanol y furfural (Boulton *et al.*, 1996).

La actividad de la levadura, es decir su reproducción y fermentación dependen de una temperatura adecuada (28°C–32°C), y el crecimiento normal de ésta será un factor clave en la producción de etanol (Torija *et al.*, 2003).

Destilación, deshidratación y almacenamiento de etanol

Después de la fermentación, la mezcla del etanol y el agua tienen un punto de ebullición de 78°C y 100°C respectivamente. El vapor sobrecalentado es 95% etanol puro y 5% agua, se deshidrata en un tamiz molecular, que separa físicamente el agua del etanol. Los tamices moleculares contienen perlas microporosas (como zeolita) que adsorben el vapor de agua dando como resultado etanol puro; el vapor de éste se condensa, se enfría, se mezcla con un desnaturizante (gasolina), y se produce etanol combustible líquido; éste se almacena en tanques hasta que se carga en vagones para el envío a una planta de etanol (Rosentrater, 2012).

Coproductos derivados del etanol

A los restos de agua y los sólidos no fermentables (5%–15%) que permanecen después de la destilación del etanol se les llama destilado entero, éste se compone de agua, fibra, proteína y grasa; según la planta de etanol se pueden obtener diferentes coproductos de destilería utilizados para la alimentación de animales (Rosentrater, 2012). El destilado se centrifuga para separar los sólidos de los líquidos, éste se llama destilado ligero, el cual pasa a través de un evaporador para eliminar el agua, lo que resulta en solubles de destilería condensados, que contienen aproximadamente 30% de materia seca; el producto deshidratado contiene los sólidos restantes; lo que resulta en diferentes coproductos de destilería que representan una materia prima con alto contenido en energía, proteína y fósforo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Coproductos derivados del etanol.

Abreviatura (por sus siglas en inglés)	Nombre oficial	Definición oficial
DDGS	Granos secos de destilería con solubles	Producto obtenido después de la eliminación de alcohol etílico, por destilación de la fermentación de la levadura de un grano o una mezcla de granos por condensación y secado al menos 3/4 de los sólidos de toda la vinaza.
DDG	Granos secos de destilería	Producto obtenido después de la eliminación de alcohol mediante la separación de la fracción de grano grueso de toda la vinaza y secado por métodos empleados en la industria de la destilación de cereales.
DWG	Granos húmedos de destilería	Producto obtenido después de la eliminación de alcohol etílico por destilación de la fermentación de la levadura de una mezcla de grano.
CDS	Solubles de destilería condensados	Se obtiene después de la eliminación de alcohol etílico por destilación de la levadura, la fermentación de granos por condensación de la vinaza delgada a un semi-sólido.
DDS	Secos de destilería con solubles	Se consigue después de la eliminación de alcohol etílico por destilación de la levadura, la fermentación de una mezcla de granos por condensación de la fracción fina y vinaza, secado por métodos empleados en la industria de la destilación de cereales.

Fuente: AAFCO, 2014.

Producción de granos secos de destilería con solubles

La producción de etanol sólo aprovecha el almidón del grano, mientras que las proteínas, minerales, grasas y fibra pasan por un proceso donde se concentran dando como resultado granos secos, gluten de maíz y harina de gluten, los cuales se convierte en un alimento de gran valor nutritivo para el ganado vacuno, cerdos, aves y peces (Figura 1) (RFA, 2015). Una moderna refinería de etanol por cada 3.8 L de etanol producido, produce 2.4 kg de GSDS sin la extracción del aceite de maíz (CEPA, 2011). Sin embargo, con la extracción de este aceite de maíz, el rendimiento GSDS se reduce en aproximadamente 0.06 kg/L de etanol producido, lo que representa una reducción del 9.4% en el rendimiento de GSDS.

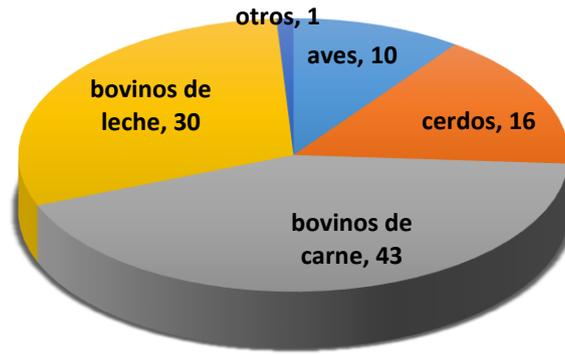


Figura 1. Consumo de granos secos por especie.

Fuente: RFA, 2015.

A nivel internacional, los granos de destilería están ganando una amplia aceptación como un componente de alimentación animal de alta calidad (Figura 2).

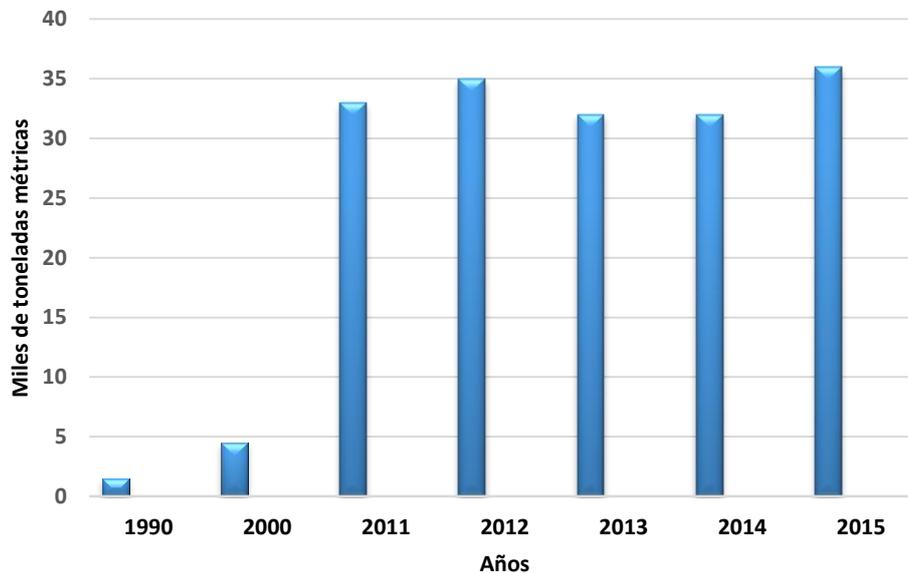


Figura 2. Producción de granos secos.

Fuente: RFA, 2015.

Características físicas de los granos secos de destilería con solubles

Las propiedades físicas y químicas de los GSDS tienen influencia sobre su valor alimenticio, características de manejo y almacenamiento, éstos se caracterizan por ser un ingrediente granulado, con diferentes tamaños y formas de partículas; estas cualidades afectan el manejo y al grano durante el almacenamiento (Rosentrater, 2012). Las características físicas de los

GSDS varían aún dentro de las plantas de etanol, estas variaciones pueden ser causadas por varios factores:

- Ambiente en el que se cultiva el maíz.
- Composición química del grano de maíz (raza, variedad, madurez).
- Molino de martillos o molino de rodillos.
- Aditivos y químicos usados durante el procesamiento.
- Cantidad de solubles de destilería condensados añadidos.
- Método de secado.
- Tiempo y temperaturas de secado.
- Enfriamiento y acondicionamiento de los GSDS después del secado.
- Almacenamiento plano vs almacenamiento en silo vertical.
- Contenido de humedad final.
- Temperatura y humedad del ambiente.

Contenido de Proteína y aminoácidos en granos secos de destilería con solubles

Generalmente, el maíz contiene entre 7% y 9% de proteína cruda (PC), los nutrientes de éste se concentran de 2.2 a 3 veces en los GSDS, por lo cual el contenido de PC varía de 23% a 30% en promedio (Batal y Dale, 2006; Urriola *et al.*, 2009). Martínez-Amezcuca (2005) encontró que la cantidad de PC puede variar por la levadura utilizada; mientras que Babcock *et al.* (2008) mencionan que la PC puede modificarse por el proceso de fermentación utilizado para producir los GSDS.

El contenido de aminoácidos y la digestibilidad de los GSDS puede modificarse debido a las diferencias en el contenido de PC del maíz, la cantidad de solubles y la tecnología de procesamiento (Martínez-Amezcuca y Parson, 2007). En dietas a base de maíz-pasta de soya, la metionina es el primer aminoácido limitante en las aves y en los GSDS se han reportado valores que van de 0.41% a 0.65% (Fastinger *et al.*, 2006), con una digestibilidad de 85% a 92% (Martínez-Amezcuca, 2005).

La lisina es el segundo aminoácido restrictivo en las aves, en los GSDS la digestibilidad de éste varía y debido a las altas temperaturas que se proporcionan durante el proceso de secado, se puede producir la reacción de Maillard (Babcock *et al.*, 2008; Fontaine *et al.*, 2007), porque el grupo amino épsilon de lisina reacciona con los azúcares reductores, lo que provoca que la lisina se vuelva indisponible para el ave (Araba y Dale, 1990). Batal y Dale (2006) informaron que en GSDS la digestibilidad de la lisina es de 46% a 78%, mientras que Fastinger *et al.*,

(2006) reportaron que la variación es de 65% a 82%. Por otra parte, la digestibilidad de la treonina es de 63.6% a 86.6%. Finalmente, otro aminoácido limitante es la cistina y la digestibilidad de éste es de 62.6% a 87.6% (Batal y Dale, 2006).

Energía Metabolizable en granos secos de destilería con solubles

El contenido de grasa de los GSDS de maíz es de 10% a 11%, tienen una concentración de energía bruta (EB) mayor que el grano de maíz, sin embargo la digestibilidad de energía metabolizable (EM) podría verse afectada por los PNA (Świątkiewicz y Koreleski, 2008).

Batal y Dale (2006) reportan que el valor energético de los GSDS varía de 2490 kcal/kg a 3190 kcal/kg, con una media de 2800 kcal/kg, mientras que Adeola y Zhai (2012) encontraron valores de 2279 kcal/kg a 2.800 kcal/kg.

Color en granos secos de destilería con solubles

El color de los GSDS de maíz puede variar de claro a color amarillo dorado hasta marrón muy oscuro, éste se puede afectar por la cantidad de solubles agregados a los granos antes del secado (entre más solubles el color se vuelve más oscuro), el tipo de secado y la temperatura utilizada para el secado (127°C a 621°C, entre más alta es la temperatura más oscuro son los GSDS), así como el color natural del maíz depende de la variedad a la que pertenece (Noll *et al.*, 2006).

La duración del calentamiento está correlacionado en los GSDS con el color y la digestibilidad de la lisina, además cuando se aplica demasiado calor a los granos, la reacción de Maillard se produce como resultado de la unión de los aminoácidos y proteínas de otros compuestos tales como la fibra, lo que produce que se formen compuestos poliméricos de alto peso molecular conocidos como melanoidinas, que las aves no pueden digerir y se excretan del cuerpo (Anónimo, 2012).

Cromwell *et al.* (1993), Batal y Dale (2006) mostraron que las concentraciones de lisina tienden a ser más altas en GSDS de colores claros, intermedios en colores medios, y bajos en oscuros, con una digestibilidad para aves de 59% a 83% (Ergul *et al.*, 2003). Sin embargo, Urriola (2009) indica que el color no se puede utilizar para predecir con precisión el contenido de lisina digerible entre las fuentes de GSDS.

El color se mide mediante la lectura de tres características de color definidos específicamente por la Comisión Internacional de Eclairage, en Viena, Austria; la claridad u oscuridad del color se determina por lectura L^* (0 = oscuro, 100 = más ligero), a^* (enrojecimiento – verdor) y b^* (amarillez – azulado) (Figura 3). Bhadra *et al.* (2009) reportaron en GSDS que L^* varió desde 36.6 hasta 50.2, a^* osciló entre 5.2 y 10.8 y b^* fluctuó de 12.5–23.4.

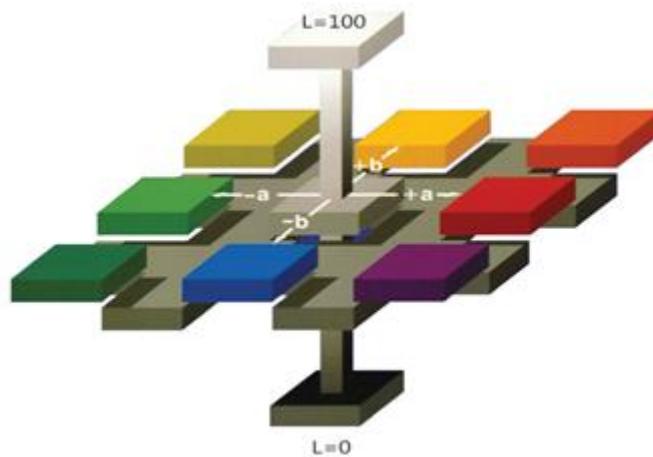


Figura 3. Escala de medición de Hunter Laboratorio.

Fuente: Hunterlab, 2013.

Olor en granos secos de destilería con solubles

Los GSDS claros tienen un olor dulce fermentado mientras que los GSDS oscuros tienen un olor a quemado por el sobrecalentamiento (Cozzannet *et al.*, 2010).

Contenido de humedad en granos secos de destilería con solubles

El contenido de humedad de los GSDS generalmente es de 10% a 12%, para evitar que se formen hongos durante el almacenamiento y transporte; pero, se sabe que contenidos de humedad de 9% ayudan a mejorar la fluidez de los GSDS en comparación con aquellos que contienen 12% de humedad (Johnston *et al.*, 2009).

Contenido de Fósforo (P) en granos secos de destilería con solubles

El fósforo es un mineral de interés en la avicultura, debido a su valor nutrimental y a la contaminación que puede ocasionar al medio ambiente, además de ser el tercer nutriente más

caro en la dieta; aproximadamente de 60% a 70% de fósforo en una dieta con base de maíz-pasta de soya está presente como fósforo-fítico que no está disponible para el ave (Baker, 1991; Lumpkins y Batal, 2005). En los GSDS el contenido de fósforo destaca sobre otros minerales con un contenido de 0.72% a 1.82% (Spiehs *et al.*, 2002; Shurson, 2003) y una disponibilidad relativa del 75% a 87% (Martínez-Amezcuca *et al.*, 2004), debido a que en la fermentación, una parte del fósforo-fítico del maíz se hidroliza por la fitasa microbiana (El Hag *et al.*, 2002). Martínez-Amezcuca y Parsons (2007) mencionan que temperaturas elevadas mejoran la biodisponibilidad relativa de fósforo aunque se afecta la digestibilidad de los aminoácidos.

Contenido de xantofilas en granos secos de destilería con solubles

Las xantofilas son pigmentos de color amarillo / naranja natural en el maíz y en los derivados de éste, los GSDS al ser un subproducto las concentran, lo que ayuda a pigmentar la yema del huevo y la piel del pollo; en el proceso de fermentación y secado a altas temperaturas no se destruye la actividad de estos compuestos. Los GSDS pueden contener de 34.0 ppm (Sauvant y Tran, 2004) a 36.72 ppm (Salim *et al.*, 2010). Roberson *et al.* (2005) publicaron que los GSDS de color oscuro contenían 3.48 ppm de xantofilas, mientras que los GSDS de color claro contenían 29.75 ppm de éstas.

Uso de granos secos de destilería con solubles en la avicultura

La inclusión de GSDS en la avicultura sigue en aumento en diferentes partes del mundo, debido a que su precio es menor en relación a otros ingredientes y el conocimiento de su composición nutricional cada vez es más conocido; sin embargo, la disponibilidad de nutrientes es muy variable (Parsons *et al.*, 2006).

Los GSDS son un ingrediente aceptable para usarse en las dietas de las aves, éstos pueden incluirse a niveles de 5% a 8% en dietas de iniciación para pollos de engorda y pavos, y de 12% a 15% en la etapa de crecimiento y finalización en pollos de engorda, pavos y gallinas ponedoras (Świątkiewicz y Koreleski, 2008). Se pueden agregar niveles más altos (20%–24%) siempre y cuando se conozca el contenido de aminoácidos de los GSDS y las dietas se hayan formulado con base en aminoácidos digestibles (Wang *et al.*, 2007; Shim *et al.*, 2011).

Uso de granos secos de destilería con solubles en pollitas

Los costos de alimentación de una pollita hasta las 18 semanas de edad, tienen un equivalente de 800 g a 1 kg de huevo, las pollitas deben someterse a programas de alimentación que maximicen el consumo de nutrimentos para lo cual se deben utilizar dietas que cubran sus requerimientos de nutrientes, teniendo en cuenta que el peso de las pollitas es un criterio importante en la producción de las gallinas ponedoras (Leeson y Summers, 2005). Los GSDS son tan variables que los productores avícolas no se atreven a utilizar niveles altos durante la crianza. Se han informado pocas investigaciones en pollas con GSDS de maíz, en la década de los 60 Couch *et al.* (1967) utilizó 0% y 37% de GSDS en pollitas reproductoras pesadas de 9 a 25 semanas de edad y encontró que las pollitas alimentadas con GSDS de maíz durante el período de crecimiento tuvieron mejor porcentaje de postura, peso de huevo y conversión de alimento con respecto al testigo.

Babcock *et al.* (2008) indican que la inclusión de GSDS en aves jóvenes debe empezar con niveles bajos y aumentar gradualmente el nivel de inclusión conforme las aves maduran, hasta llegar a un 15%, aunque esto depende de la disponibilidad y el precio de los GSDS. Masa' deh *et al.* (2011) realizaron un estudio con pollitas de 1 d de edad a 16 semanas, las etapas se dividieron de 1 d a 6 semanas, de 7 a 9, 10 a 15, y 16 semanas de edad; los niveles de inclusión de los GSDS fueron 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10% y 12.5%, y encontraron que no hubo diferencias en el consumo de alimento y peso de las pollas independientemente de los niveles de GSDS, sin embargo, en la interacción tiempo x tratamiento sí se afectó el peso vivo de las aves, en el cual, las que tuvieron mayor peso fueron alimentadas con 12.5% de GSDS a las 14, 15 y 16 semanas de edad; además de encontrar que los diferentes niveles no tuvieron efecto en la tasa de mortalidad y que la alimentación con 12.5% de GSDS tuvo un beneficio económico en comparación con la dieta testigo.

Uso de granos secos de destilería con solubles en gallinas de postura

Desde la década de los 60 existen investigaciones sobre el uso de los GSDS de maíz en dietas de ponedoras, con diferentes niveles de inclusión para determinar los rangos máximos de inclusión de los GSDS, estos trabajos confirman que pueden sustituir parcialmente a la pasta de soya o maíz, con excelentes parámetros productivos en las ponedoras y calidad de huevo (Matterson *et al.*, 1966); sin embargo, las investigaciones de hace 50 años en las que se

utilizaron GSDS en las aves, no reflejan la calidad de los GSDS que se producen actualmente, con tecnología moderna, diseño de ingeniería, tecnología de fermentación y proceso de secado en comparación con las plantas antiguas construidas en décadas anteriores, ni el potencial genético de las aves actuales.

Pineda *et al.* (2008) incluyeron niveles de 0%, 23%, 46% y 69% de GSDS de maíz a gallinas ponedoras durante 8 semanas; el porcentaje de postura y peso de huevo no tuvo ningún cambio significativo, mientras que el consumo de alimento aumentó linealmente conforme se incrementaban los GSDS de maíz en la dieta; en lo que respecta a calidad de huevo, no se afectaron la gravedad específica y las unidades Haugh, sin embargo, el color de la yema incrementó por el aumento de la inclusión de GSDS. El peso del cascarón del huevo no se afectó por los tratamientos.

Estudios recientes demuestran que se pueden utilizar niveles más altos de GSDS que lo que se pensó inicialmente. Masa'deh *et al.* (2011) adicionaron seis niveles de GSDS: 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% a gallinas ponedoras de 24 a 46 semanas (fase uno) y de 47 a 76 semanas (fase dos), no hubo diferencias significativas en el consumo de alimento, ganancia de peso, porcentaje de postura, altura de albúmina, unidades Haugh y gravedad específica, sin embargo, el peso del huevo disminuyó con niveles superiores a 15% de GSDS durante la fase uno, pero no durante la fase dos; la coloración de la yema fue mayor conforme aumentaba la inclusión de los GSDS (0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25%) a (5.6, 6.2, 6.3, 6.7, 6.9, 7.2 respectivamente en la escala de Roche). La retención de nitrógeno y fósforo aumentó y la excreción disminuyó cuando las gallinas se alimentaron con dietas de 25% de GSDS.

Estos resultados incentivan a nutricionistas como a productores avícolas a reconsiderar el uso de GSDS como un ingrediente alternativo para la alimentación de las aves.

Uso de granos secos de destilería con solubles en pollos de engorda

La carne de pollo es la principal fuente de proteína para la población mexicana, con el 33% de la producción pecuaria, ya que su precio es accesible en el mercado en comparación con el bovino y el cerdo, por su crecimiento rápido, debido a los avances en genética y la capacidad de utilizar de manera eficiente la alimentación (UNA, 2015). Los GSDS se utilizan en las dietas de pollos de engorda desde hace casi un siglo y durante la última década se consideraron una

opción para alimentar a los pollos de engorda pues sirven como fuente de energía alternativa en la dieta de las aves a un menor costo (Shim *et al.*, 2011). Loar II *et al.* (2010) encontraron que en pollos los GSDS pueden incluirse hasta 8% de 0 d a 14 d de edad y a 15% de 14 d a 42 d de edad sin afectar el peso vivo.

En un estudio reciente Bolu *et al.* (2012) realizaron un experimento donde utilizaron cinco niveles de GSD 0%, 10%, 20%, 30% y 40% para reemplazar al maíz y encontraron que el consumo de alimento se incrementó conforme aumentaban los niveles de GSD; las aves alimentadas con 40% GSD tenían el consumo más alto (72.90 g/ave/d), mientras que el consumo de alimento de las aves de la dieta testigo tenían el más bajo (68.04 g/ave/d); las aves alimentadas con 10% GSD tuvieron la mejor ganancia de peso (27.95 g/ave/d), después de este nivel el peso disminuía conforme aumentó la inclusión de GSD.

Hassan y Aqil (2015) evaluaron el efecto de diferentes niveles de 0%, 5% y 10% GSDS en el comportamiento productivo de pollos de engorda de 1 d a 35 d de edad. Los resultados obtenidos en este estudio no mostraron diferencias en el peso vivo, ganancia de peso, consumo de alimento y tasa de mortalidad, entre tratamientos; sin embargo, la conversión alimenticia fue significativamente mejor para los pollos alimentados con 5% de GSDS que aquellos alimentados con la dieta testigo.

Uso de enzimas en la avicultura

El uso de enzimas en la avicultura tiene gran impacto debido al alto precio del fósforo, proteína, energía y al bajo costo de las enzimas, así como para cuestiones ambientales. Utilizar enzimas exógenas tiene beneficios económicos ya que se relaciona con la disminución del alimento, lo que permite una mejor conversión alimenticia, así como una mejor calidad de cama y la salud de las aves, por lo tanto tiene influencia en los costos totales de producción (Costa *et al.*, 2008).

La adición de enzimas y suplementos enzimáticos en la avicultura ayudan a mejorar la digestión de proteínas, aminoácidos, calcio y fósforo, además de mejorar la eficiencia alimenticia se mantiene en buen estado la salud intestinal (Cowieson y Ravindran, 2008; Zhou *et al.*, 2009; Bedford y Partridge, 2010). Las enzimas se clasifican de acuerdo a los sustratos en los cuales actúan en determinadas condiciones de pH, humedad y temperatura; en la avicultura se usan

diferentes enzimas, entre las que se encuentran las carbohidrasas (actúan en fibra), proteasas (funcionan en proteínas) y fitasas (trabajan en el fósforo) (Bedford y Partridge, 2010).

Uso de enzimas en la alimentación avícola con granos secos de destilería con solubles

El aumento de los precios del maíz se da por el desvío preferencial hacia el consumo humano y la industria del etanol en Estados Unidos; para poder minimizar el costo relacionado con la energía y los aminoácidos de la dieta, es necesario el uso de enzimas exógenas que aumenten la digestibilidad de la energía y otros nutrientes en las aves. Los GSDS contienen altos niveles de PNA, que son carbohidratos poliméricos con diferente composición y estructura del almidón (Cowieson, 2005).

Los PNA se dividen en tres grupos: celulosa, polímeros no celulósicos (arabinosilanos, β -glucanos, mananos, galactanos y xiloglucanos) y polisacáridos pécticos (Choct, 1997), la solubilidad de estos, afecta los nutrientes cuando se ingiere por las aves, y ésta se determina por el tamaño y concentración de la molécula, la cantidad y disposición de sus ramificaciones y la forma en que están unidos a otros componentes de la pared celular (Francesch, 1996).

Por lo cual enzimas para PNA se incorporan como productos enzimáticos aislados (xilanasas, glucanasas, etc.) o mezcladas con otras enzimas. Las xilanasas son enzimas utilizadas en la dieta de las aves para potencializar la digestión de polisacáridos contenidos en el interior de las células vegetales, éstas rompen las cadenas de arabinosilanos prevalentes en granos y subproductos, hidrolizándolos en polímeros pequeños (arabinosa y xilosa) lo que provoca que no aumente la viscosidad intestinal y así se liberen los nutrientes que no son accesibles al ataque de las secreciones endógenas debido a la falta de capacidad de las aves de romper las paredes celulares vegetales; con ello se reduce la viscosidad de la ingesta y se mejora la digestibilidad de los nutrimentos, además de que se reducen las pérdidas de nutrientes en las excretas, lo que disminuye la disponibilidad de sustrato para el crecimiento microbiano en el íleon (Coata *et al.*, 2008; Jia *et al.*, 2009).

Barekattain *et al.* (2013), realizaron una investigación con GSDS a un nivel de 20% con y sin la adición de xilanasas en pollos de engorda de 1 d a 35 d, y encontraron que la suplementación de la enzima ayudó a las aves a mejorar el consumo de alimento y la ganancia de peso.

Por otra parte, en un estudio de Świątkiewicz y Koreleski (2006), se utilizaron gallinas de 26 a 43 semanas y de 44 a 68 semanas, a las que se les adicionaron GSDS a niveles de 0%, 5%, 10%, 15% y 20%; a las dietas que contenían el nivel más alto se les incluyó una mezcla de enzimas (amilasa, β -glucanasa, pentosanasa, hemicelulasa, pectinasa). En la primera fase el nivel de GSDS en la dieta no modificó el porcentaje de postura, peso del huevo, consumo de alimento y conversión alimenticia. En la segunda etapa, no hubo diferencias significativas en el porcentaje de postura en los tratamientos que contenían 0%, 5%, 10% y 15% de GSDS, pero la inclusión de 20% afectó negativamente el porcentaje de postura y el peso del huevo; cuando se añadió a este mismo nivel la mezcla de enzimas se mejoró la postura y el peso del huevo. El nivel de GSDS en la dieta no tuvo ningún efecto sobre la altura de albúmina, unidades Haugh, grosor de la cáscara de huevo, la densidad y la rotura o propiedades sensoriales de los huevos duros, sin embargo el color de la yema es mayor conforme aumentaron los niveles de GSDS en la dieta.

En cuanto al uso de enzimas y GSDS en pollas, se necesita investigar más al respecto, ya que hasta el momento no existen publicaciones.

Aflatoxinas

Las aflatoxinas son micotoxinas producidas como metabolitos secundarios tóxicos por varias especies de hongos *Fusarium*, *Aspergillus* y *Penicillium*. Hasta el momento existen 18 tipos de aflatoxinas; las principales se subdividen en los grupos B (B1, B2) y G (G1, G2), con base en la fluorescencia a la luz ultravioleta azul o verde (B y G por sus siglas en inglés) y los números asignados a ellos se les da con base a la distancia relativa recorrida en una cromatografía en capa fina (TLC) (Bennett y Klich, 2003).

La aflatoxina B1 (AFB1) es la más tóxica (Figura 4), por ser un hepatocarcinógeno activo el que se puede producir durante la cosecha del maíz, almacenamiento o procesamiento del alimento; la AFB1 se considera la más importante desde el punto de vista de salud pública, ya que es un potente carcinógeno que se basa en la biotransformación del sistema hepático microsomal P450a AFB1-8, 9-epóxido, y es un intermediario altamente reactivo capaz de unirse a proteínas, ADN y ARN para formar un compuesto estable con el N7 de los residuos guanil que causa mutaciones en el codón 249 del gen p53 supresor de tumores. Esta transformación es característica del carcinoma hepático en el hombre (Urrego *et al.*, 2014).

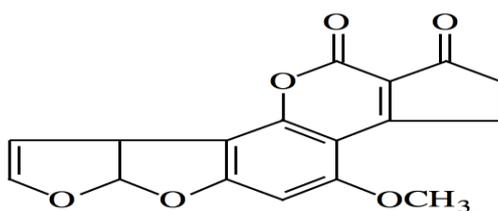


Figura 4. Estructura química de la aflatoxina B1.

Efecto de las Aflatoxinas sobre la salud y producción de las aves

Las aflatoxinas se descubrieron en los sesenta, al provocar la muerte de 100 000 pavos en Inglaterra; esta enfermedad se presentó después de que las aves consumieron harina de cacahuete contaminado con *Aspergillus flavus* (Benett y Klich, 2003). Las aflatoxinas implican pérdidas económicas importantes además de propiedades anabolizantes, estrogénicas, carcinogénicas y mutagénicas (Williams *et al.*, 2004). Sin embargo, el mayor problema de las micotoxicosis se atribuye a los daños en los diversos órganos y sistemas de las aves, lo que provoca la disminución del rendimiento productivo de las mismas (Vieira, 2003).

Las aflatoxinas se metabolizan, biotransforman metabolitos, se sintetizan y almacenan en los órganos de las aves (hígado, riñón y cerebro) (Trucksess *et al.*, 1983; Oliveira *et al.*, 2000), y huevos (Amirkhizi *et al.*, 2015), pero no todas las AF se asimilan y algunos restos son excretados en la camada. La enfermedad que producen estas toxinas se denomina micotoxicosis, y pueden dañar las mucosas de las membranas, tracto digestivo y los sistemas nervioso y circulatorio (Del Bianchi *et al.*, 2005).

La micotoxicosis en el ave provoca sintomatologías como mala absorción de nutrientes, hemorragias, lesiones hepáticas (hígado graso, necrosis), disminución del apetito, crecimiento lento, conversiones alimenticias pobres, disminución de la producción de huevo, disminución del tamaño de huevo y mortalidad (Verma *et al.*, 2003) o inmunosupresivas ya que inhibe la fagocitosis y la síntesis de proteína, interrumpiendo la síntesis de ADN y ARN en el ribosoma (Andretta *et al.*, 2011; Gimeno y Martins, 2011; Yunus *et al.*, 2011).

Micotoxinas en granos secos de destilería con solubles de maíz

La Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) estima que las micotoxinas afectan el 25% de los cultivos mundiales, en los GSDS las micotoxinas no se destruyen durante

el proceso de producción de etanol, por el contrario, se concentran tres veces más (Richard, 2007; Krska *et al.*, 2012), lo que presenta dos problemas para las plantas productoras de etanol; en primer lugar, porque pueden causar daño a la salud animal y por consiguiente a la salud humana y en segundo, las micotoxinas afectan la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) durante la fermentación, lo que disminuye el rendimiento de etanol (Jacques *et al.*, 2003).

Los GSDS están más expuestos al crecimiento de los hongos que el grano de maíz entero, ya que el pericarpio que protege al grano se tritura durante la obtención de etanol y esta ruptura puede permitir que haya mayor superficie de exposición de los nutrientes con las esporas de los hongos; las aflatoxinas que se pueden encontrar en los GSDS son fumonisinas, deoxinivalenol, toxina T-2, zearalenona, tricotecenos y ocratoxina (Zhang y Caupert, 2012), éstas son toxinas se producen en el grano del maíz durante el desarrollo, maduración, cosecha, transporte y procesamiento o almacenamiento de los granos (temperatura, humedad) (Krska *et al.*, 2012). Todos los animales domésticos son susceptibles a daños por el consumo de estas aflatoxinas.

Zhang y Caupert (2012) llevaron a cabo un estudio de micotoxinas en GSDS de maíz e informaron que de 67 muestras de 8 plantas de etanol en los Estados Unidos el 12% contenían zearalenona, esta micotoxina rebasó los niveles recomendados por la FDA. Mientras que Piyum *et al.* (2014) recogieron 140 muestras de 78 plantas de etanol de 12 estados de Estados Unidos y encontraron que el 26% (36/141) contenían 1 mg g⁻¹ a 5 mg g⁻¹ de zearalenona, 2% (3/141) contenía >5 mg g⁻¹ y <10 mg g⁻¹ de esta aflatoxina y 3% (4/141) contenían >10 mg g⁻¹ de zearalenona. Estos resultados muestran la necesidad de nuevas y mejores estrategias de detección y control para las micotoxinas en los GSDS.

Niveles de micotoxinas permitidos en alimentos para animales

Las reglamentaciones varían según las normas de cada país o la comunidad de comercialización internacional a las que pertenecen, sin embargo, no existe una legislación internacional al respecto y en algunos países no existen normativas vigentes. En México existe la Norma Oficial Mexicana NOM-188-SSA1-2002, Productos y Servicios para el control de aflatoxinas en cereales para consumo humano y animal, la cual establece que los cereales con una concentración mayor de 20 µg/kg de aflatoxinas y que se destinen para consumo directo o como parte de alimentos procesados, deberán ajustarse a lo dispuesto en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Concentraciones de aflatoxinas para consumo directo o como parte de alimentos procesados para animales.

Especie/etapa de producción	Límite máximo µg/kg
Aves (excepto pollos de engorda)	100
Cerdos en engorda:	
Entre 25 y 45 kg	100
Mayores de 45 kg	200
Maduros destinados a reproducción	100
Rumiantes	
Maduros destinados a reproducción	100

Estados Unidos tiene en el maíz un límite de niveles permisibles de aflatoxinas según la División para la Administración de comidas y drogas (FDA, 2011), Prevención y Control de Micotoxinas (Cuadros 3 y 4).

Cuadro 3. Niveles de micotoxinas encontrados en alimentos y sus niveles permisibles según la FDA.

Micotoxina	Artículo	Niveles permitidos por la FDA
Aflatoxina	Maíz	20 ppb
Fumonisinias	Productos de maíz	2ppm en germen seco de maíz molido, 4 ppm en entero de los productos del maíz, del salvado del maíz y de masa parcialmente desgerminada.
	Maíz de varios países	
Ocratoxina A	Maíz	No se permite ningún nivel.
Tricoticonos	Harina de maíz	1 ppm para el deoxynicalenol.

FDA, Administración de comidas y drogas; ppb, partes por billón; ppm, partes por millón.

Cuadro 4. Niveles recomendados de micotoxinas por la FDA en alimentos completos.

Micotoxina	Animal	Nivel permitido ppm
Fumonisina	Aves para sacrificio, no más de 50% en la dieta	100
Aflatoxina	Aves maduras	20
Deoxinivalenol	Pollos con recomendación que estos no excedan el 50% de la dieta	10

Fuente: Zhang *et al.*, 2009.

FDA, Administración de comidas y drogas; ppm, partes por millón.

Capturantes o adsorbentes

Para minimizar las pérdidas económicas causadas por las aflatoxinas existen procedimientos físicos, químicos y microbiológicos para poder destruir, modificar o adsorber micotoxinas. En la avicultura se usan adsorbentes o capturantes (CAP) no nutritivos, éstos se unen con las micotoxinas que se encuentran en el alimento, impidiendo que se absorban en el tracto gastrointestinal; el complejo toxina-adsorbente pasa a través del sistema digestivo y se elimina en las heces (Gimeno y Martins, 2011). Las micotoxinas se adhieren a estos compuestos por medio de adsorción física (interacciones débiles de van der Waals y enlaces de hidrógeno) y adsorción química (interacciones fuertes mediante enlace iónico o covalente).

Un CAP ideal debe ser fácil de aplicar, uniforme y palatable para las aves, y no presentar afinidad por vitaminas, minerales u otros nutrimentos (Muzaffer y Pérez, 2006). Los sustratos utilizados para los CAP son aluminosilicatos (arcillas, carbón activado y polímeros de colestiramina y pirrolidona). La eficacia de los CAP depende de su estructura química y el tipo de toxina, ya que no todos los CAP secuestran todas las micotoxinas (Galeano, 2011).

Arcillas

Los minerales arcillosos se definen como materiales cristalinos con tamaño de partícula menor a 2 µm, formados por aluminosilicatos o silicatos de aluminio, éstos se forman por grupos de silicatos de compuestos de silicio y oxígeno y uno o más iones metálicos (SiO₄)⁴⁻ y magnesio hidratados, que pueden contener cantidades variables de hierro, potasio, sodio y otros elementos (Salazar *et al.*, 2010).

Los silicatos tienen un ion complejo de forma de tetraedro; éste consiste en una combinación de un ion de silicio con cuatro átomos de oxígeno esta forma de estructura hace que los aluminosilicatos tengan amplia superficie de contacto y porosidad (Figura 5).

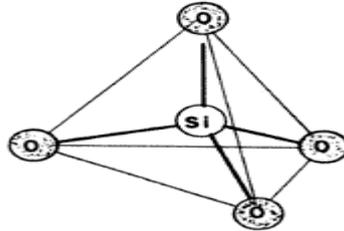


Figura 5. Estructura básica de los silicatos.

Los tetraedros pueden unirse entre sí y formar diferentes grupos, como nesosilicatos (tetraedro simple), sorosilicatos (dobles tetraedros), ciclosilicatos (anillos), inosilicatos (simples y dobles cadenas), filosilicatos (hojas), tectosilicatos (armazones). Dentro de los filosilicatos se encuentra la bentonita, mientras que en los tectosilicatos están la sepiolita y zeolitas (Smith, 2005). Las bentonitas se componen de montmorillonitas, las cuales tienen capacidad de intercambio catiónico, lo que les permite formar geles que actúan como capturantes de aflatoxinas (Smith, 2005). Mientras que los tectosilicatos se intercalan con iones de aluminio, calcio y sodio para formar sódico-alumínico-calcio hidratado (HSCAS por sus siglas en inglés), lo que hace que la molécula se expanda conforme aumenta la distancia entre los iones silicio, al mismo tiempo aumenta los puntos de enlace y el área de contacto para aumentar la adsorción de micotoxinas (Phillips *et al.*, 1990).

LITERATURA CITADA

AAFCO. (Association of American Feed Control). 2014. Official Publication. Oxford, IN: American Feed Control Officials Inc. [En línea] Disponible en <http://www.aafco.org/> (revisado el 18 abril de 2015).

Adeola, O., and H. Zhai. 2012. Metabolizable energy value of dried corn distillers grains and corn distillers grains with solubles for 6-week-old broiler chickens. *Poultry Science*. 91: 712–718.

Amirkhizi, B., M. Nemati, S. Arefhosseini, and M. Ansarin. 2015. Aflatoxin B1 in eggs and chicken livers by dispersive liquid-liquid microextraction and HPLC. *Food Additives and Contaminants: Part B*. Accepted Manuscript. pp.7.

Anónimo. 2012. Distiller's Dried Grains with Solubles (DDGS) a guide to. 3rd Edition of the DDGS User Handbook. Chapter19. pp. 1–15.

Anónimo. 2015. Maíz producción mundial. [En línea]. Disponible en <https://www.produccionmundialmaiz.com/> (revisado el 15 de abril de 2015).

Andretta, I., M. Kipper, C. Lehnen, L. Hauschild, M. Vale, and P. Lovatto. 2011. Meta-analytical study of productive and nutritional interactions of mycotoxins in broilers. *Poultry Science*. 90: 1934–1940.

Araba, M., and N. Dale. 1990. Evaluation of protein Solubility as an Indicator of over processing Soybean Meal. *Poultry Science*. 69: 76–83.

Babcock, B., D. Hayes, and J. Lawrence. 2008. Using Distillers Grains in the U.S. and International Livestock and Poultry Industries. Online Book. Edited by. Babcock, D.J. Hayes, and J.D. Lawrence. B.A Midwest Agribusiness Trade Research and Information Center, Center for Agricultural and Rural Development, Iowa State University, Ames. pp. 99–128.

Baker, D. 1991. Bioavailability of mineral and vitamins. In: E. R. Miller, D. E. Ullrey, and A. J. Lewis. *Swine Nutrition*. Butterworth-Heinemann. pp. 36–72.

Batal, A., and N. Dale. 2006. True metabolizable energy and amino acid digestibility of distillers dried grains with soluble. *Journal Applied Poultry Research*. 15: 89–93.

Barekatin, M., C. Antipatis, N. Rodgers, W. Walkden-Brown, P. Iji, and M. Choct. 2013. Evaluation of high dietary inclusion of distillers dried grains with solubles and supplementation of protease and xylanase in the diets of broiler chickens under necrotic enteritis challenge. *Poultry Science*. 92: 1579–1594.

Barragán, J., C. del Campo, C. Peña, J. Robles, P. Martínez, C. Plasencia, J. Hernández, E. De Lucas y P. Reyes. 2008. Utilización de granos secos de destilería con solubles (ddgs) en la alimentación animal. XIX semana de la investigación científica. CUCBA.

Bennett, J., and M. Klich. 2003. Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews*. 16(3): 497–516.

Bedford, M., and G. Partridge. 2010. *Enzymes in farm animal nutrition*, 2nd edition. CABI is a trading name of CAB International. pp. 1–15.

Bhadra, R., K. Rosentrater, and K. Muthukumarappan. 2009. Cross-Sectional Staining and Surface Properties of DDGS Particles and Their Influence on Flowability. *Cereal Chemistry*. 86(4): 410–420.

Bolu, S., O. Alli, and P. Esuola. 2012. Response of Broilers to Graded Levels of Distillers Dried Grain. *Sustainable Agriculture Research*. 1: 147–150.

Boulton, B., V. Singleton, L. Bisson, and R. Kunkee. 1996. Yeast and biochemistry of ethanol fermentation. In: *Principles and Practices of Winemaking*, Boulton B, Singleton VL, Bisson LF, Kunkee RE (eds). Chapman and Hall. New York, pp. 139–172.

CEPA. (California Environmental Protection Agency). 2012. California-Modified GREET Pathway for the Production of Biodiesel from Corn Oil at Dry Mill Ethanol Plants. Stationary Source Division, Release Date: November 3, 2011, Version 2.0. pp. 40.

Coata, F., C. Goulart, D. Figueiredo, C. Oliveira, and J. Silva. 2008. Economic and environmental impact of using exogenous enzymes on poultry feeding. *Poultry Science*. 7(4): 311–314.

Costa, F., C. Goulart, D. Figueiredo, C. Oliveira, and J. Silva. 2008. Economic and Environmental Impact of Using Exogenous Enzymes on Poultry Feeding. *Poultry Science*. 7 (4): 311–314.

Couch, J., Y. Bakashi, T. Ferguson, E. Smith, and C. Greger. 1967. The effect of processing on the nutritional value of guar meal for broiler chicks. *British Poultry Science*. 8: 243–250.

Cowieson, A. 2005. Factors that affect the nutritional value of maize for broilers. *Animal Feed Science Technology*. 119: 293–305.

Cowieson, A., and V. Ravindran. 2008. Sensitivity of broiler starters to three doses of an enzyme cocktail in maize-based diets. *British Poultry Science*. 49: 340–346.

Cozannet, P., M. Lessire, J.-P. Métayer, C. Gady, Y. Primot, P.-A. Geraert, L. Le Tutour, F. Skiba, and J. Noblet. 2010. Valeur nutritive des drêches de blé et de maïs pour les volailles. *INRA Production animal*. 23(5): 405–414.

Cromwell, G., K. Herkelman, and T. Stahly. 1993. Physical, chemical, and nutritional characteristics of distillers dried grains with soluble for chicks and pigs. *Journal Animal Science*. 71: 679–686.

Choct, M. 1997. Feed non-starch polysaccharides: chemical structures and nutritional significance. *Feed Milling International*, June Issue. pp. 1–10.

Del Bianchi, M., C. Oliveira, R. Albuquerque, J. Guerra, and B. Correa. 2005. Effects of prolonged oral administration of aflatoxin B1 and fumonisin B1 in broiler chickens. *Poultry Science*. 84: 1835–1840.

Dupin, I., B. Mc Kinnon, C. Ryan, M. Boulay, A. Markides, P. Graham, P. Fang, I. Boloni, E. Haque, and C. Spillman. 1997. Comparison of energy efficiency between roller mill and a hammer mill. *Applied Engineering in Agriculture*. 13: 631–635.

El Hag, M., A. El Tinay, and N. Yousif. 2002. Effect of fermentation and dehulling on starch, total polyphenols, phytic acid content and in vitro protein digestibility of pearl millet. *Food Chemistry*. 77: 193–196.

Ergul, T., C. Martinez-Amezcuca, C. Parsons, B. Walters, J. Brannon, and S. Noll. 2003. Amino acid digestibility in corn distillers dried grains with solubles. *Poultry Science*. 82(1): 70.

Fastinger, N., J. Latshaw, and D. Mahan. 2006. Amino Acid Availability and True Metabolizable Energy Content of Corn Distillers Dried Grains with Solubles in Adult Cecectomized Roosters. *Poultry Science*. 85: 1212–1216.

FDA. (Food and Drug Administration). 2011. Regulatory Guidance for Mycotoxins A Guide for Grain Elevators, Feed Manufacturers, Grain Processors and Exporters by National Grain and Feed Association. [En línea]. Disponible en <http://www.ngfa.org/wpcontent/uploads/NGFAComplianceGuideFDARegulatoryGuidanceforMycotoxins8-2011.pdf> (revisado el 20 de mayo de 2015).

Fontaine, J., U. Zimmer, P. Moughan, and S. Rutherford. 2007. Effect of Heat Damage in an Autoclave on the Reactive Lysine Contents of Soy Products and Corn Distillers Dried Grains with Solubles: Use of the Results to Check on Lysine Damage in Common Qualities of these Ingredients. *Food Chemistry*. 55: 10737–10743.

Francesch, M. 1996. Bases de la utilización de complejos enzimáticos en avicultura. In: XII Curso de Especialización FEDNA. Madrid, España. 7-8 de Noviembre. pp. 1–13.

Galenao, L. 2011. Peroxidación catalítica de contaminantes orgánicos en medio acuoso utilizando una bentonita modificada con Al y Fe, Cu o Mn. Requisito presentado para obtener el grado de Doctor en ciencias químicas. Universidad de Salamanca. pp. 1–19.

Gimeno, A., y M. Martins. 2011. Micotoxinas y Micotixicosis en animales y humanos. 3ra edición. Special Nutrients, INC. USA. pp. 30–48.

Han, X., and B. Hamaker. 2001. Amylopectin fine structure and rice starch paste breakdown. *Journal of Cereal Science*. 34: 279–284.

Hassan, S., and A. Aqil. 2015. Effect of Adding Different Dietary Levels of Distillers Dried Grains with Solubles (DDGS) on Productive Performance of Broiler Chicks. *Poultry Science*. 14(1): 13–18.

Hunter Lab. 2013. [En línea]. Disponible en www.Hunterlab.com. (revisado el 08 de marzo de 2015).

Johnston, L., J. Goihl, and G. Shurson. 2009. Selected additives did not improve flowability of DDGS in commercial systems. *Applied Engineering in Agriculture*. 25(1): 75–82.

Jia, W., B. Slominski, H. Bruce, C. Nyachoti, and R. Jones. 2009. Enzyme addition facilitates the post-disease compensatory growth of broiler chickens challenged with *Clostridium perfringens*. *Journal Animal Science*. 89: 369–381.

Jacques, K., T. Lyons, and D. Kelsall. 2003. *The alcohol textbook*. 4th ed. K.A. Jacques, T.P. Lyons and D.R. Kelsall Ed. Nottingham University Press. Nottingham, UK. pp. 9–20.

Krska, R., J. Richard, R. Schuhmacher, A. Slate, and T. Whitaker. 2012. *Guide to mycotoxins*. 4th Edition. Edited by E.M. Binder and R. Krska. Romer Labs. pp. 2–48.

Lázaro, R., M. Garcia, M. Aranibar, and G. Mateos. 2003. Effect of enzyme addition to wheat-barley and rye-based diets on nutrient digestibility and performance of laying hens. *British Poultry Science*. 44: 256–265.

Leeson, S., and J. Summers. 2005. *Commercial Poultry Nutrition*. 3th ed. University Books, Guelph, Ontario, Canadá. pp. 124–161.

Lin, Y., and S. Tanaka. 2006. Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. *Applied Microbiology Biotechnology*. 69: 627–642.

Loar II, R., J. Moritz, J. Donaldson, and A. Corzo. 2010. Effects of feeding distillers dried grains with solubles to broilers from 0 to 28 days posthatch on broiler performance, feed manufacturing efficiency, and selected intestinal characteristics. *Poultry Science*. 89: 2242–2250.

Lumpkins, B., and A. Batal. 2005. The Bioavailability of Lysine and Phosphorus in Distillers Dried Grains with Solubles. *Poultry Science*. 84: 581–586.

Martinez-Amezcu, C., C. Parsons, and S. Noll. 2004. Content and Relative Bioavailability of Phosphorus in Distillers Dried Grains with Solubles in Chicks. *Poultry Science*. 83: 971–976.

Martinez-Amezcu, C. 2005. Nutritional evaluation of corn distillers dried grains with solubles (DDGS) for poultry. PhD Dissertation. University of Illinois- Champaigns.

Martinez-Amezcu, C., and C. Parsons. 2007. Effect of increased heat processing and particle size on phosphorus bioavailability in corn distillers dried grains with solubles. *Poultry Science*. 86: 331–337.

Masa'deh, M., E. Purdum, and J. Hanford. 2011. Dried distillers grains with solubles in laying hen diets. *Poultry Science*. 90: 1960–1966.

Matterson, L., J. Tlustohowicz, and E. Singsen. 1966. Corn distillers dried grains with solubles in rations for high-producing hens. *Poultry Science*. 45: 147–151.

Muzaffer, D., y J. Pérez. 2006. Contaminación por micotoxinas en los piensos: efectos, tratamiento y prevención. XXII Curso de especialización FEDNA. Barcelona. pp. 1–18.

Noll, S., C. Parsons, and B. Walters. 2006. What's new since September 2005 in feeding distillers co-products to poultry. In: Proceedings 67th Minnesota Nutrition Conference, St. Paul, MN. pp. 19–20.

NORMA Oficial Mexicana NOM-188-SSA1-2002, Productos y Servicios. Control de aflatoxinas en cereales para consumo humano y animal. Especificaciones sanitarias. [En línea]. Disponible en http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/188ssa_12.html (revisado el 04 de junio de 2015).

Oliveira IV, C., E. Kobashigawa, T. Reis, L. Mestieri, R. Albuquerque, and L. Correa. 2000. Aflatoxin B1 residues in eggs of laying hens fed a diet containing different levels of the mycotoxin. *Food Additives and Contaminants*. 17(6): 459–462.

Olorede, B., and A. Ajayi. 2005. Replacement of groundnut cake and maize with *Faidherbia albida* in the diet of broiler chickens. *Animal Health Production in Africa*. 53: 61–67.

Oluremi, O., J. Ngi, and I. Andrew. 2007. Phyto-nutrients in citrus fruit peel meal and nutritional implication for livestock production. *Livestock Research for Rural Development*. 19(7).

Parsons, C., C. Martinez, V. Singh, S. Radhakrishman, and S. Noll. 2006. Nutritional Value of Conventional and Modified DDGS for Poultry. Multi-State Poultry Nutrition and Feeding Conf., Indianapolis, IN. May. pp. 24–25.

Phillips, T., B. Clement, L. Kubena, and R. Harvey. 1990. Detection and detoxification of aflatoxins: prevention of aflatoxicosis and aflatoxin residues with hydrated sodium calcium aluminosilicate. *Veterinary and Human Toxicology*. 32: 15–19.

Pineda, L., S. Roberts, B. Kerr, R. Kwakkel, M. Verstegen, and K. Bregendahl. 2008. Maximum dietary content of corn-dried distiller's grains with solubles in diets for laying hens: effects on nitrogen balance, manure excretion, egg production, and egg quality. A. S. Leaflet R2334. Iowa State University Animal Industry Report. Ames, IA. pp. 1–10.

Piyum, A., J. Nicole, Mc Master, R. Musser, and D. Schmale III. 2014. Survey of Mycotoxins in Corn Distillers' Dried Grains with Solubles from Seventy-Eight Ethanol Plants in Twelve States in the U.S. in 2011. *Toxins (Basel)*. 6(4): 1155–1168.

Rausch, K., R. Belyea, M. Ellersieck, V. Singh, D. Johnston, and M. Tumbleson. 2005. Particle size distribution of ground corn and DDGS from dry grind processing. *Transactions of the ASAE American Society of Agricultural Engineers. Journal Impact Factor and Information*. 48(1): 273–277.

RFA. (Renewable Fuels Association). 2015. [En línea]. Disponible en <http://www.ethanolrfa.org/pages/industry-resources-coproducts> (revisado el 01 de abril de 2015).

Richard, J. 2007. Some major mycotoxins and their mycotoxicoses. *International Journal of Food Microbiology*. 20: 3–10.

Roberson, K., J. Kalbfleisch, W. Pan, and R. Charbeneau. 2005. Effect of corn distiller's dried grains with solubles at various levels on performance of laying hens and egg yolk color. *Poultry Science*. 4: 44–51.

Romero, A., M. Juárez, A. Arana, C. García, J. Malaga y E. Segarra. 2014. Impacto de la producción de biocombustibles en Estados Unidos en el mercado de maíz (*Zea mays* L.) en México. *Agrociencia*. 48(6): 653–665.

Rosentrater, K. 2012. Physical properties of DDGS. In: *Distillers Grain Production, Properties, and Utilization*, ed. K. Liu and K.A. Rosentrater, CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 121–142.

Rosentrater, K., I. Klein, and B. David. 2012. Manufacturing of fuel ethanol and distillers grains—Current and evolving processes. *Distiller's grains: Production, properties, and utilization*. Ed. Ke Shun Liu and Kurt A. Rosentrater. Boca Raton. pp. 73–102.

Salazar, M., O. Pérez, M. López, D. Marie, D. Cavazos, L. Suárez. 2010. Uso de secuestrantes para disminuir la toxicidad de micotoxinas en alimentos para acuicultura. *Memorias del Décimo Simposio Internacional de Nutrición Acuícola*, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. pp. 514–546.

Salim, H., Z. Kruk, and B. Lee. 2010. Nutritive value of corn distillers dried grains with solubles as an ingredient of poultry diets: *Poultry Science*. 66: 411–431.

Sauvant, D., and G. Tran. 2004. *Corn Distillers*. INRA: Tables of composition and nutritional value of feed materials. Ed. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands. pp. 118.

SAGARPA. (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2007. *Hacia una estrategia nacional en bioenergía*. Taller Práctico sobre Energía Renovable Monterrey, NL. Dr. René F. Ochoa. [En línea]. Disponible en http://www2.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/taller_ener_ren_04.pdf. (revisado el 20 de abril de 2015).

Shurson, J. 2003. DDGS suited for swine, may help ileitis resistance. *Feed stuffs*. 26: 11–13.

Shim, M., G. Pesti, R. Bakalli, P. Tillman, and R. Payne. 2011. Evaluation of DDGS as an alternative ingredient for broiler chickens. *Poultry Science*. 90: 369–376.

Smith, T. 2005. Update: Mycotoxins and adsorbents. *Feed international*. 64(4):15–21.

Spiehs, M., M. Whitney, and G. Shurson. 2002. Nutrient database for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. *Journal Animal Science*. 80: 2639–2645.

Świątkiewicz, S., and J. Koreleski. 2006. Effect of maize distillers dried grains with solubles and dietary enzyme supplementation on the performance of laying hens. *Animal and Feed Science*. 15: 253–260.

Świątkiewicz, S., and J. Koreleski. 2008. The use of distillers dried grains with solubles (DDGS) in poultry nutrition. *Poultry Science*. 64: 257–265.

Torija, M., N. Rozès, M. Poblet, J. Guillamón, and A. Mas. 2003. Effects of fermentation temperature on the strain population of *Saccharomyces cerevisiae*. *International Journal Food Microbiology*. 80: 47–53.

Trucksess, M., L. Stoloff, K. Young, R. Wyatt, and B. Miller. 1983. Aflatoxicol and aflatoxins B1 and M1 in eggs and tissues of laying hens consuming aflatoxin-contaminated feed. *Poultry Science*. 62: 2176–2182.

UNA. (Union Nacional de Avicultores). 2015 [En línea]. Disponible en <http://www.una.org.mx/> (revisado el 26 de abril de 2015).

Urriola, P., D. Hoehler, C. Pederson, H. Stein, and G. Shurson. 2009. Amino Acid Digestibility of Distillers Dried Grains with Solubles, Produced from Sorghum, a Sorghum-corn Blend, and Corn fed to growing pigs. *Journal Animal Science*. 87: 2574–2580.

Urrego, N., R. Jose, and G. Diaz. 2014. Aflatoxinas: mecanismos de toxicidad en la etiología de cáncer hepático celular. *Revista de la Facultad de Medicina de Colombia*. 54(2): 2357–3848.

Verma, J., T. Johri, B. Swain, and S. Ameena. 2003. Effect of varying levels of aflatoxin, ochratoxin and their combinations on the performance and egg quality characteristics in laying hens. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*. 16: 1015–1019.

Vieira, S. 2003. Nutritional implications of mould development in feedstuffs and alternatives to reduce the mycotoxin problem in poultry feeds. *Poultry Science*. 59: 111–122.

Wang, Z., S. Cerrate, C. Coto, F. Yan, and P. Waldroup. 2007. Utilization of distillers dried grains with solubles (DDGS) in broiler diets using a standardized nutrient matrix. *Poultry Science*. 6: 470–477.

Williams, J., T. Phillips, P. Jolly, J. Stiles, C. Jolly, and D. Aggarwal. 2004. Human atlatotoxicosis in developing countries: a review of toxicology, exposure, potential health consequences, and interventions. *American Journal of Clinical Nutrition*. 80: 1106–1122.

Yunus, A., E. Razzazi-Fazeli, and J. Bohm. 2011. Aflatoxin B1 in affecting broiler's performance, immunity, and gastrointestinal tract: A review of history and contemporary issues. *Toxins*. 3: 566–590.

Zhang, Y., and J. Caupert. 2012. Survey of Mycotoxins in U.S. Distiller's Dried Grains with Solubles 2 from 2009 to 2011. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 60(2): 539–43.

Zhang, Y., J. Caupert, M. Imerman, J. Richard, and G. Shurson. 2009. The Occurrence and Concentration of Mycotoxins in U.S. Distillers Dired Grains with Solubles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57: 9828–9837.

Zhou, Y., Z. Jiang, and T. Wang. 2009. Improved energy utilizing efficiency by enzyme preparation supplement in broiler diets with different metabolizable energy levels. *Poultry Science*. 88: 316–322.

**CAPÍTULO II. GRANOS SECOS DE DESTILERÍA CON SOLUBLES
DE MAÍZ EN POLLAS BOVANS WHITE
(EXPERIMENTO 1)**

GRANOS SECOS DE DESTILERÍA CON SOLUBLES DE MAÍZ EN POLLAS BOVANS WHITE

Jennifer Pérez Martínez, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2016

RESUMEN

Un programa de alimentación para pollas tiene como base la constitución genética de los animales, la sanidad, la comercialización y el generar un rendimiento económico. Con el propósito de utilizar ingredientes de bajo costo y conocer las características productivas de las pollitas, se evaluaron como fuente de proteína granos secos de destilería con solubles de maíz (GSDS) en sustitución de pasta de soya y sorgo, además se agregó xilanasa a las dietas para potencializar la digestión de los granos. En el estudio se utilizaron 500 pollas Bovans White, de un día a 18 semanas de edad, en diez tratamientos, con cinco repeticiones, de diez pollas cada uno, el estudio se dividió en tres etapas; de 0 a 6 semanas de edad para la primera, de 7 a 12 la segunda y de 13 a 18 la tercera. Los GSDS se incluyeron en concentraciones de 0%, 8%, 16%, 24% y 32% y la xilanasa 0% y 0.05%. Las variables de respuesta estudiadas fueron alimento consumido (AC), peso vivo de las pollas (PV), ganancia de peso (GP), conversión alimenticia (CA), energía consumida calculada (ECC, kcal/ave/d) y costo de producción de una polla (CPP). Los resultados indicaron que las concentraciones de GSDS y la inclusión de la xilanasa no afectaron ($P \geq 0.05$) las variables mencionadas en las pollitas durante los tres periodos de crecimiento, sin embargo, en PV, la interacción xilanasa x GSDS fue significativa ($P \leq 0.058$) de tal manera que éste disminuyó en los niveles de 8% y 32% sin enzima respecto al testigo. Se concluye que los GSDS se pueden utilizar en las pollas hasta 32%, sin afectar las variables AC, PV, GP, CA, ECC y CPP. La xilanasa a 0.05% será necesaria cuando se incluya 32% de GSDS. El uso de GSDS en la avicultura durante la crianza de las pollas dependerá tanto del costo de éstos como de la disponibilidad de los ingredientes convencionales.

Palabras clave: costos, dietas, proteína, enzimas, aves.

**DISTILLERS DRIED GRAINS WITH SOLUBLES IN PULLET
BOVANS WHITE**

**Jennifer Pérez Martínez, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2016**

ABSTRACT

A feeding program for pullets is based on the genetic constitution, health, commercialization, and target economic yield of the animals. In order to use low cost ingredients and know the production characteristics of pullets, distillers dried grains with maize soluble (DDGS) were evaluated as a protein source instead of soybean meal and sorghum; moreover, xylanase was added to the diets to increase grain digestion. The study was done with Bovans White pullets from one day to 18 weeks of age, the study was divided into three stages: first 0 to 6 weeks, second 7 to 12 weeks, and third 13 to 18 weeks. The DDGS were included in concentrations of 0, 8, 16, 24, and 32%, and xylanase in 0 and 0.05%. The response variables studied were: feed intake (FI), body weight (BW), weight gain (WG), feed conversion ratio (FCR), calculated energy intake (CEI), production cost of a pullet (PCP). The results indicated that concentrations of DDGS and including xylanase did not effect ($P \geq 0.05$) these variables mentioned in the pullets chicks, during all three-growth periods; however, in BW, the xylanase x DDGS interaction was significant ($P \leq 0.058$), such that it levels decreased by 8% and 32% compared to the control without enzyme. It is concluded that DDGS can be used in the pullets up to 32% without affecting the FI, BW, WG, FCR, CEI and PCP variables. 0.05% xylanase is necessary when used 32% of DDGS inclusion levels. The use of DDGS in poultry for rearing chicks has an economic benefit.

Key words: costs, diets, protein, enzymes, poultry.

INTRODUCCIÓN

El alto precio de ingredientes convencionales en la industria avícola ha motivado la búsqueda de subproductos para reducir el costo de las dietas, entre éstos se utilizan en la alimentación de las aves los granos secos de destilería con solubles (GSDS), cuyo precio es inferior a los granos comerciales, como el maíz, sorgo o pasta de soya; en los últimos años la producción de este coproducto a partir del maíz incrementó, con técnicas de secado menos severas (Batal y Dale, 2006).

Los GSDS de maíz se obtienen después de que el almidón de maíz se fermenta en alcohol (Sherief *et al.*, 2011); éstos son ricos en energía, proteína, vitaminas y minerales, los cuales concentran entre 2.2 y 3 veces el contenido de los granos de los cuales proceden, así como xantofilas (40 ppm) (Youngmi *et al.*, 2008; Cozannet *et al.*, 2010). Su uso es limitado en la avicultura ya que el nivel de energía y perfil de aminoácidos es variable, además pueden contener micotoxinas y el contenido de fibra es alto (35% soluble y 6% insoluble) (Lumpkins *et al.*, 2005; Parsons *et al.*, 2006; Stein y Shurson, 2009).

La inclusión de ingredientes con alto contenido de fibra en las dietas de las aves puede reducir la digestibilidad de los nutrientes (Dilger *et al.*, 2004), debido a que la fibra está compuesta por hidratos de carbono (celulosa y hemicelulosa), que son polisacáridos indigeribles para los monogástricos (Mosier *et al.*, 2005), por lo que se agregan enzimas para degradar los polisacáridos no amiláceos (PNA) como productos enzimáticos aislados (xilanasas, glucanasas, etc.) (Bedford, 1995). Los GSDS contienen PNA, que inhiben la digestión del almidón en las aves y aumentan la viscosidad intestinal; las xilanasas se usan en la nutrición de aves para potencializar la disponibilidad de nutrientes contenidos en el interior de las células vegetales mediante la ruptura de la pared celular (Costa *et al.*, 2008). Esto sugiere que la inclusión exógena de xilanasas en dietas con GSDS para aves podría mejorar la utilización de nutrientes y la productividad. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto de diferentes concentraciones de GSDS y la adición de xilanasas en dietas para pollas Bovans White.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el Colegio de Postgraduados campus Montecillo, Texcoco, México. Se utilizaron 500 pollas Bovans White, de 1 d de edad, a las cuales se les asignaron aleatoriamente diez tratamientos, con cinco repeticiones, con diez pollas cada una. Las aves se alojaron en criadoras eléctricas de batería hasta la semana cinco de edad, con dimensiones de 100 x 37.5 cm, por lo que cada polla tenía 375 cm²; posteriormente se colocaron en jaulas de desarrollo de 90 x 75 cm, con 675 cm² por polla. Las jaulas se suministraron con bebederos y comederos lineales. El estudio se dividió en tres etapas: de 0 a 6 semanas de edad para la primera, de 7 a 12 la segunda y de 13 a 18 la tercera.

A las dietas de las pollas se les adicionaron granos secos de destilería de maíz en concentraciones de 0%, 8%, 16%, 24% y 32%, y dos niveles de xilanas (40 000 UI/g) (0% y 0.05%), para reemplazar la pasta de soya y sorgo. Durante el experimento se utilizaron dos lotes diferentes de GSDS del mismo proveedor, a los cuales se les determinó por duplicado el contenido de proteína y aminoácidos mediante la ecuación de calibración NIRS (Cuadro 1); para el aminograma se realizó un análisis de varianza en donde no se encontraron diferencias entre ellos ($P \geq 0.05$).

Cuadro 1. Medias del contenido de proteína cruda y aminoácidos totales de granos secos de destilería con solubles (%).

Materia Seca (%)	28.63 ¹	27.07 ²
Proteína Cruda (%)	90.37	90.62
Aminoácidos	Contenido (%)	Contenido (%)
Metionina	0.593	0.564
Cistina	0.581	0.545
Metionina+Cistina	1.163	1.102
Lisina	0.829	0.799
Treonina	1.082	1.036
Triptófano	0.231	0.220
Arginina	1.316	1.232
Isoleucina	1.087	1.019
Leucina	3.459	3.274
Valina	1.433	1.355
Histidina	0.769	0.731
Fenilalanina	1.458	1.366

¹Primer lote utilizado en la etapa de iniciación y crecimiento; ²Segundo lote utilizado en la etapa de desarrollo. Realizado por: EVONIK industrias AG feed additives (Alemania), ecuación de calibración NIRS.

Las dietas fueron isoprotéicas e isoenergéticas con base sorgo – pasta de soya, para lo cual se varió la inclusión de sorgo, pasta de soya y arena esterilizada en autoclave por los GSDS; se cubrieron las necesidades de aminoácidos, energía, vitaminas y minerales para pollas indicadas por el *National Research Council* (NRC) (1994), modificadas por Cuca *et al.* (2009) (Cuadros 2, 3, 4). El agua y alimento se ofrecieron *ad libitum*.

Cuadro 2. Composición de las dietas experimentales durante la etapa de iniciación (1-6 semanas de edad) (%).

INGREDIENTE	Sin xilanasa 0%					Xilanasa 0.05% ¹				
GSDS (28.6% PC)	0.00	8.00	16.00	24.00	32.00	0.00	8.00	16.00	24.00	32.00
Sorgo (10.3% PC)	69.09	64.61	60.14	55.68	51.21	69.09	64.61	60.14	55.68	51.21
Pasta de Soya (48.5% PC)	25.69	21.78	17.85	13.86	9.89	25.69	21.78	17.85	13.86	9.89
Aceite crudo de soya	1.11	1.43	1.76	2.10	2.44	1.11	1.43	1.76	2.10	2.44
DL-metionina (99%) ²	0.25	0.24	0.23	0.23	0.22	0.25	0.24	0.23	0.23	0.22
L-lisina (54.6%) ²	0.27	0.37	0.46	0.56	0.66	0.27	0.37	0.46	0.56	0.66
L-treonina (98.5%) ²	0.00	0.00	0.01	0.03	0.04	0.00	0.00	0.01	0.03	0.04
L-triptófano (99%) ²	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04
CaCO ₃ (38%) ³	1.73	1.81	1.89	1.96	2.04	1.73	1.81	1.89	1.96	2.04
Fosfato dicálcico (18/21) ⁴	1.21	1.11	1.01	0.91	0.81	1.21	1.11	1.01	0.91	0.81
Vitaminas y minerales ⁵	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Sal	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Alimento (\$ kg ⁻¹) ⁶	4.04	4.00	3.98	3.99	4.00	4.05	4.01	3.99	4.00	4.01
Análisis calculado (%)										
EM (kcal ⁻¹ kg)	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Proteína cruda	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Calcio	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fósforo disponible	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Lisina	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Metionina+Cistina	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Triptófano	0.22	0.21	0.19	0.19	0.19	0.22	0.21	0.19	0.19	0.19
Treonina	0.64	0.62	0.62	0.62	0.62	0.64	0.62	0.62	0.62	0.62
Nutrimento analizado										
Proteína cruda (%)	21.58	21.60	21.19	21.19	21.95	21.43	21.79	21.04	21.38	21.14

¹Xilanasa (EC 3.2.1.8), 40000 UI/g, proveedor DUPONT-DANISCO ANIMAL NUTRITION, México.

²Porcentaje de pureza.

³38% = calcio.

⁴18% = fósforo y 21% = calcio.

⁵Aporta por kilogramo de alimento: vitamina A, 9000 UI; vitamina D₃, 2500 UI; vitamina E, 20 UI; vitamina K, 3.0 mg; vitamina B₂, 8.0 mg; vitamina B₁₂, 0.015 mg; ácido pantoténico, 10 mg; ácido nicótico, 60 mg; niacina, 40 mg; ácido fólico, 0.5 mg; colina (cloruro de colina), 300 mg; D-biotina, 0.055 mg; tiamina, 2.0 mg; hierro, 65.0 mg; zinc, 100 mg; manganeso, 100 mg; cobre, 9.0 mg; selenio, 0.3 mg; yodo (KI), 0.9 mg.

⁶El costo de las dietas se calculó de acuerdo con el precio medio de mercado en septiembre de 2014 en México. EM, energía metabolizable; PC, proteína cruda analizada.

Cuadro 3. Composición de las dietas experimentales durante la etapa de crecimiento (6 -12 semanas) (%).

INGREDIENTE	Sin xilanasa 0%					Xilanasa 0.05% ¹				
GSDS (28.6% PC)	0.00	8.00	16.00	24.00	32.00	0.00	8.00	16.00	24.00	32.00
Sorgo (10.3% PC)	72.59	69.23	65.86	62.52	59.20	72.59	69.23	65.86	62.52	59.20
Pasta de Soya (48.5% PC)	21.21	17.03	12.84	8.64	4.40	21.21	17.03	12.84	8.64	4.40
Arena	2.40	1.87	1.34	0.80	0.25	2.40	1.87	1.34	0.80	0.25
Aceite crudo de soya	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DL-metionina (99%) ²	0.11	0.11	0.10	0.09	0.08	0.11	0.11	0.10	0.09	0.08
L-lisina (54.6%) ²	0.17	0.27	0.38	0.48	0.58	0.17	0.27	0.38	0.48	0.58
L-treonina (98.5%) ²	0.00	0.01	0.02	0.03	0.05	0.00	0.01	0.02	0.03	0.05
L-triptófano (99%) ²	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03
CaCO ₃ (38%) ³	1.88	1.96	2.03	2.11	2.19	1.88	1.96	2.03	2.11	2.19
Fosfato dicálcico (18/21) ⁴	0.99	0.88	0.78	0.67	0.57	0.99	0.88	0.78	0.67	0.57
Vitaminas y minerales ⁵	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Sal	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Alimento (\$ kg ⁻¹) ⁶	3.54	3.47	3.40	3.35	3.31	3.55	3.48	3.41	3.36	3.32
Análisis calculado (%)										
EM (kcal ⁻¹ kg)	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900
Proteína cruda	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
Calcio	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fósforo disponible	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Lisina	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Metionina+Cistina	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
Triptófano	0.19	0.18	0.17	0.16	0.16	0.19	0.18	0.17	0.16	0.16
Treonina	0.57	0.57	0.56	0.56	0.56	0.57	0.57	0.56	0.56	0.56
Nutrimento analizado (%)										
Proteína cruda	19.97 ⁷	18.78	18.29	18.05	18.38	19.13 ⁷	18.35	18.87	18.28	18.38

¹Xilanasa (EC 3.2.1.8), 40000 UI/g, proveedor DUPONT-DANISCO ANIMAL NUTRITION, México.

²Porcentaje de pureza.

³38%= calcio.

⁴18%= fósforo y 21%= calcio.

⁵Aporta por kilogramo de alimento: vitamina A, 9000 UI; vitamina D₃, 2500 UI; vitamina E, 20 UI; vitamina K, 3.0 mg; vitamina B₂, 8.0 mg; vitamina B₁₂, 0.015 mg; ácido pantoténico, 10 mg; ácido nicótico, 60 mg; niacina, 40 mg; ácido fólico, 0.5 mg; colina (cloruro de colina), 300 mg; D-biotina, 0.055 mg; tiamina, 2.0 mg; hierro, 65.0 mg; zinc, 100 mg; manganeso, 100 mg; cobre, 9.0 mg; selenio, 0.3 mg; yodo, 0.9 mg.

⁶El costo de las dietas se calculó de acuerdo con el precio medio de mercado en septiembre de 2014 en México.

⁷Datos aberrantes (error de mezcla en la fábrica de piensos o error de muestreo).

EM, energía metabolizable; PC, proteína cruda analizada.

Cuadro 4. Composición de las dietas experimentales durante la etapa de desarrollo (13-18 semanas) (%).

INGREDIENTE	Sin Xilanasa 0%					Xilanasa 0.05% ¹				
GSDS (27% PC)	0.00	8.00	16.00	24.00	32.00	0.00	8.00	16.00	24.00	32.00
Sorgo (9.5% PC)	73.85	70.49	67.14	63.79	60.44	73.85	70.49	67.14	63.79	60.44
Pasta de Soya (48% PC)	18.23	14.04	9.84	5.64	1.44	18.22	14.04	9.84	5.63	1.43
Arena	4.15	3.63	3.11	2.59	2.07	4.15	3.63	3.11	2.59	2.07
Aceite crudo de soya	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DL-metionina (99%) ²	0.26	0.24	0.23	0.21	0.20	0.26	0.24	0.23	0.21	0.20
L-lisina (54.6%) ²	0.08	0.16	0.25	0.34	0.43	0.08	0.16	0.25	0.34	0.43
L-treonina (98.5%) ²	0.01	0.03	0.05	0.06	0.07	0.01	0.03	0.05	0.06	0.07
L-triptófano (99%) ²	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04
CaCO ₃ (38%) ³	2.02	2.10	2.18	2.26	2.33	2.02	2.10	2.18	2.26	2.33
Fosfato dicálcico (18/21) ⁴	0.76	0.65	0.55	0.44	0.33	0.76	0.65	0.55	0.44	0.33
Vitaminas y minerales ⁵	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
Sal	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350
Alimento (\$ kg ⁻¹) ⁶	3.44	3.37	3.31	3.25	3.19	3.45	3.38	3.32	3.26	3.20
Análisis calculado (%)										
EM (kcal ⁻¹ kg)	2865	2865	2865	2865	2865	2865	2865	2865	2865	2865
Proteína cruda	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
Calcio	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fósforo disponible	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Lisina	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Metionina+Cistina	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Triptófano	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16
Treonina	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Nutrimento analizado (%)										
Proteína cruda	17.58	17.25	17.89	17.13	17.81	17.83	17.96	17.44	17.68	17.99

¹Xilanasa (EC 3.2.1.8), 40000 UI/g, proveedor DUPONT-DANISCO ANIMAL NUTRITION, México.

²Porcentaje de pureza.

³38%= calcio.

⁴18%= fósforo y 21%= calcio.

⁵Aporta por kilogramo de alimento: vitamina A, 9000 UI; vitamina D₃, 2500 UI; vitamina E, 20 UI; vitamina K, 3.0 mg; vitamina B₂, 8.0 mg; vitamina B₁₂, 0.015 mg; ácido pantoténico, 10 mg; ácido nicótico, 60 mg; niacina, 40 mg; ácido fólico, 0.5 mg; colina (cloruro de colina), 300 mg; D-biotina, 0.055 mg; tiamina, 2.0 mg; hierro, 65.0 mg; zinc, 100 mg; manganeso, 100 mg; cobre, 9.0 mg; selenio, 0.3 mg; yodo, 0.9 mg.

⁶El costo de las dietas se calculó de acuerdo con el precio medio de mercado en septiembre de 2014 en México. EM, energía metabolizable; PC, proteína cruda analizada.

La temperatura en las criadoras fue de 35°C, y disminuyó 2°C semanalmente hasta la cuarta. El programa de luz consistió en 23 h / d para la primera semana de vida, después la luz se redujo 2 h por semana hasta llegar a 12 h. Se aplicaron las vacunas el día correspondiente (Cuadro 5).

Cuadro 5. Calendario de vacunación.

Vacuna	Vacuna	Día	Semana	Vía de administración
Gumboro	IBF Luker	4	1	Oral
Newcastle + IA	ENC + IA	14	2	Subcutánea
Bronquitis	BI	18	3	Ocular
Gumboro	IBF D78	25	4	Oral
Newcastle + Viruela	ENC + VA	32	5	Subcutánea
Bronquitis	BI mass	39	6	Oral
Newcastle	ENC	46	7	Oral
Encefalomiелitis	Encefalo	53	8	Subcutánea
Coriza Infecciosa	Coriza	60	9	Subcutánea
Bronquitis	BI mass	67	10	Ocular
Newcastle + IA	ENC + IA	74	11	Subcutánea
Bronquitis	BI mass	84	12	Subcutánea

IA, Influenza Aviar.

Las variables de respuesta fueron: alimento consumido (AC, semanal), peso vivo (PV, catorcenal), ganancia de peso (GP, catorcenal), conversión alimenticia (CA, catorcenal), energía consumida calculada (ECC, kcal/ave/d) y costo de producción de una polla, por concepto de alimentación (CPP, 1 d a 18 semanas). El costo de las dietas se calculó multiplicando la cantidad de cada ingrediente por su precio, según la etapa en la que se encontraran las pollas (Cuadro 6). Además se determinó el costo de producción de las pollas por tratamiento por concepto de alimentación.

Cuadro 6. Costo por kg de ingrediente de la dieta.

Ingrediente	Costo \$ kg	Ingrediente	Costo \$ kg
Sorgo	2.45	L-Triptófano	150.00
Pasta de soya	5.99	CaCO ₃	2.00
Granos secos de destilería	3.09	Fosfato dicálcico	12.00
Aceite crudo de soya	16.00	Vitaminas y minerales	65.00
DL-Metionina	65.00	Sal	4.80
L-Lisina	28.00	Xilanasas	6.61
L-Treonina	48.00		

Costo de los granos septiembre 2014 (FNDARFP, 2015).

Costo de US dolar \$13.22, septiembre de 2014.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar en un arreglo factorial 5 X 2. Para el análisis de los datos se utilizó el procedimiento MIXED y las medias se compararon con la prueba de Tukey (SAS 1999). El modelo estadístico fue:

$$Y_{ijklm} = \mu + X_i + D_j + (XD)_{ij} + R_{k(ij)} + P_l + (XP)_{il} + (DP)_{jl} + (XDP)_{ijl} + S_{m(l)} + (XS)_{im(l)} + (DS)_{jm(l)} + (XDS)_{ijm(l)} + E_{ijklm}; \text{ donde:}$$

Y_{ijklm} = Valor de la variable respuesta correspondiente al i-ésimo nivel de xilanasa, en el j-ésimo nivel de GSDS, de la k-ésima repetición, l-ésimo periodo y m-ésima semana.

μ = Media general.

X_i = Efecto fijo del i-ésimo nivel de xilanasa. $i= 1, 2$.

D_j = Efecto fijo del j-ésimo nivel de GSDS. $j= 1, 2, 3, 4, 5$.

$(XD)_{ij}$ = Efecto de la interacción del i-ésimo nivel de xilanasa, con el j-ésimo nivel de GSDS.

$R_{k(ij)}$ = Efecto aleatorio de la k-ésima repetición anidada en el i-ésimo nivel de xilanasa, en el j-ésimo nivel de GSDS. $k= 1, 2, 3, 4, 5$.

P_l = Efecto del l-ésimo periodo. $l= 1, 2, 3$.

$(XP)_{il}$ = Efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel de xilanasa con el l-ésimo periodo.

$(DP)_{jl}$ = Efecto de la interacción entre el j-ésimo nivel de GSDS y el l-ésimo periodo.

$(XDP)_{ijl}$ = Efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel de xilanasa, el j-ésimo nivel de GSDS y el l-ésimo periodo.

$S_{m(l)}$ = Efecto de la m-ésima semana, anidada en el l-ésimo periodo. $m= 1, 2, 3, 4, 5, 6$.

$(XS)_{im(l)}$ = Efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel de xilanasa, en el m-ésimo semana, anidado en el l-ésimo periodo.

$Z(DS)_{jm(l)}$ = Efecto de la interacción entre el j-ésimo nivel de GSDS, en la m-ésima semana, anidado en el l-ésimo periodo.

$(XDS)_{ijm(l)}$ = Efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel de xilanasa, en el j-ésimo nivel de GSDS, en el m-ésimo semana, anidado en el l-ésimo periodo.

E_{ijklm} = Error experimental del i-ésimo nivel de xilanasa, en el j-ésimo nivel de GSDS, en el k-ésimo repetición, del l-ésimo periodo, en el m-ésimo semana.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Alimento consumido (AC)

En el Cuadro 7, se muestra el AC acumulado durante cada periodo de seis semanas, donde no se encontraron diferencias ($P \geq 0.05$) al incluir a la dieta de las aves xilanasa y GSDS.

El uso de enzimas en dietas para pollas de reemplazo es nulo, en esta investigación se adicionó 0.05% de xilanasa durante tres periodos, lo que no modificó el AC ($P \geq 0.05$), esto podría estar relacionado con el nivel de xilanasa que se utilizó, y probablemente éste no tuvo el nivel adecuado para modificar el AC en las pollas (Madrid *et al.*, 2010; Baurhoo *et al.*, 2011); sin embargo, en otras investigaciones el uso de enzimas mostró ser benéfico, al disminuir el AC, cuando éstas se agregaron a la dieta de pollos de engorda y gallinas de postura (Owens *et al.*, 2008; Shalash *et al.*, 2009). Algunos resultados obtenidos en diversos estudios sobre el uso de enzimas en dietas de aves son inconsistentes, quizá se debe a los diferentes tipos de enzimas (xilanasas, beta-glucanasas, amilasas, proteasas) (Cowieson, 2005), a la combinación de éstas, o a los niveles utilizados, así como las diferentes aves utilizadas.

Agregar de 0% a 32% de GSDS no modificó el AC ($P \geq 0.05$) durante los tres periodos, lo que se atribuyó a que las dietas eran isoenergéticas, y las pollas de recría ajustan su consumo de alimento al nivel de energía que requieren (Leeson y Summers, 2005). Masa'deh *et al.* (2012) ofrecieron dietas isoenergéticas a pollitas Leghorn de 1 d a 16 semanas de edad y no encontraron diferencias en el AC al adicionar GSDS, sin embargo, es importante mencionar que el nivel más alto que utilizaron fue de 12.5%.

Peso vivo (PV)

El PV que tuvieron las pollas al final de cada periodo (6, 12 y 18 semanas) se muestra en el Cuadro 7. Se observa que no hubo diferencias ($P \geq 0.05$) al incluir diferentes concentraciones de GSDS y la adición de xilanasa, ya que el crecimiento de la polla depende de la concentración energética de la dieta y éstas fueron isoenergéticas durante las 18 semanas (Leeson y Summers, 2005).

Cuadro 7. Influencia de la xilanasa y GSDS en las características productivas por periodo de pollas Bovans durante 18 semanas de experimentación (%).

P	Tratamientos de las dietas	AC (kg) acumulado	PV (g) final	GP (g) acumulado	CA media	ECC kcal/ave/d
Xilanasa (%)		Semana 6				
1	0	843	410	375	2.2	6.02
1	0.05	855	422	383	2.1	6.11
	EEM	2.4	3.7	1.51	0.85	1.01
Xilanasa (%)		Semana 12				
2	0	2470	1004	590	2.3	17.0
2	0.05	2470	1000	577	2.4	17.0
	EEM	2.4	3.8	2.4	0.25	1.01
Xilanasa (%)		Semana 18				
3	0	2824	1267	262	5.9	19.2
3	0.05	2835	1286	285	5.3	19.3
	EEM	2.4	3.8	2.4	0.25	1.01
GSDS (%)		Semana 6				
1	0	826	414	373	2.1	5.9
1	8	835	416	376	2.1	5.9
1	16	835	425	387	2.1	6.1
1	24	860	422	382	2.2	6.1
1	32	869	413	374	2.2	6.2
	EEM	3.8	7.35	2.3	0.13	1.60
GSDS (%)		Semana 12				
2	0	2419	1020	605	2.1	16.7
2	8	2434	991	575	2.4	16.8
2	16	2498	1006	580	2.3	17.2
2	24	2490	997	575	2.4	17.2
2	32	2508	997	583	2.6	17.3
	EEM	3.8	7.35	3.8	0.39	1.60
GSDS (%)		Semana 18				
3	0	2825	1296	276	5.4	19.2
3	8	2809	1272	280	5.5	19.1
3	16	2811	1265	259	5.9	19.1
3	24	2834	1281	283	5.0	19.3
3	32	2869	1268	270	6.3	19.5
	EEM	3.8	7.35	3.8	0.40	1.62
Efectos principales e interacciones						
GSDS		NS	NS	NS	NS	NS
Xilanasa		NS	NS	NS	NS	NS
GSDS x Xilanasa		N/S	P≤0.058	N/S	N/S	NS

No hay diferencias significativas ($P \geq 0.05$). CA, consumo de alimento entre la ganancia de peso.

P, periodo; Periodo 1= 1ra a 6ta semana; Periodo 2= 7ma a 12va semana; Periodo 3= 13va a 18va semana.

GSDS, granos secos de destilería con solubles; AC, alimento consumido; PV, peso vivo final de periodo; GP, ganancia de peso, CA, conversión alimenticia; ECC, energía consumida calculada.

NS, no significativo; EEM, error estándar de la media.

En promedio, las pollas Leghorn deben tener un peso a las 6, 12 y 18 semanas de 440 g, 880 g y 1280 g, respectivamente (Leeson y Summers, 2005); mientras que el manual de Bovans (Anónimo, 2015) recomienda un PV de 419 g, 902 g y 1229 g, respectivamente; las pollas del presente experimento se mantuvieron dentro del intervalo de la línea Bovans White con una media de 418 g, 1002 g y 1276 g, respectivamente, lo cual es importante ya que el ave consumió hasta 32% de GSDS durante la crianza y no se afectó el PV. La polla debe tener el peso adecuado al momento de la madurez sexual, pues de ello dependerá el tamaño del primer huevo que producirá (Leeson *et al.*, 1991).

La interacción xilanasa por GSDS fue significativa ($P \leq 0.058$) para el PV, en la Figura 1 se muestra la media de los tres periodos. Cuando se les adicionó la enzima a las concentraciones de GSDS el PV de las pollas no se afectó respecto al testigo, sin embargo, cuando no se incluyó la enzima el PV disminuyó 4.18% y 3.3% en las concentraciones de 8% y 32% respectivamente de GSDS, con respecto al testigo; la inclusión de 8% de GSDS sin enzima tuvo un PV bajo, esto se puede deber a que durante el segundo periodo ésta tuvo el PV más bajo, lo que afectó la media, aunque ésta no fue diferente estadísticamente; no se ha encontrado literatura que coincida con estos resultados. La mayoría de los estudios revisados muestran que el PV de las pollas no se afecta con 8% de GSDS (Masa'deh *et al.*, 2012). La disminución del PV en las pollas cuando la dieta tenía el nivel más alto de GSDS (32%) sin enzima respecto al testigo, se podría deber a que en este nivel al no estar presente la xilanasa en el tracto digestivo el contenido de PNA aumentó la viscosidad intestinal, y los nutrimentos no fueron utilizados por las pollas (Lázaro *et al.*, 2003; Engberg *et al.*, 2004), lo que podría sugerir que hasta 24% de GSDS el contenido de PNA de éstos, no afecta el PV.

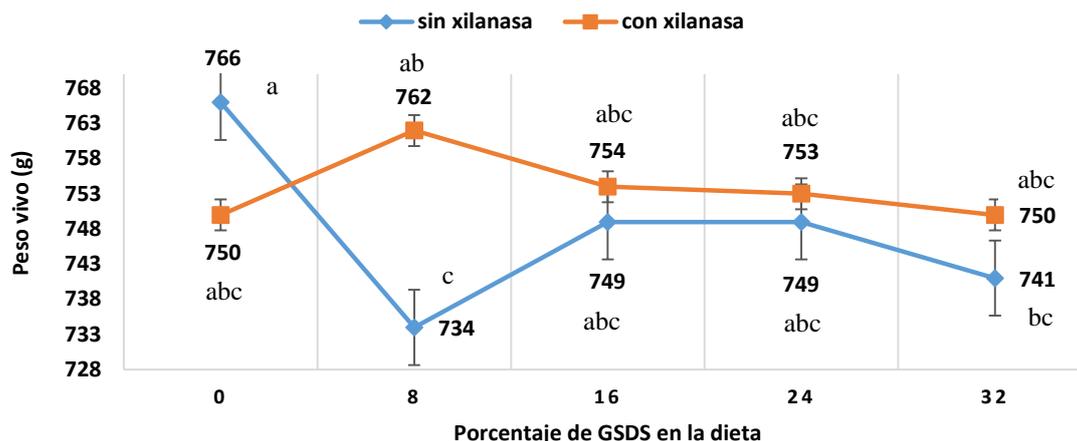


Figura 1. Efecto de la interacción GSDS x Xilanasa en la media del peso vivo de los tres periodos.

GSDS, granos secos de destilería con solubles.
EEM, 5.8; ($P \leq 0.058$).

Ganancia de peso (GP)

La GP acumulada de las pollas en cada periodo no mostró diferencias ($P \geq 0.05$) (Cuadro 7) por la adición de xilanasa y el aumento de los niveles de GSDS ($P \geq 0.05$); las pollas necesitan un contenido entre 15 y 25 kcal/ave/d de EM y 1200 g de PB para que la velocidad de crecimiento sea adecuada (Leeson y Summers, 2005). En la presente investigación, las pollas consumieron en las 18 semanas un promedio de 13.9 kcal/ave/d a 14.3 kcal/ave/d, sin embargo, el PV de las pollas no se afectó negativamente, ya que éste se encontraba dentro de las recomendaciones de la línea.

Conversión alimenticia (CA)

Los resultados de las medias de CA se indican en el Cuadro 7, donde se observa que no hubo diferencias ($P \geq 0.05$) en los periodos por la inclusión de xilanasa y de los GSDS, hecho que se explica al no haber diferencias significativas en AC y GP (Cuadro 7). Lo que coincide con Masa'deh *et al.* (2012) no encontraron cambios en la CA al incluir niveles de 2.5%, 5%, 7.5%, 10% y 12.5% de GSDS, ya que al igual que este estudio las dietas eran isoprotéicas e isoenergéticas.

Energía consumida calculada (ECC, kcal/ave/d)

En la ECC no se observaron diferencias ($P \geq 0.05$) por efecto de los GSDS, lo que se atribuye a que las dietas eran isoenergéticas y a que en el AC no se encontraron diferencias significativas ($P \geq 0.05$) (Cuadro 7); el hecho de que no existieran diferencias en el consumo de kcal/ave/d fue lo que hizo que las pollas tuvieran PV similares (Leeson y Summers, 2005).

La inclusión de xilanasa en las dietas de las pollas en 0.05% no liberó energía en los GSDS, y de ser así, el consumo de alimento hubiera disminuido. Gálik y Horniaková (2010) reportaron que la inclusión de enzimas disminuyó el AC en gallinas, ya que éstas liberaron energía bloqueada por factores antinutrientales.

Costo de producción de una polla (CPP)

En el Cuadro 8 se muestra el CPP de recría por concepto de alimentación, y se observó que no hubo diferencias al incluir la xilanasa y los GSDS ($P \geq 0.05$), por lo que los GSDS se podrán utilizar en la alimentación de las pollas en un nivel de hasta 32% cuando el precio de éstos sea menor al de los ingredientes convencionales, o bien, éstos no estén disponibles en el mercado. El precio de la polla se obtuvo multiplicando el costo de cada dieta (Cuadros 2, 3 y 4) por el consumo de alimento de las pollas, según el nivel de xilanasa y GSDS.

Cuadro 8. Costo de producción de una polla por concepto de alimentación durante la crianza (tres periodos de 6 semanas cada uno).

Xilanasa	\$ Costo polla 2014
0	21.16
0.05	21.31
EEM	0.01
GSDS	
0	21.65
8	21.29
16	21.24
24	21.02
32	20.96
EEM	0.02

No hubo diferencias entre tratamientos ($P \geq 0.05$).

GSDS, granos secos de destilería con solubles; EEM, error estándar de la media.

Costo de dólar septiembre 2014: \$13.22.

CONCLUSIONES

- Los granos secos de destilería con solubles se pueden incluir en la alimentación de las pollas en niveles de hasta 32%, sin afectar las variables alimento consumido, peso vivo, ganancia de peso y conversión alimenticia.
- La xilanas a 0.05% es necesaria cuando se utiliza 32% de granos secos de destilería en la dieta de pollitas de 1 d de edad a 18 semanas.
- El uso de granos secos de destilería en la avicultura durante la crianza de las pollas dependerá del precio y de la escases de ingredientes convencionales.

LITERATURA CITADA

Anónimo. 2015. ISA A Hendrix Genetics Company. [En línea]. Disponible en <http://www.isapoultry.com/es-ES/Products/Bovans/Bovans%20White.aspx> (revisado el 25 de junio de 2015).

Batal, A. B., and N. M. Dale. 2006. True Metabolizable Energy and Amino Acid Digestibility of Distillers Dried Grains with Solubles. *Journal Applied. Poultry. Research.* 15: 89–93.

Baurhoo, N., B. Baurhoo, and X. Zhao. 2011. Effects of exogenous enzymes in corn-based and Canadian pearl millet-based diets with reduced soybean meal on growth performance, intestinal nutrient digestibility, villus development, and selected microbial populations in broiler chickens. *Journal Animal Science.* 89: 4100–4108.

Bedford, M. 1995. Mechanism of action and potential environmental benefits from the use of feed enzymes. *Journal Animal Feed Science and Technology.* 53(2): 145–155.

Costa, F., C. Goulart, F. Figueiredo, S. Oliveira, and V. Silva. 2008. Economic and environmental impact of using exogenous enzymes on poultry feeding. *International Journal of Poultry Science.* 7(4): 311–314.

Cowieson, A. 2005. Factors that affect the nutritional value of maize for broilers. *Animal Feed Science and Technology.* 119: 293–305.

Cozannet, P., M. Lessire, J. Métayer, C. Gady, Y. Primot, P. Geraert, L. Tutour, F. Skiba, and J. Noblet. 2010. Nutritive value of wheat and maize distillers dried grains with soluble for poultry. *INRA Production Animal.* 23(5): 405–414.

Cuca G, E. Ávila G. y A. Pró M. 2009. Alimentación de las Aves. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo. Edo. de México. pp. 154.

Dilger, R., S. Sands, D. Ragland, and O. Adeola. 2004. Digestibility of nitrogen and amino acids in soybean meal with added soyhulls. *Journal Animal Science.* 82: 715–724.

Engberg, R., M. Hedemann, S. Steinfeldt, and B. Jensen. 2004. Influence of whole wheat and xylanase on broiler performance and microbial composition and activity in the digestive tract. *Poultry Science.* 83: 925–938.

FNDARFP. (Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario Rural, Forestal y Pesquero). 2015. Precio de Sorgo, Pasta de soya y Granos secos de destilería con solubles. [En línea]. Disponible en <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/PreciosLateral/PreciosHistoricosGCMA.pd> (revisado el 02 de Enero de 2015).

Gálick, B., and E. Horniaková. 2010. The effect of enzymatic additives on the productivity of laying hens isa brown. *Journal Central European Agriculture.* 11(4): 381–386.

Lázaro, R., M. Garcia, M. Aranibar, and G. Mateos. 2003. Effect of enzyme addition to wheat-barley and rye-based diets on nutrient digestibility and performance of laying hens. *British Poultry Science.* 44: 256–265.

Leeson, S., L. Caston, and J. D. Summers, 1991. Significance of physiological age of Leghorn pullets in terms of subsequent reproductive characteristics and economic analysis. *Poultry Science*. 70: 37–43.

Leeson, S., and J.D. Summers. 2005. *Commercial Poultry Nutrition*. 3th ed. University Books, Guelph, Ontario, Canada. pp. 124–161.

Lumpkins, B., B. Batal, and M. Dale. 2005. Use of distillers dried grains plus soluble in laying hen diets. *Journal Applied Poultry Research*. 14: 25–31.

Madrid, J., P. Catalá-Gregori, V. García, and F. Hernández. 2010. Effect of a multienzyme complex in wheat-soybean meal diet on digestibility of broiler chickens under different rearing conditions. *Italian Journal Animal Science*. 9(e1): 1–5.

Masa'deh, M., E. Purdum, and J. Hanford. 2012. Distillers dried grains with solubles in pullet diets. *Journal Applied Poultry Research*. 21: 531–539.

Mosier, N., R. Hendrickson, M. Brewer, M. Ho, N. Sedlak, M. Dreshel, R. Welch, G. Dien, S. Aden, and A. Ladisch. 2005. Industrial scale-up of pH-controlled liquid hot water pretreatment of corn fiber for fuel ethanol production. *Applied Biochemistry Biotechnology*. 125: 77–97.

NRC. (National Research Council). 1994. *Nutrient requirements of poultry*. National Academy of Sciences. Washington, National Academy Press 2101 Constitution Avenue, NW Washington, D.C. 20418, U.S.A.

Owens, B., L. Tucker, M. A. Collins, and K. J. McCracken. 2008. Effects of different feed additives alone or in combination on broiler performance, gut microflora and ileal histology. *British Poultry Science*. 49: 202–212.

Parsons, C., C. Martinez, V. Singh, S. Radhakrishnan, and S. Noll. 2006. Nutritional value of conventional and modified DDGS. PhD Diss. University of Illinois. Multi- State Poultry Feed and Nutrition and Feeding conference. 23–25.

SAS Institute. 1999. *Statistical Analysis System*. The SAS system for Window release 8.0. USA. pp.558.

Shalash, S., N. Ali, M. Sayed, E. El-Gabry, and M. Shabaan. 2009. Novel method for improving the utilization of corn dried distillers grains with solubles in broiler diets. *International Journal of Poultry Science*. 8 (6): 545–552.

Sherief, M., A.-R., R. Leitgeb, and C. Iben. 2011. Effects of Dietary Inclusion Level of Distillers' Dried Grains with Soluble (DDGS) from Wheat and Corn on Amino Acid Digestibilities in Broilers. *Poultry Science*. 10 (12): 952–958.

Stein, H., and G. Shurson. 2009. Board-invited review: the use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *Journal Animal Science*. 87: 1292–1303.

Youngmi, K., S. Nathan, A. Mosier, R. Hendrickson, E. Thaddeus, H. Blaschek, B., C., Dien, C., Michael, B. Dale, and M., Ladisch. 2008. Composition of corn dry-grind ethanol by-products: DDGS, wet cake, and thin stillage. *Bioresource Technology*. 99: 5165–5176.

**CAPÍTULO III. GRANOS SECOS DE DESTILERÍA CON SOLUBLES
DE MAÍZ Y SUPLEMENTACIÓN DE XILANASA EN GALLINAS
BOVANS WHITE
(EXPERIMENTO 2)**

GRANOS SECOS DE DESTILERÍA CON SOLUBLES DE MAÍZ Y SUPLEMENTACIÓN DE XILANASA EN GALLINAS BOVANS WHITE

Jennifer Pérez Martínez, D.C.

Colegio de Postgraduados, 2016

RESUMEN

En el proceso de la producción de etanol a partir del maíz, la mayor parte de almidón se fermenta y genera un subproducto, los granos secos de destilería con solubles (GSDS), que sirven de alimento para las aves por sus concentraciones de proteína y minerales. Con el propósito de disponer de ingredientes alternativos en la alimentación de gallinas ponedoras durante su primer ciclo de producción, en sustitución de la pasta de soya se evaluaron los GSDS de maíz, además se les adicionó xilanasa para estudiar si las variables productivas se mejoran. Se utilizaron 400 pollas Bovans White con una edad inicial de 18 a 73 semanas de edad, se distribuyeron completamente al azar en un arreglo factorial 5 x 2, en diez tratamientos, con cinco repeticiones, de ocho gallinas cada una. Los GSDS se incluyeron en concentraciones de 0%, 8%, 16%, 24% y 32% y la xilanasa 0% y 0.05%. Las variables de respuesta estudiadas fueron: peso vivo de las pollas, edad de las aves al primer huevo, peso del primer huevo, edad y peso del huevo al 50% de producción, alimento consumido, porcentaje de postura, peso del huevo, masa de huevo, conversión alimenticia, kg de huevo producido por ave, consumo de kcal/ave/d calculada y costo de un kg de huevo; para calidad de huevo se midió: altura de albúmina, unidades Haugh, grosor de cascarón y color de yema. Los resultados indicaron que no hubo diferencias en las variables de madurez sexual por efecto de los GSDS y la enzima ($P \geq 0.05$); en la dieta de las gallinas puede sustituirse la pasta de soya hasta 8% con GSDS, sin afectar ninguna variable. El costo para producir un kg de huevo aumenta con la concentración de 32% de GSDS. En calidad de huevo las unidades Haugh y el color de yema mejoraron ($P \leq 0.05$) con los GSDS. La adición de la enzima influyó positivamente ($P \leq 0.05$) en alimento consumido, porcentaje de postura, conversión alimenticia, masa de huevo, energía consumida ave/d y el costo de un kg de huevo producido.

Palabras clave: enzima, aminoácidos, fibra, calidad interna del huevo, costos.

DRIED DISTILLERS GRAINS WITH MAIZE SOLUBLES AND XYLANASE SEPLEMENTATION IN LAYING BOVANS WHITE

Jennifer Pérez Martínez, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2016

ABSTRAC

In the process of ethanol production from maize, most of the starch is fermented and a byproduct is generated, dry distillery grains with solubles (DDGS), that serves as chicken feed given its concentrations of proteins and minerals. In order to have alternative ingredients for feeding laying hens during their first production cycle, maize DDGS were evaluated as substitutes for soy paste; moreover, xylanase was added to study if the production variables were improved. We used 400 White Bovans hens with an initial age of 18 to 73 weeks. They were randomly distributed in a 5 x 2 factorial arrangement with ten treatments and five replicates, eight hens each. The DDGS were included in concentrations of 0%, 8%, 16%, 24%, and 32%, while xylanase was added in 0% and 0.05%. The response variables studied were: live weight of the hens, age of the hen at first lay, weight of the first egg, age and egg weight at 50% production, feed intake, laying percentage, egg weight, egg mass, feed conversion, total kilograms produced, energy consumption bird/day, and cost of produced egg. For egg quality, we measured: albumin height, Haugh units, shell thickness, and yolk color. The results show that there were no differences in the sexual maturity variables from effect of the DDGS and enzyme ($P \geq 0.05$). Soy paste can be substituted by up to 8% DDGS in hen feed without affecting any variable. The cost of producing one kg of eggs increases with a 32% DDGS concentration. With regard to egg quality, Haugh units and yolk color improved ($P \leq 0.05$) with DDGS. Adding the enzyme positively influenced ($P \leq 0.05$) feed intake, laying percentage, feed conversion, egg mass, energy consumption bird/day, and the cost of one kg of eggs produced.

Key words: enzyme, amino acids, fiber, internal egg quality, costs.

INTRODUCCIÓN

Los granos secos de destilería (GSDS) se utilizan en las dietas para rumiantes debido a su alto contenido de fibra (7%); sin embargo, también se utilizan en la industria avícola por tener un alto índice de proteína, aminoácidos, energía y fósforo (Batal, 2007; Świątkiewicz y Koreleski, 2008).

A través de diversas investigaciones sobre los efectos que tienen los GSDS de maíz en las aves se sabe que éstos son un ingrediente alternativo para usarse en dietas de gallinas en postura, pollos de engorda, pavos y patos, porque contienen de 80% a 85% del valor energético del maíz; sin embargo, el principal problema de utilizar GSDS es la variabilidad del contenido de aminoácidos y la baja digestibilidad de nutrientes, es por ello que los primeros estudios en aves indicaron que en las dietas se podían incluir de 5% a 10% de GSDS sin modificaciones en la formulación de éstas en cuanto a energía y aminoácidos (Alenier y Combs, 1981; Noll *et al.*, 2001; Spiehs *et al.*, 2002).

Świątkiewicz y Koreleski (2008) realizaron una revisión de investigaciones de los GSDS y su uso en la avicultura y concluyeron que son un coproducto que se puede utilizar para alimentar a las aves de forma segura; mencionan que en pollos de engorda y pavos en la etapa de iniciación se pueden incluir en niveles de 5% a 8%, mientras que en la etapa de crecimiento y finalización se puede adicionar de 12% a 15% y que en gallinas en postura, hasta 15%.

Estudios recientes (Cheon *et al.*, 2008; Masa' deh *et al.*, 2011; Ghazalah *et al.*, 2011) reportaron que se pueden incluir porcentajes más altos de GSDS en dietas avícolas (20% a 25%), siempre y cuando se conozca el contenido de aminoácidos y energía metabolizable específicos de la fuente de éstos.

También los GSDS contienen altos niveles de polisacáridos no amiláceos (PNA), que son polímeros de monosacáridos unidos a través de enlaces glucosídicos (Choct, 1997; Cowieson, 2005). El uso de enzimas para PNA se incorpora en la avicultura para acelerar las reacciones químicas que en condiciones normales se realizarían lentamente, o no se llevarían a cabo, como incrementar la digestibilidad de las proteínas, aminoácidos, calcio y fósforo, además de que mejora la eficiencia alimenticia y se mantiene en buen estado la salud intestinal del ave (Bedford y Partridge, 2010).

El objetivo de la presente investigación fue agregar GSDS en concentraciones de 0%, 8%, 16%, 24% y 32% a la dieta de pollas de 18 a 21 semanas y gallinas Bovans White de 22 a 73 semanas de edad, y evaluar la madurez sexual, comportamiento productivo, calidad de huevo, costo de un kg de huevo por concepto de alimentación y determinar si la xilanasa interactúa en los GSDS al mejorar las variables productivas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el Colegio de Postgraduados campus Montecillo, Texcoco Estado de México. Se utilizaron 400 pollas Bovans White, con una edad inicial de 18 semanas y una edad final de 73 semanas, se asignaron aleatoriamente a diez tratamientos, con cinco repeticiones, con ocho gallinas cada una, se alojaron dos aves por jaula de 30 x 45 cm, con comederos lineales y bebederos automáticos en una caseta convencional; la iluminación se ajustó a 16 ½ h luz d⁻¹, con luz artificial.

Las dietas fueron isoprotéicas con base en sorgo - pasta de soya (Cuadros 1 y 2), y se cubrieron los requerimientos para gallinas ponedoras (NRC, 1994; Cuca *et al.*, 2009); se variaron las cantidades de sorgo y pasta de soya para adicionar niveles de GSDS de 0%, 8%, 16%, 24% y 32% con dos concentraciones de xilanasa (40 000 UI/g) 0% y 0.05%, el testigo es la dieta que no contenía GSDS ni xilanasa; el agua y alimento se ofrecieron *ad libitum*.

Cuadro 1. Composición de las dietas experimentales durante la etapa de postura (18-74 semanas de edad) de gallinas Bovans White (%).

Ingrediente	Sin xilanasas 0%¹				
GSDS (28% PC)	0.00	8.00	16.00	24.00	32.00
Sorgo (8% PC)	63.72	59.62	55.54	51.45	47.37
Pasta de Soya (47% PC)	23.71	19.46	15.16	10.86	6.56
Aceite crudo de soya	0.83	1.11	1.41	1.70	1.99
DL-metionina (99%) ²	0.35	0.34	0.32	0.31	0.30
L-lisina (54.6%) ²	0.01	0.10	0.19	0.28	0.38
L-treonina (98.5%) ²	0.06	0.07	0.09	0.11	0.13
L-triptófano (99%) ²	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04
CaCO ₃ (38%) ³	10.06	10.14	10.22	10.29	10.37
Fosfato dicálcico (18/21) ⁴	0.46	0.36	0.26	0.16	0.06
Vitaminas y minerales ⁵	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Pigmento	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Sal	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Alimento (\$ kg ⁻¹) ⁶	3.85	3.80	3.77	3.74	3.72
Análisis calculado					
FC (%)	2.43	3.07	3.85	4.62	5.34
FDN (%)	9.93	13.91	17.89	21.87	25.85
EM (kcal/kg) ⁷	2751	2691	2631	2570	2509
Proteína cruda (%)	16.50	16.50	16.50	16.50	16.50
Calcio (%)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Fósforo disponible (%)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Lisina (%)	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
Metionina+Cistina (%)	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
Triptófano (%)	0.20	0.18	0.18	0.18	0.18
Treonina (%)	0.61	0.60	0.60	0.60	0.61
Nutrimiento analizado					
PC lote 1	17.79	17.74	17.99	16.93	16.79
PC lote 2	17.84	17.55	17.14	17.44	17.06

¹Xilanasas (EC 3.2.1.8), 40000 UI/g, proveedor DUPONT-DANISCO ANIMAL NUTRITION. México.

²porcentaje de pureza.

³38% = calcio.

⁴18% = fósforo y 21% = calcio.

⁵Aporta por kilogramo de alimento: vitamina A, 9000 UI; vitamina D₃, 2500 UI; vitamina E, 20 UI; vitamina K, 3.0 mg; vitamina B₂, 8.0 mg; vitamina B₁₂, 0.015 mg; ácido pantoténico, 10 mg; ácido nicotínico, 60 mg; niacina, 40 mg; ácido fólico, 0.5 mg; colina (cloruro de colina), 300 mg; D-biotina, 0.055 mg; tiamina, 2.0 mg; hierro, 65.0 mg; zinc, 100 mg; manganeso, 100 mg; cobre, 9.0 mg; selenio, 0.3 mg; yodo, 0.9 mg.

⁶El costo de las dietas se calculó de acuerdo con el precio medio de mercado en septiembre de 2014 en México.

⁷EM, se estimó con la energía metabolizable aparente (EMAn) de los GSDS por la ecuación de predicción de Rochell *et al.* (2011) y la EM del sorgo, pasta de soya y aceite crudo de soya (NRC, 1994; Cuca *et al.*, 2009).

EM, energía metabolizable; PC, proteína cruda; FC, fibra cruda.

Cuadro 2. Composición de las dietas experimentales durante la etapa de postura (18-74 semanas de edad) de gallinas Bovans White (%).

Ingrediente	Con xilanasa 0.05%¹				
GSDS (28% PC)	0.00	8.00	16.00	24.00	32.00
Sorgo (8% PC)	63.72	59.62	55.54	51.45	47.37
Pasta de Soya (47% PC)	23.71	19.46	15.16	10.86	6.56
Aceite crudo de soya	0.83	1.11	1.41	1.70	1.99
DL-metionina (99%) ²	0.35	0.34	0.32	0.31	0.30
L-lisina (54.6%) ²	0.01	0.10	0.19	0.28	0.38
L-treonina (98.5%) ²	0.06	0.07	0.09	0.11	0.13
L-triptófano (99%) ²	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04
CaCO ₃ (38%) ³	10.06	10.14	10.22	10.29	10.37
Fosfato dicálcico (18/21) ⁴	0.46	0.36	0.26	0.16	0.06
Vitaminas y minerales ⁵	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Pigmento	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Sal	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Alimento (\$ kg ⁻¹) ⁶	3.86	3.81	3.78	3.75	3.73
Análisis calculado					
FC (%)	2.43	3.07	3.85	4.62	5.34
FDN (%)	9.93	13.91	17.89	21.87	25.85
EM (kcal/kg) ⁷	2751	2691	2631	2570	2509
Proteína cruda (%)	16.50	16.50	16.50	16.50	16.50
Calcio (%)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Fósforo disponible (%)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Lisina (%)	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
Metionina+Cistina (%)	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
Triptófano (%)	0.20	0.18	0.18	0.18	0.18
Treonina (%)	0.61	0.60	0.60	0.60	0.61
Nutrimiento analizado					
PC lote 1	16.89	17.51	17.70	17.63	17.68
PC lote 2	18.10	17.97	16.85	17.43	17.44

¹Xilanasa (EC 3.2.1.8), 40000 UI/g, proveedor DUPONT-DANISCO ANIMAL NUTRITION. México.

²porcentaje de pureza.

³38% = calcio.

⁴18% = fósforo y 21% = calcio.

⁵Aporta por kilogramo de alimento: vitamina A, 9000 UI; vitamina D₃, 2500 UI; vitamina E, 20 UI; vitamina K, 3.0 mg; vitamina B₂, 8.0 mg; vitamina B₁₂, 0.015 mg; ácido pantoténico, 10 mg; ácido nicotínico, 60 mg; niacina, 40 mg; ácido fólico, 0.5 mg; colina (cloruro de colina), 300 mg; D-biotina, 0.055 mg; tiamina, 2.0 mg; hierro, 65.0 mg; zinc, 100 mg; manganeso, 100 mg; cobre, 9.0 mg; selenio, 0.3 mg; yodo, 0.9 mg.

⁶El costo de las dietas se calculó de acuerdo con el precio medio de mercado en septiembre de 2014 en México.

⁷EM, se estimó con la energía metabolizable aparente (EMAn) de los GSDS por la ecuación de predicción de Rochell *et al.* (2011) y la EM del sorgo, pasta de soya y aceite crudo de soya (NRC, 1994; Cuca *et al.*, 2009).

EM, energía metabolizable; PC, proteína cruda; FC, fibra cruda.

Para obtener el costo de la dieta se multiplicó la cantidad de ingredientes por su precio (Cuadro 3).

Cuadro 3. Costo por kg de ingrediente de la dieta.

Ingrediente	Costo \$ kg	Ingrediente	Costo \$ kg
Sorgo	2.45	L-Triptófano	150.00
Pasta de soya	5.99	CaCO ₃	2.00
Aceite crudo de soya	16.00	Fosfato dicálcico	12.00
Granos secos de destilería	3.09	Vitaminas y minerales	65.00
DL-Metionina	65.00	Sal	4.80
L-Lisina	28.00	Xilanasa	5.00
L-Treonina	48.00		

Costo de los granos septiembre 2014 (FNDARFP, 2015).

Costo de US dolar \$13.22, septiembre de 2014.

En toda la crianza las aves recibieron el mismo porcentaje de GSDS y de xilanasa, además de vacunarse contra marek, newcastle, viruela, gumboro, bronquitis, encefalomielitis y coriza infecciosa.

Durante el experimento se utilizaron dos lotes diferentes de GSDS del mismo proveedor, mediante la ecuación de calibración NIRS, curvas de Evonick, se hizo un muestreo al azar de cada lote para determinar contenido de proteína y aminoácidos por repetición; para el aminograma se realizó un análisis de varianza en donde no se encontraron diferencias (Cuadro 4).

Cuadro 4. Medias del contenido de proteína cruda, aminoácidos totales y digestibles de granos secos de destilería con solubles (%).

Materia Seca (%)	90.50	
Proteína Cruda (%)	27.59	
Aminoácidos ¹	Aminoácidos totales	Aminoácidos digestibles
Metionina	0.553	0.485
Cistina	0.526	0.437
Metionina+Cistina	1.081	0.869
Lisina	0.782	0.596
Treonina	1.033	0.758
Triptófano	0.214	1.746
Arginina	1.214	0.903
Isoleucina	1.002	0.857
Leucina	3.158	2.863
Valina	1.337	1.103
Histidina	0.713	0.581
Fenilalanina	1.338	1.199

No se encontraron diferencias ($P \geq 0.05$).

¹Análisis con el uso de: Ecuación de calibración NIRS.

Realizado por: EVONIK industrias AG feed additives (Alemania).

Para evaluar la madurez sexual de la semana 18 a 21, se tomaron en cuenta las siguientes variables: peso vivo de las aves (PV, g), edad al primer huevo (EPH, d), peso del primer huevo (PPH, g de huevo), edad del ave a 50% de postura (EAP, d) y peso del huevo al 50% de postura (PHP, g). La respuesta productiva se determinó de la semana 22 a 73, las variables se midieron semanalmente: alimento consumido (AC, g/gallina/d), conversión alimenticia (CA, kg de alimento/kg de huevos), porcentaje de postura (PP), masa de huevo (MH, g de huevo gallina/d), peso del huevo (PH, g/d), consumo de kcal/ave/d calculada (CKAC), kg de huevo producidos por ave (KHP, durante 364 d) y costo de un kg de huevo por concepto de alimentación (CKHP, se calculó a partir de la conversión alimenticia y el precio unitario de las dietas). Para medir la calidad del huevo, se tomaron cinco huevos por repetición de cada tratamiento, en la semana 23, 47 y 72 del experimento, se midió: la altura de albúmina (AA), unidades Haugh (UH) utilizando el equipo Egg Multi Tester (QCM System, Technical Services y Supplies, Dunnington, Reino Unido), pigmentación de la yema (CY) con el aparato automático SSQ® el cual mide la coloración de la yema con base al abanico de DSM para yema y grosor de cascarón (GC) utilizando un tornillo micrométrico.

Análisis estadístico

Los datos de las variables de madurez sexual y KHP se analizaron en un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 5 X 2 utilizando el procedimiento GLM de SAS.

Para las variables de desempeño productivo, CKHP y calidad de huevo se utilizó un diseño experimental completamente al azar en un arreglo factorial 5 X 2; el estudio se dividió en nueve periodos de seis semanas cada uno, a excepción del último periodo que sólo constó de cuatro semanas para que se ajustara la producción a 365 d. Se realizó un análisis de varianza con el procedimiento MIXED de SAS y los resultados de porcentaje de postura se transformaron a la función arco-seno (Steel *et al.*, 1998) para su análisis. Las diferencias entre medias de tratamientos en el análisis de varianza se compararon con la prueba de Tukey (SAS 1999).

El modelo estadístico fue:

$$Y_{ijklm} = \mu + X_i + D_j + (XD)_{ij} + R_{k(ij)} + P_l + (XP)_{il} + (DP)_{jl} + (XDP)_{ijl} + S_{m(l)} + (XS)_{im(l)} + (DS)_{jm(l)} + (XDS)_{ijm(l)} + E_{ijklm}; \text{ donde:}$$

Y_{ijklm} = Valor de la variable respuesta correspondiente al i-ésimo nivel de xilanasa, en el j-ésimo nivel de GSDS, de la k-ésima repetición, l-ésimo periodo y m-ésima semana.

μ = Constante que caracteriza a la población.

X_i = Efecto fijo del i-ésimo nivel de xilanasa. $i= 1, 2$.

D_j = Efecto fijo del j-ésimo nivel de GSDS. $j= 1, 2, 3, 4, 5$.

$(XD)_{ij}$ = Efecto de la interacción del i-ésimo nivel de xilanasa, con el j-ésimo nivel de GSDS.

$R_{k(ij)}$ = Efecto aleatorio de la k-ésima repetición anidada en el i-ésimo nivel de xilanasa, en el j-ésimo nivel de GSDS. $k= 1, 2, 3, 4, 5$.

P_l = Efecto del l-ésimo periodo. $l= 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$.

$(XP)_{il}$ = Efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel de xilanasa con el l-ésimo periodo.

$(DP)_{jl}$ = Efecto de la interacción entre el j-ésimo nivel de GSDS y el l-ésimo periodo.

$(XDP)_{ijl}$ = Efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel de xilanasa, el j-ésimo nivel de GSDS y el l-ésimo periodo.

$S_{m(l)}$ = Efecto de la m-ésima semana, anidada en el l-ésimo periodo. $m= 1, 2, 3, 4, 5, 6$.

$(XS)_{im(l)}$ = Efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel de xilanasa, en el m-ésimo semana, anidado en el l-ésimo periodo.

$(DS)_{jm(l)}$ = Efecto de la interacción entre el j-ésimo nivel de GSDS, en la m-ésima semana, anidado en el l-ésimo periodo.

$(XDS)_{ijm(l)}$ = Efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel de xilanas, en el j-ésimo nivel de GSDS, en el m-ésimo semana, anidado en el l-ésimo periodo.

E_{ijklm} = Error experimental del i-ésimo nivel de xilanas, en el j-ésimo nivel de GSDS, en el k-ésimo repetición, del l-ésimo periodo, en el m-ésimo semana.

En dos muestras del segundo lote de GSDS se determinó por duplicado energía bruta (EB), fibra detergente neutra (FDN) y proteína cruda (PC) (Cuadro 5) para estimar la energía metabolizable aparente (EMAn) de éstos, con la ecuación de predicción de Rochell *et al.* (2011):

$$EMAn, \text{ kcal/kg de MS} = (-30.19 \times FND\%, \text{ base MS}) + (0.81 \times EB, \text{ kcal/kg base MS}) - (12.26 \times PC\%, \text{ base MS}) \quad R^2 = 0.87$$

Cuadro 5. Composición de los granos secos de destilería con solubles para estimar energía metabolizable.

Análisis	Método de análisis
Proteína cruda	AOAC método oficial 990.3
Fibra detergente neutra	Fraccionamiento de Fibra por Van Soest <i>et al.</i> (1991)
Energía Bruta	Bomba calorimétrica Isoperibólica Parr 1266

AOAC, asociación de químicos analíticos oficiales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estimación de la energía metabolizable aparente (EMAn) de los granos secos de destilería con solubles

Las medias de la composición química de PC, FDN y EB de los GSDS, se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Medias de la composición de análisis de granos secos de destilería con solubles.

	GSDS
Proteína cruda (%)	27.59
Fibra detergente neutra (%)	63.59
Energía bruta (kcal/kg)	5177

GSDS, granos secos de destilería con solubles.

A continuación se muestra la sustitución de la ecuación de predicción de Rochell *et al.* (2011), con los valores del Cuadro 6:

$$\text{EMAn, kcal/kg de MS} = (-30.19 \times 63.59\%, \text{ base MS}) + (0.81 \times 5177, \text{ kcal/kg base MS}) - (12.26 \times 27.59\%, \text{ base MS}) \quad R = 1\,935.33$$

La media del valor de EMAn de GSDS utilizados en el presente estudio fue de 1 935.33 kcal/kg de MS, estos datos son similares a los reportados en el NRC (1994) con un contenido de EMAn de 1972 kcal/kg de MS; sin embargo, los resultados de esta investigación fueron inferiores a los publicados por Rochell *et al.* (2011) con valores de 2146 kcal/kg a 3098 kcal/kg de MS, con una media de 2678 kcal/kg de MS, este contraste se atribuye a la diferencia de FDN que contenían los GSDS de ambas investigaciones 63.59% y 27.72% a 50.96% FDN respectivamente, y el contenido en fibra de las materias primas influye negativamente en la EMn del mismo, ya que ésta disminuye al incrementarse el porcentaje de fibra del ingrediente en estudio (Blas y Mateos, 1991).

Variables de respuesta relacionadas a la madurez sexual de las aves

En el Cuadro 7 se presentan los resultados de madurez sexual y se observa que independientemente de las concentraciones de GSDS y la inclusión de xilanas en el PV, EPH, PPH, EAP y PHP no hubo diferencias ($P \geq 0.05$) en ninguna de estas variables, lo mismo ocurrió por efecto de la interacción.

Cuadro 7. Influencia de los niveles de GSDS y xilanasa en la madurez sexual de gallinas de postura Bovans White.

GSDS (%)	PV (g)	EPH (d)	PPH (g)	EAP (d)	PHP (g)
0	1297	144	38.4	155	44.9
8	1272	144	40.0	153	44.7
16	1268	147	39.5	154	44.9
24	1281	143	38.2	152	44.2
32	1268	142	38.4	152	45.3
EEM	2.51	0.56	0.16	0.40	0.11
Xilanasa (%)					
0	1286.8	145.1	38.9	154	44.8
0.05	1267.3	143.5	38.8	153	44.8
EEM	2.75	0.22	0.05	0.04	0.02

PV, peso vivo; EPH, edad al primer huevo; PPH, peso del primer huevo; EAP, edad del ave al 50 % de postura; PHP, peso del huevo al 50 % de postura.

No hubo diferencias entre tratamientos ($P \geq 0.05$).

EEM, error estándar de la media; NS, no significativo ($P \geq 0.05$).

El manual de la línea Bovans White (Anónimo, 2015) recomienda a las 18 semanas un PV mínimo de 1229 kg y un máximo de 1292 kg; las aves del presente experimento se encontraron dentro del intervalo de la línea Bovans White, lo que indica que las concentraciones de GSDS no retrasaron la madurez sexual; ya que cuando las pollas presentan retraso, da como resultado un PV bajo a la semana 18 (Leeson *et al.*, 2005). El PV es probablemente la variable más importante para evaluar la madurez sexual, ya que de ello dependerá el tamaño del primer huevo que producirá (Leeson *et al.*, 1991).

El manual ISA (Anónimo, 2015) menciona que las aves rompen postura en la semana 19 con un PPH de 43.7 g, sin embargo, en el presente estudio la media de la EPH fue a los 144 d con un peso máximo de 40 g; el PV de las pollas a las 18 semanas influye en la EPH y el PPH, puesto que pollas de mayor peso romperán postura primero y producirán huevos más grandes que pollas con menor PV (Leeson y Summers, 2005).

La EAP coincide con lo mencionado por el manual de la línea, sin embargo el PHP (45.3 g) fue de 4.2 g menor de lo recomendado para Bovans White; las diferencias en el peso de huevo durante las primeras semanas se pueden atribuir al contenido de energía y proteína de las dietas (Leeson y Caston, 1993; Keshavarz, 1995).

Alimento consumido (AC)

Los resultados en AC (Cuadro 8) indicaron que los GSDS de 0% a 32% no afectaron el consumo ($P \geq 0.05$), a pesar de que la EM calculada de la dieta disminuyó con el incremento de los GSDS (Cuadros 1 y 2). En las aves el AC está controlado por las necesidades energéticas (Leeson y Summers, 2005; Ribeiro *et al.*, 2014); en el presente estudio no hubo diferencias en AC y se puede atribuir a que al aumentar los niveles de GSDS (0%, 8%, 16%, 24% y 32%) también incrementó la FC en las dietas (2.43%, 3.07%, 3.85%, 4.62% y 5.34%) (Cuadros 1 y 2), y altas concentraciones de fibra en las aves produce un aumento en la voluminosidad del quimo, ya que ésta tiene capacidad de retención de agua (CRA), lo que provocó probablemente que el ave se llenara aunque no se cubrían sus requerimientos de energía (Savon, 2002; Deniz *et al.*, 2012). Ghazalah *et al.* (2011) en dietas isoenergéticas con niveles de GSDS (0%, 20%, 40% y 60%) y un contenido de FC de 3.32%, 4.23%, 5.15% y 6.04% respectivamente, reportaron que el AC disminuyó con el aumento de los GSDS por el contenido de FC de las dietas.

Cuadro 8. Efecto de los niveles de granos secos de destilería con solubles y xilanasa en el comportamiento productivo de gallinas Bovans White de 22 a 73 semanas de experimentación.

GSDS (%)	AC ave/d (g)	PP (%)	PH (g)	CA ¹ (g)	MH (g)	KHP ² (kg)	CKAC (kcal/ ave/d)
0	106.8	92.2a	59.9abc	1.9b	55.3a	20,145a	293a
8	107.1	91.3ab	60.3a	1.9b	55.1ab	20,031a	288b
16	106.3	90.6bc	60.20ab	1.9b	54.4bc	19,815a	280c
24	105.7	90.2bcd	59.2cd	1.9b	53.4d	19,472ab	272d
32	106.6	87.5e	58.8d	2.1a	51.1e	18,736b	267e
EEM	0.36	0.58	0.31	0.02	0.33	0.64	0.96
Xilanasa (%)							
0	106.9a	89.7b	59.8a	2.0a	53.6a	20,160a	281a
0.05	106.1b	91.0a	59.5a	1.9b	54.3b	19,861a	279b
EEM	0.23	0.36	0.19	0.01	0.20	0.40	0.61
Efectos principales e interacciones							
GSDS	NS	$P \leq 0.05$	$P \leq 0.05$	$P \leq 0.05$	$P \leq 0.05$	$P \leq 0.05$	$P \leq 0.05$
Xilanasa	$P \leq 0.05$	$P \leq 0.05$	NS	$P \leq 0.05$	$P \leq 0.05$	NS	$P \leq 0.05$
GSDS x xilanasa	$P \leq 0.05$	$P \leq 0.05$	NS	NS	NS	NS	$P \leq 0.05$

Medias con letra distinta entre columna son diferentes ($P \leq 0.05$).

GSDS, granos secos de destilería con solubles; AC, alimento consumido; PP, porcentaje de postura; PH, peso de huevo; CA¹, Conversión alimenticia, (g alimento/g huevo); MH, masa de huevo; KHP, kilos de huevo producido; CKAC, consumo de kcal/ave/d calculada.

²En esta variable se utilizó el procedimiento GLM de SAS para su análisis estadístico.

EEM, error estándar de la media; NS, no significativo ($P \geq 0.05$).

La adición de xilanasa mostró un efecto positivo al disminuir el AC en 0.75% ($P \leq 0.05$) en las aves, de acuerdo con Gálik y Horniaková (2010), quienes reportaron que la administración de enzimas disminuyó el AC en gallinas, ya que éstas liberan energía adicional bloqueada por factores antinutrimientales (Leeson y Summers, 2005), la cual, en esta investigación fue suficiente para que el ave disminuyera el AC; sin embargo, Świątkiewicz y Koreleski (2006) en esta variable no reportan diferencias al incluir GSDS y una enzima; quizá se debe a los diferentes tipos de enzimas (xilanasas, beta-glucanasas, amilasas, proteasas) (Cowieson, 2005), a la combinación de éstas, o a los niveles utilizados, así como las diferentes aves utilizadas.

En AC la interacción GSDS x enzima fue significativa ($P \leq 0.05$). La xilanasa disminuyó el AC en 3.14% cuando la dieta no contenía GSDS (Figura 1), ya que contenía 63% de sorgo y 23% de pasta de soya (Cuadros 1 y 2) y estos son ingredientes no viscosos, pero tienen bajo contenido de PNA (Arabinosilanos - β -glucanos 0.1% y arabinosilanos 0.5% respectivamente), en los cuales probablemente, la enzima produjo cambios en la estructura de la pared celular de los PNA del sorgo y de la pasta de soya, lo que hizo disponibles los nutrientes de éstos al romper las cadenas de arabinosilanos, hidrolizándolos mediante la reducción de su peso molecular (Choct, 2006). En la concentración con 32% de GSDS, la xilanasa redujo 1.6% el AC, ya que ésta disminuye la viscosidad intestinal además de mejorar la digestión y absorción de los nutrientes (Wen *et al.*, 2012).

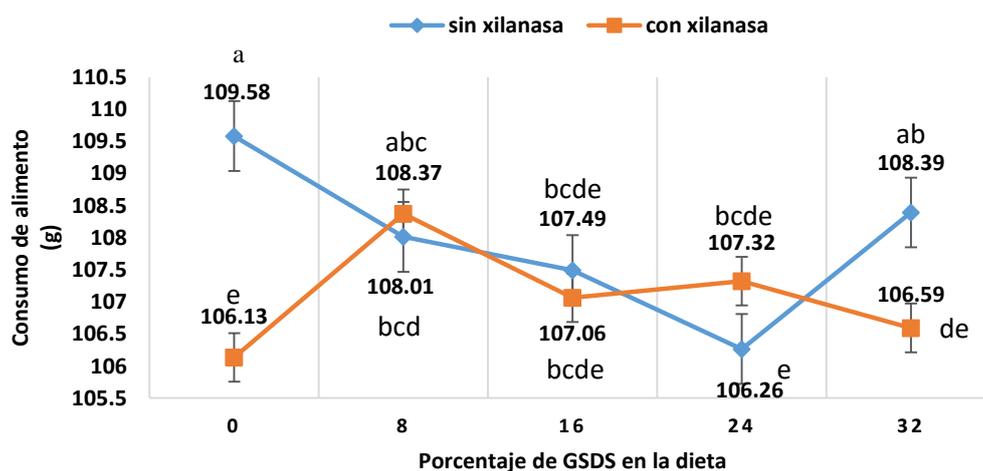


Figura 1. Interacción GSDS x Xilanasa en el alimento consumido.

GSDS, granos secos de destilería con solubles.

EEM, 0.51; $P \leq 0.05$.

Porcentaje de postura (PP)

Las gallinas alimentadas con 0% y 8% de GSDS tuvieron el mejor PP y cuando aumentó el nivel de éstos en la dieta (16%, 24% y 32%), la producción de huevo disminuyó 1.7%, 2.1% y 5.0% respectivamente ($P \leq 0.05$) (Cuadro 8) con relación al testigo, lo que se atribuye a que al incrementar el nivel de GSDS aumenta la fibra en las dietas y ésta disminuye el contenido de EMA de las mismas (Cuadros 1 y 2) (Stein y Shurson, 2009; Świątkiewicz y Koreleski, 2007); altos niveles de fibra en el alimento de las aves tienen un efecto negativo sobre la digestibilidad de la energía al reducir la absorción de lípidos a nivel intestinal (Mateos *et al.*, 2002), y la energía es importante para conseguir óptimos índices de postura (Leeson y Summers, 2005). Mientras que Roberson *et al.* (2005) y Masa'deh *et al.* (2011) no encontraron diferencias ($P \geq 0.05$) en el PP a 15% y 25% de GSDS respectivamente, ya que sus dietas eran isoenergéticas y las de esta investigación no (Cuadros 1 y 2).

La suplementación de xilanasa en las dietas mejoró el PP en 1.4% ($P \leq 0.05$), probablemente aumentó la disponibilidad de la energía contenida en el interior de las células vegetales ya que se sabe que esta enzima rompe la pared celular de las plantas (capa de la aleurona y el endospermo) (Coata *et al.*, 2008; Ahmadi y Karimov, 2010).

En la variable PP la interacción GSDS x enzima fue significativa ($P \leq 0.05$); cuando la dieta contenía 0%, 8%, 16% y 24% de GSDS la adición de xilanasa no produjo diferencias en la producción de huevo respecto al testigo; sin embargo, cuando las dietas no contenían la enzima, a partir de 8% de GSDS disminuyó el PP ($P \leq 0.05$) respecto al testigo; en las concentraciones de 16% y 24% de GSDS, la energía que liberó la enzima a diferencia de cuando no se incluyó en la dieta, mejoró el PP en 2.78% y 2.67% respectivamente; al incluir 32% de GSDS la EMA de las dietas fue tan baja (Cuadros 1 y 2) que la xilanasa no ayudó a liberar la energía necesaria para mejorar la producción (Figura 2). El hecho de que el PP mejoró por la enzima exógena podría explicarse debido a que está demostrado que la xilanasa hidroliza los xilanos, lo que sugiere el aumento en la disponibilidad de la energía (Khusheeba y Maqsood, 2013) al mejorar la producción de huevo (Roberts *et al.*, 2006; Ahmadi y Karimov, 2010).

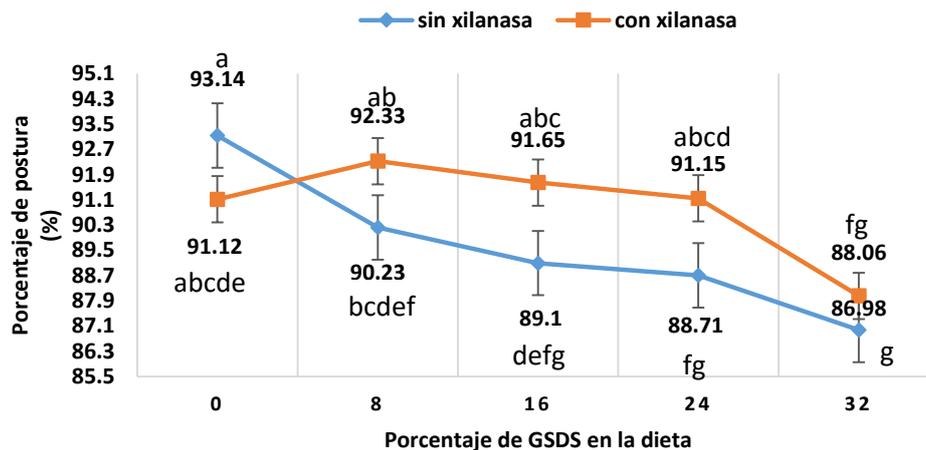


Figura 2. Interacción GSDS x Xilanasa en el porcentaje de postura.

GSDS, granos secos de destilería con solubles.

EEM, 0.82; $P \leq 0.05$.

Peso de huevo (PH)

El PH con 8%, 16% y 24% de GSDS no se modificó con respecto a cuando la dieta no contenía GSDS; sin embargo, al incluir 32% el PH disminuyó 2.5% ($P \leq 0.05$) (Cuadro 8); un factor importante en el PH es el consumo de proteína, principalmente aminoácidos azufrados (metionina+cistina) (Leeson y Summers, 2005; Salvador y Guevara, 2013); en las aves el coeficiente de digestibilidad de estos aminoácidos en los GSDS es de 86.8% y 77.3% respectivamente (Waldroup *et al.*, 2007); en el presente estudio, el contenido de aminoácidos digestibles de los GSDS (metionina, cistina y metionina+cistina) fue de 0.48%, 0.44% y 0.87% respectivamente (Cuadro 4) y éstos aumentaron en la dieta de las aves conforme incrementaban los GSDS, lo que indica que en concentraciones de hasta 24%, el contenido de estos aminoácidos de baja digestibilidad no afecta negativamente el PH; sin embargo, al incluir 32% de GSDS el contenido de estos aminoácidos ya no cubre los requerimientos nutricionales de las aves para mantener el PH.

Ghazalah *et al.* (2011) adicionaron enzimas en dietas que contenían GSDS (7%, 15% y 23%) y no mejoró el PH, ya que la suplementación enzimática no ayudó a mejorar el coeficiente de digestibilidad de PC, lo que pudo ocurrir en esta investigación pues la suplementación enzimática no influyó en el PH ($P \geq 0.05$). En otros estudios, el PH mejoró cuando se agregaron a las dietas complejos enzimáticos (α -amilasa, proteasa y xilanasa) ya que estas combinaciones

aumentan la digestibilidad ileal de EM, PC y fósforo (P), es decir, todos los nutrimentos que participan en el tamaño del huevo (Mukarami *et al.*, 2007; Adubados, 2011).

Conversión Alimenticia (CA)

La CA con 32% de GSDS en la dieta se afectó negativamente al aumentar 5% ($P \leq 0.05$) (Cuadro 8) con respecto a cuando no se incluyó GSDS; la razón por la cual se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) radica en que esta variable se obtiene dividiendo el AC (kg) semanal por el PH (kg) durante la semana, y al disminuir el PH en 2.5% en esta concentración de GSDS, se afectó la variable CA. Cheon *et al.* (2008) reportaron que la inclusión de 0%, 10%, 15% y 20% de GSDS no influyó en la CA ya que no encontraron diferencias en el PH y AC. Mientras que Deniz *et al.* (2012) encontraron que después de 20% de GSDS la CA empeoró ya que el PH y AC disminuyeron con este nivel.

La xilanasa modificó positivamente la CA, con una disminución de 5% ($P \leq 0.05$), esto se atribuye a que la enzima disminuyó el AC para producir un kg de huevo ($P \leq 0.05$). Ghazala *et al.* (2011) sustituyeron pasta de soya por GSDS en concentraciones de 25%, 50% y 75% y suplementaron Avizyme (xilanasas, amilasa y proteasa), la cual disminuyó la CA en 2.8%; esta mejora podría ser el resultado de la fermentación microbiana de los PNA y subsecuentemente la absorción de los ácidos grasos volátiles (Choct *et al.*, 1995).

Masa de huevo (MH)

Los resultados indicaron que a partir de 16% de GSDS la MH disminuyó ($P \leq 0.05$) (Cuadro 8) respecto a 0% de GSDS, mientras que, con 24% y 32% de GSDS la MH fue diferente de 0%, 8% y 16% de GSDS, lo que podría explicarse con el contenido de EM de la dieta de 2570 y 2509 kcal/kg respectivamente; ya que la MH aparentemente se afecta más por el consumo de energía que por el de proteína (Leeson y Summers, 2005; Pérez-Bonilla *et al.*, 2012; Mirzaee *et al.*, 2014). Sin embargo, en lo que respecta a proteína, Deniz *et al.* (2012) encontraron que a partir de 5% de GSDS la MH se afectó negativamente y disminuyó conforme incrementaron los GSDS respecto al testigo, la diferencia de niveles en los cuales se afectó la MH puede explicarse por la variabilidad de aminoácidos (metionina, cistina, treonina y triptófano) de los GSDS que utilizaron (0.44%, 0.41%, 0.89% y 0.21% respectivamente); y los niveles de esta investigación fueron 0.55%, 0.52%, 1.03% y 0.21% respectivamente (Cuadro 4).

Sin embargo, al agregar xilanasa la MH mejoró ($P \leq 0.05$), ya que la inclusión de la enzima en dietas que contienen PNA, disminuye la capacidad de retención de agua y con ello la viscosidad del quimo intestinal, lo que mejoró la digestión de nutrientes (Świątkiewicz y Koreleski, 2006). Mientras que Romero *et al.* (2012) y Li *et al.* (2014) no encontraron diferencias en MH al agregar hasta 20% de GSDS a la dieta, lo cual está relacionado con la enzima que se utiliza y el nivel de ésta.

kg de Huevo producidos por ave (KHP)

Los GSDS afectaron los KHP ($P \leq 0.05$) (Cuadro 8) entre la dieta con 0% y el nivel más alto, con una diferencia de 1409 g, esto sugiere que la inclusión de 32% de GSDS no cubre los requerimientos nutricionales que las aves necesitan ya que afectó negativamente las variables de PP, PH, CA y MH. Cheon *et al.* (2008) encontraron que los KHP no se modificaron al usar hasta 20% de GSDS ya que con este nivel no se modificó el PH, lo que coincide con esta investigación, que incluye 24% de GSDS y no se modifica el PH y los KHP respecto al testigo (Cuadro 8).

Al añadir la xilanasa a la dieta de las gallinas los KHP no se afectaron ($P \geq 0.05$), lo que era de esperarse ya que de igual manera no se modificó el PH (Cuadro 8).

Consumo de kcal/ave/d calculada (CKAC)

Cuando se agregó 8%, 16%, 24% y 32% de GSDS a la dieta de las aves, disminuyó el consumo ($P \leq 0.05$) 288, 280, 272 y 267 kcal/ave/d respectivamente, respecto al testigo (Cuadro 8), esto se calculó con el contenido de EMC de cada dieta; cuando la concentración energética de las dietas disminuye las aves comen más, y viceversa con dietas altas en energía, lo que no sucedió en este experimento, ya que el contenido elevado de FDN (Cuadro 6) no permitió que el ave aumentara el consumo de alimento, para poder cubrir sus requerimientos energéticos; las necesidades diarias de gallinas van de 270 a 275 kcal/ave/d para producción y mantenimiento (Leeson y Summers, 2005), sin embargo, el PP disminuyó a partir de 280 kcal/ave/d respecto a cuando no se agregaron GSDS a la dieta (Cuadro 8), lo que quiere decir que a partir de este contenido de energía ya no se cubren los requerimientos para producción, mientras que 267 kcal/ave/d ya no se encontró dentro de las recomendaciones para gallinas, lo que dio como resultado la peor producción de postura respecto al testigo.

Con la inclusión de la enzima las aves consumieron 0.71% menos de energía que cuando ésta no se incluyó ($P \leq 0.05$) (Cuadro 8), ya que ésta disminuyó el AC en 0.74% y mejoró el PP en 1.4%, lo que quiere decir que la xilanasa ayudó a liberar la energía necesaria para mejorar la producción.

La interacción GSDS x enzima fue significativa ($P \leq 0.05$) en esta variable en los niveles de 0% y 32% de GSDS. La adición de xilanasa disminuyó el CKAC en 3.3% en el tratamiento testigo y 1.8% en el que contenía 32% de GSDS (Figura 3), con respecto a cuando estos niveles no contenían la enzima, lo que sugiere que en estas concentraciones, esta enzima libera la energía necesaria para que el ave disminuya el AC y con ello las CKAC, lo que se relaciona con la interacción AC GSDS x enzima en ambos niveles (Figura 1).

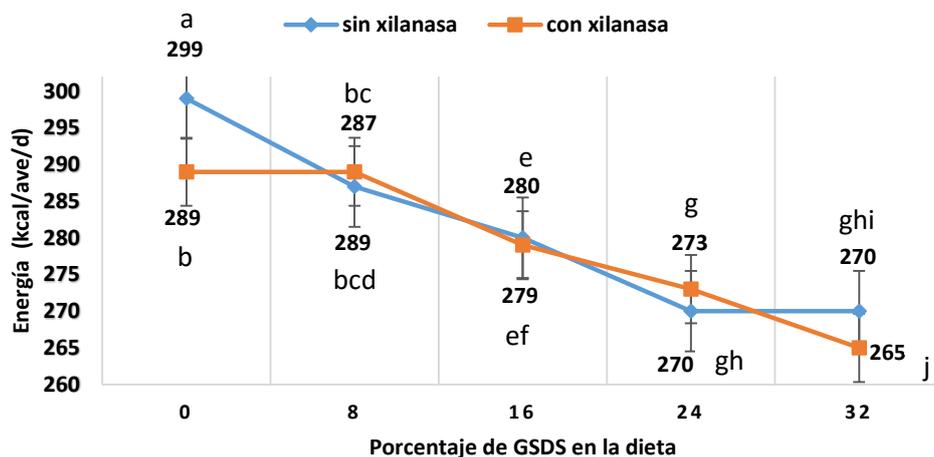


Figura 3. Efecto de la interacción GSDS x Xilanasa en el CKAC.

GSDS, granos secos de destilería con solubles; CKAC, consumo de kcal/ave/d.
EEM, 1.36; $P \leq 0.05$.

Calidad de huevo

Altura de albúmina (AA) y grosor de cascarón (GC)

El nivel de los GSDS en la dieta y la adición de la enzima, no tuvo efecto en las variables AA y GC, ($P \geq 0.05$) (Cuadro 9). Cheon *et al.* (2008) y Masa'deh *et al.* (2011) obtuvieron resultados similares con 20% y 25% de GSDS respectivamente, y reportaron que éstos no influyeron sobre AA y GC. Mientras que Ghazalah *et al.* (2011) al adicionar xilanasa, amilasa y proteasa en dietas con base en GSDS tampoco reportaron diferencias en AA y GC.

Cuadro 9. Efecto de los niveles de granos secos de destilería con solubles y xilanasa en la calidad de huevo de gallinas Bovans, a las 25, 50 y 75 semanas de experimentación.

GSDS (%)	AA (mm)	GC (micrones)	UH	CY ¹
0	7.3	456	82.9bcd	4.2e
8	7.2	463	81.3d	6.0d
16	7.1	466	83.9a	6.7c
24	7.0	456	83.2abc	7.5b
32	7.0	460	83.7ab	8.0a
EEM	0.27	0.12	0.61	0.09
Xilanasa (%)				
0	7.3	462	84.4a	6.83a
0.05	7.0	459	81.5b	6.21b
EEM	0.17	0.07	0.38	0.05
Efectos principales e interacciones				
GSDS	NS	NS	$P \leq 0.05$	$P \leq 0.05$
Xilanasa	NS	NS	$P \leq 0.05$	$P \leq 0.05$
GSDS x xilanasa	NS	NS	NS	NS

GSDS, granos secos de destilería con solubles.

AA, altura de albúmina; GC, grosor de cascarón; UH, unidades Haugh; ¹CY, color de yema, Escala de Roche.

Medias con letra distinta entre columna son diferentes ($P \leq 0.05$).

EEM, error estándar de la media; NS, no significativo ($P \geq 0.05$)

Unidades Haugh (UH)

Las UH de los huevos de los diferentes tratamientos fueron afectadas por los niveles de GSDS ($P \leq 0.05$) (Cuadro 9), las dietas que contenían 16%, 24% y 32% resultaron con mejor calidad interna de huevo y fue menor con los niveles 0% y 8% de GSDS; el incremento de las UH se atribuye a que los GSDS son deficientes en lisina, lo que llevó al aumento de lisina sintética en las dietas (Cuadros 1 y 2) con una ingesta de 0.00001, 0.00010, 0.00020, 0.00030 y 0.00040

g/ave/d para 0%, 8%, 16%, 24% y 32% de GSDS respectivamente, ya que cantidades altas de lisina cambian las concentraciones de proteína y sólidos totales de los componentes del huevo (Prochaska *et al.*, 1996; Novack *et al.*, 2004). Loar II *et al.* (2010) y Sun (2011) observaron un aumento en las UH cuando agregaron a la dieta cantidades de 16% a 32% y 17%, 35% y 50% de GSDS respectivamente, ya que la lisina sintética aumentó con los niveles de GSDS; lo que sugiere que este aminoácido sintético tiene efectos positivos en el estado físico de la albúmina del huevo. Sin embargo, Lumpkins *et al.* (2005) no encontraron diferencias en las UH en la semana 25 y 31 de edad, aunque en la semana 43, las gallinas de postura que consumieron 15% de GSDS tuvieron mejores UH (2.1%) comparadas con la dieta que tenía 0%, pero ésta no fue diferente estadísticamente, hecho que se atribuye a la edad de las gallinas, pues aclaran que si este estudio hubiera ido más allá de estas semanas, se hubieran mejorado las UH, ya que es cuando la calidad de la albúmina por lo general disminuye. Mientras que Jensen *et al.* (1978) informaron que los GSDS contienen minerales (Fe, Cu, Zn, Se y Cr), que son los que mejoran la calidad de la proteína, lo que se refleja en el aumento de las UH.

La adición de xilanasa influyó negativamente en las UH ($P \leq 0.05$), lo que concuerda con Mirzaie *et al.* (2012) quienes reportan que al incluir enzima a la dieta de gallinas las UH disminuyeron. Lo que no coincide con El-Hack *et al.* (2015) quienes encontraron que al incluir un suplemento enzimático las UH mejoran; en otras investigaciones no reportan ningún efecto en las UH del huevo al añadir la enzima en la dieta de aves (Ghazalah *et al.*, 2011; Świątkiewicz y Koreleski, 2006). Los resultados que las enzimas tienen sobre la calidad de huevo son inconsistentes, lo que probablemente se puede atribuir a que en las investigaciones utilizan diferentes líneas de aves y diferentes edades, así como la cantidad de la xilanasa añadida.

Color de Yema (CY)

El CY aumentó linealmente en la escala de Roche al incrementar los niveles de GSDS en la dieta ($P \leq 0.05$, Cuadro 9, Figura 4); ya que como coproducto, los GSDS concentran los pigmentos del maíz (xantofilas) (Roberson *et al.*, 2005), aportando aproximadamente 34 mg/kg (Sauvant y Tran, 2004). Los carotenoides son pigmentos solubles en grasas y conforme aumentaron los GSDS aumentó el nivel de inclusión del aceite en la dieta (Cuadros 1 y 2), lo que también pudo influir en la absorción de carotenoides. Pescatore *et al.* (2010) y Niemiec *et al.* (2013) concluyeron que conforme incrementó el nivel de GSDS en la dieta de las aves el

CY mejoró, lo que puede ayudar a disminuir el pigmento sintético en la dieta y con ello el precio de la misma.

La adición de la xilanas influyó negativamente ($P \leq 0.05$) sobre el CY, lo que no se esperaba ya que contrariamente, Świątkiewicz y Koreleski (2006) encontraron que la adición de la enzima ayudó a mejorar la absorción del pigmento. Mientras que Deniz *et al.* (2012) informaron que la inclusión de la enzima no causó efecto en el CY.

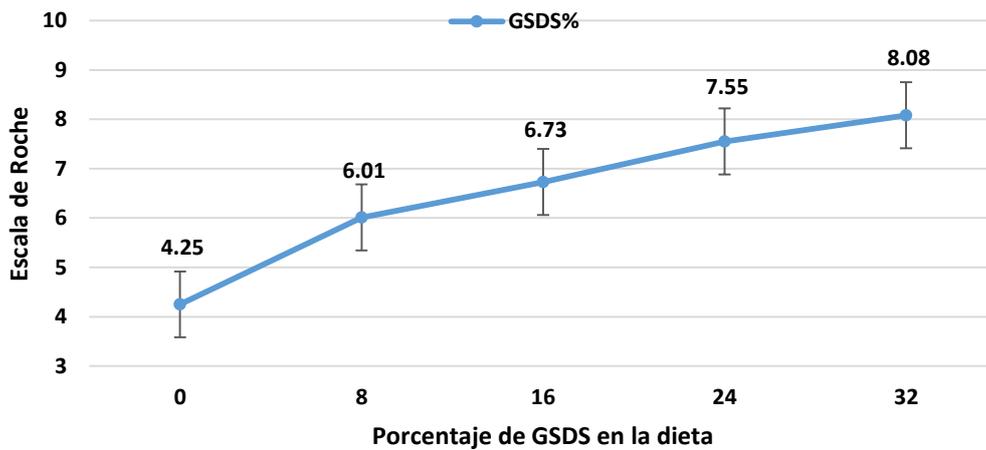


Figura 4. Influencia de los niveles de GSDS en el color de la yema.
GSDS, granos secos de destilería con solubles.
EEM, 0.05; $P \leq 0.05$.

Costo de un kg de huevo producido (CKHP)

El costo de un kg de alimento, según el porcentaje de GSDS se muestra en el Cuadro 10, donde se observó que el CKHP se afectó negativamente ($P \leq 0.05$) con la concentración de 32% de GSDS, con un aumento de 4.5% por cada kg de huevo producido respecto al testigo, lo que se explica por la alta CA a este nivel.

La inclusión de la enzima a las dietas de las aves disminuyó el CKHP ($P \leq 0.056$) en 1.9%, ya que ésta ayudó a disminuir la CA.

Cuadro 10. Costo de producción de un kg de huevo por concepto de alimentación de gallinas Bovans White con diferentes niveles de granos secos de destilería con solubles y xilanasa.

GSDS (%)	CA	Costo \$ kg de alimento	Costo \$ kg de huevo
0	1.93b	3.85	7.44b
8	1.95b	3.80	7.43b
16	1.96b	3.77	7.43b
24	1.98b	3.74	7.39b
32	2.0a	3.72	7.75a
EEM	0.02		0.08
Xilanasa (%)			
0	2.0a	3.77	7.56a
0.05	1.9b	3.78	7.41b
EEM	0.01		0.05

GSDS, granos secos de destilería con solubles; CA, conversión alimenticia.

Medias con letra distinta entre columna son diferentes ($P \leq 0.05$).

EEM, error estándar de la media.

CONCLUSIONES

- Los granos secos de destilería con solubles no influyeron en la madurez sexual de las gallinas Bovans White.
- Los niveles de granos secos de destilería hasta 8%, pueden sustituir la pasta de soya y sorgo en dietas de gallinas ponedoras Bovans White sin afectar negativamente las variables productivas.
- La dieta que contenía 32% de granos secos de destilería con solubles no cubría los requerimientos de energía, lo que llevó a una disminución obvia de la producción, además de aumentar el costo para producir un kg de huevo.
- Las unidades Haugh y el color de yema tuvieron un efecto positivo por la inclusión de los granos secos de destilería.
- La adición de la xilanasa reduce los factores antinutrientales de los granos secos de destilería al mejorar la respuesta productiva, además de inducir un beneficio económico.

LITERATURA CITADA

Alenier, J. and G. Combs. 1981. Effects on feed palatability of ingredients believed to contain unidentified growth factors for poultry. *Poultry Science*. 60: 215–224.

Adubados, M. 2011. Effect of enzyme supplementation and wheat middlings as an alternative to corn on laying hens performance. *Italian Journal of Animal Science*. 10 (37): 254–259.

Ahmadi, A., and T. Karimov. 2010. A Study on wheat middling's usage on layer's performances. *Australian Journal of Basic Applied and Sciences*. 4: 5636–5641.

Anónimo. 2015. ISA A Hendrix Genetics Company. [En línea]. Disponible en <http://www.isapoultry.com/es-ES/Products/Bovans/Bovans%20White.aspx> (revisado el 25 de junio de 2015).

AOAC. (Association of Official Analytical Chemists). 2005. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18th Ed. AOAC Int., Gaithersburg, MD.

Batal, A. 2007. Nutrient digestibility of high protein corn distillers dried grains with solubles, dehydrated corn germ and bran. *ADSA/ASAS/AMPA/PSA Joint Ann. Mtg.*, San Antonio, TX. July 8-12. Abstract M206.

Bedford, M., and G. Patridge. 2010. *Enzymes in farm animal nutrition*. 2nd Edition. pp. 129–158.

Blas, C., y G. Mateos. 1991. *Nutrición y alimentación de gallinas ponedoras*. Editorial AEDOS. Edic. Mundi-prensa. Madrid-España pp. 115–143.

Cheon, Y., H. Lee, M. Shin, A. Jang, S. Lee, J. Lee, B. Lee, and C. Son. 2008. Effects of Corn Distiller's Dried Grains with Soluble on Production and Egg Quality in Laying Hens. *Asian-Aust. Journal Animal Science*. 21 (9): 1318–323.

Choct, M., R. Hughes, J. Eang, M. Bedford, A. Morgan, and G. Annison. 1995. Feed enzymes eliminate the anti-nutritive effect of non-starch polysaccharides and modify fermentation in broilers. *Proceedings of the Austria. Poultry science Symposium*. 7: 121–125.

Choct, M. 1997. Feed Non-Starch Polysaccharides: Chemical Structures and Nutritional Significance. *Feed Milling International*. 6: 13–26.

Choct, M. 2006. Enzymes for the feed industry: past, present and future. *World's Poultry Science Journal*. 62: 5–15.

Coata, F., C. Goulart, F. Figueiredo, S. Oliveira, and V. Silva. 2008. Economic and environmental impact of using exogenous enzymes on poultry feeding. *Poultry Science*. 7 (4): 311–314.

Cowieson, A. 2005. Factors that affect the nutritional value of maize for broilers. *Animal Feed Science and Technology*. 119: 293–305.

Cuca, G. M., E. Ávila. G, y A. Pró M. 2009. Alimentación de las aves. Universidad Autónoma Chapingo. pp. 1–154.

Deniz, G., H. Gencoglua, S. Gezena, I. Turkmena, A. Ormanb, and C. Karaa. 2012. Effects of feeding corn distiller's dried grains with solubles with and without enzyme cocktail supplementation to laying hens on performance, egg quality, selected manure parameters, and feed cost. *Livestock Science*. 152: 174–181.

El-Hack, M., M. Alagawany, V. Laudadio, R. Demauero, and V. Tufarelli. 2015. Dietary inclusion of raw faba bean instead of soybean meal and enzyme supplementation in laying hens: Effect on performance and egg quality. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 1–10.

FNDARFP. (Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario Rural, Forestal y Pesquero). 2015. Precio de Sorgo, Pasta de soya y Granos secos de destilería con solubles. [En línea]. Disponible en <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/PreciosLateral/PreciosHistoricosGCMA.pd> (revisado el 02 de Enero de 2015).

Gálik, B., and E. Horniaková. 2010. The effect of enzymatic additives on the productivity of laying hens ISA Brown. *Journal Central European Agriculture*. 11(4): 381–386.

Ghazalah, A., M. Abd-Elsamee, and E. Moustafa. 2011. Use of distillers dried grains with soluble (DDGS) as replacement for soybean meal in laying hen diets. *International Journal of Poultry Science*. 10: 505–513.

Jensen, L., C. Chang, and S. Wilson. 1978. Interior egg quality: improvement by distiller feed and trace elements. *Poultry Science*. 57: 648–654.

Keshavarz, K. 1995. Further Investigations on the Effect of Dietary Manipulations of Nutrients on Early Egg Weight. *Poultry Science*. 74: 62–74.

Khusheeba, M., and S. Maqsood. 2013. A review on role of exogenous enzyme supplementation in poultry production. *Journal of Food and Agriculture*. 25(1): 66–80.

Leeson, S., L. Caston, and J. D. Summers, 1991. Significance of physiological age of Leghorn pullets in terms of subsequent reproductive characteristics and economic analysis. *Poultry Science*. 70: 37–43.

Leeson, S., and L. Caston 1993. Does environmental temperatures influence body weight: shank length in leghorn pullets?. *Journal of Applied Poultry Research*. 2(3): 245–248.

Leeson, S., L. Caston, and P. Lewis. 2005. Rearing and Laying Performance Following Various Step-Down Lighting Regimens in the Rearing Period. *Poultry Science*. 84: 626–632.

Leeson, S., and J.D. Summers. 2005. Commercial poultry nutrition. 3th ed. University Books, Guelph, Ontario, Canadá. pp. 124–161.

Li, W., Q. Li, W. Powers, D. Karcher, R. Angel, and T. Applegate. 2014. Effects of distillers dried grains with solubles and mineral sources on gaseous emissions. *Journal Applied Poultry Research*. 23: 41–50.

Loar II R., M. Schilling, C. Mc Daniel, C. Coufal, S. Rogers, K. Karges, and A. Corzo A. 2010. Effect of dietary inclusion level of distillers dried grains with solubles on layer performance, egg characteristics, and consumer acceptability. *Journal Applied Poultry Research*. 19: 30–37.

Lumpkins, B., A. Batal, and N. Dale. 2005. Use of distillers dried grains plus solubles in laying hen diets. *Journal Applied Poultry Research*. 14: 25–31.

Masa'deh, M., E. Purdum, and J. Hanford. 2011. Dried distillers grains with solubles in laying hen diets. *Poultry Science*. 90: 1960–1966.

Mateos, G., R. Lázaro, y M. Gracia. 2002. Modificaciones nutricionales y problemática digestiva. XVIII Curso de especialización FEDNA. Barcelona, 4 y 5 de Noviembre .pp. 15–37.

Mirzaee, M., T. Mehran Torki, and H. Mahmood. 2014. Effects of wheat cultivar, metabolizable energy level, and xylanase supplementation to laying hens diet on performance, egg quality traits, and selected blood parameters. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 12(4): 1071–1081.

Mirzaie, S., M. Zaghari, S. Aminzadeh, M. Shivazad, and G. Mateos. 2012. Effects of wheat inclusion and xylanase supplementation of the diet on productive performance, nutrient retention, and endogenous intestinal enzyme activity of laying hens. *Poultry Science*. 91: 413–425.

NRC. (National Research Council). 1994. Nutrient requirements of poultry. National Academy of Sciences. Washington, National Academy Press 2101 Constitution Avenue, NW Washington, D.C. 20418, U.S.A.

Murakami, E., J. Fernandes, M. Sakamoto, L. de Souza, and A. Furlan. 2007. Effects of the enzyme complex supplementation on the performance and egg quality of laying hens. *Acta Scientiarum Animal Sciences*. 29(2): 165–172.

Niemiec, J., J. Riedel, T. Szulc, and M. Stępiński. 2013. Feeding corn distillers dried grains with solubles (ddgs) and its effect on egg quality and performance of laying hens. *Annals Animal Science*. 13(1): 97–107.

Noll, S., V. Stangeland, G. Speers, and J. Brannon. 2001. Distillers grains in poultry diets. 62 nd Minnesota Nutrition Conference and Minnesota Corn Growers Association Technical Symposium, Bloomington, MN. September pp. 11–12.

Novak, C., H. Yakout, and S. Scheideler. 2004. The Combined Effects of Dietary Lysine and Total Sulfur Amino Acid Level on Egg Production Parameters and Egg Components in Dekalb Delta Laying Hens. *Poultry Science*. 83: 977–984.

Pescatore, A., P. Rossi, A. Cantor, J. Pierce, T. Ao, I. Macalintal, M. Ford, W. King, and H. Gillespie. 2010. Effect of distillers dried grains with solubles and an enzyme supplement on performance and egg quality of brown egg layers. *Poultry Science*. 89:(Suppl) 367.

Pérez-Bonilla, A., S. Novoa, J. García, M. Mohiti-Asli, M. Frikha, and G. Mateos. 2012. Effects of energy concentration of the diet on productive performance and egg quality of brown egg-laying hens differing in initial body weight. *Poultry Science*. 91: 3156–3166.

Prochaska, J., J. Carey, D. Shafer. 1996. The effect of L-lysine intake on egg component yield and composition in laying hens. *Poultry Science*. 75(10): 1268–1277.

Ribeiro, P., Jr. Matos, L. Araújo, R. Albuquerque, and N. Baião. 2014. Effect of Dietary Energy Concentration on Performance Parameters and Egg Quality of White Leghorn Laying Hens. *Brazilian Journal of poultry science*. 16(4): 381–388.

Roberson, K., J. Kalbfleisch, W. Pan, and R. Charbeneau. 2005. Effect of Corn Distiller's Dried Grains with Solubles at Various Levels on Performance of Laying Hens and Egg Yolk Color. *Poultry Science*. 4: 44–51.

Roberts, S., K. Bregendahl, H. Xin, J. Kerr, and J. Russell. 2006. Including fiber in the diet of laying hens lowers ammonia emission. Iowa State University and USDA Poultry Science Day Report, A.S. Leaflet R2209. [En línea]. Disponible en <http://www.ddgs.umn.edu/articles-poultry/2006-Roberts%20Including%20fiber%20in%20the%20diet%20of> (revisado el 01 de junio de 2015).

Rochell, S., B. Kerr, and W. Dozier III. 2011. 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*. 90: 1999–2007.

Romero, C., M. Abdallah, W. Powers, R. Angel, and T. Applegate. 2012. Effect of dietary adipic acid and corn dried distiller's grains with solubles on laying hen performance and nitrogen loss from stored excreta with or without sodium bisulfate. *Poultry Science*. 91: 1149–1157.

SAS Institute. 1999. Statistical Analysis System. The SAS system for Window release 8.0. USA. pp.558.

Salvador, E., y V. Guevara. 2013. Desarrollo y validación de un modelo de predicción del requerimiento óptimo de aminoácidos esenciales y del comportamiento productivo en ponedoras comerciales. *Revista Inv Veterinaria Perú*. 24(3): 264–276.

Sauvant, D., and G. Tran. 2004. Corn distillers. Page 118 in Tables of composition and nutritional value of feed materials. D. Sauvant, J. M. Perez, and G. Tran, ed. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands.

Savón, L. 2002. Alimentos altos en fibra para especies monogástricas. Caracterización de la matriz fibrosa y sus efectos en la fisiología digestiva. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 36 (2): 91–102.

Spiehs, M., M. Whitney, and G. Shurson. 2002. Nutrient Database for Distiller's Dried Grains with Solubles Produced from New Ethanol Plants in Minnesota and South Dakota. *Journal of Animal Science*. 80: 2639–2645.

Stein, H., and G. Shurson. 2009. The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *Journal Animal Science*. 87: 1292–1303.

Steel, R., J. Torrie, and D. Dicker. 1988. *Bioestadística: Principios y Procedimientos*. 2a Edición. Ed. McGraw-Hill. México. pp. 622.

Sun, H. 2011. Effects of increasing concentrations of corn distiller's dried grains with solubles on the egg production, internal quality of eggs, chemical composition and nutrients content of egg yolk. Thesis Master of Science. Iowa State University.

Świątkiewicz, S., and J. Koreleski. 2006. Effect of maize distillers dried grains with solubles and dietary enzyme supplementation on the performance of laying hens. *Journal Animal Feed Science*. 15: 253–260.

Świątkiewicz, S., and J. Koreleski. 2007. Effect of dietary level of maize- and rye distiller dried grains with solubles on nutrient utilization and digesta viscosity in laying hens. *Journal Animal Feed Science*. 16: 668–677.

Świątkiewicz, S., and J. Koreleski. 2008. The use of distillers dried grains with soluble (DDGS) in poultry nutrition. *Poultry Science*. 64: 257–265.

Van Soest, P., J. Robertson, and B. Lewis. 1991. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Non starch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74: 3583–3597.

Waldroup, P., Z. Wang, C. Coto, S. Cerrate, and F. Yan. 2007. Development of a standardized nutrient matrix for corn distillers dried grains with soluble. *Poultry Science*. 6: 478–483.

Wen, C., L. Wang, Y. Zhou, Z. Jiang, and T. Wang. 2012. Effect of enzyme preparation on egg production, nutrient retention, digestive enzyme activities and pancreatic enzyme messenger RNA expression of late-phase laying hens. *Animal Feed Science and Technology*. 172: 180–186.

**CAPÍTULO IV. AFLATOXINA B1 EN HUEVO DE GALLINAS
BOVANS WHITE ALIMENTADAS CON GRANOS SECOS DE
DESTILERÍA Y SOLUBLES DE MAÍZ
(EXPERIMENTO 3)**

AFLATOXINA B1 EN HUEVO DE GALLINAS BOVANS WHITE ALIMENTADAS CON GRANOS SECOS DE DESTILERÍA Y SOLUBLES DE MAÍZ

Jennifer Pérez Martínez, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2016

RESUMEN

La aflatoxina B1 (AFB1) es la principal toxina que se encuentra en los ingredientes utilizados en la formulación de dietas para aves, entre los que están los granos secos de destilería con solubles de maíz (GSDS), éstos se aprovechan porque concentran tres veces los nutrimentos del maíz, pero una de las limitantes de su utilización es la posible concentración de altos niveles de micotoxinas, lo que causa un problema de gran importancia en la avicultura. El objetivo de la presente investigación fue analizar el contenido de AFB1 en una dieta con 32% de GSDS, así como determinar si los aluminosilicatos capturan la aflatoxina al no depositarse en el huevo. Se llevó a cabo un experimento con una duración de 29 semanas, se utilizaron 64 gallinas Bovans White de 46 semanas de edad, se incluyó a la dieta de las aves un capturante (CAP) de aluminosilicatos (GSSC: 32% de GSDS sin capturante y GSCC: 32% GSDS con capturante). Se determinó el contenido de AFB1 en las dietas y en el huevo de los tratamientos. El agua y alimento se ofrecieron *ad libitum*. Los resultados indicaron que el alimento del tratamiento GSSC tuvo 0.0012 ppm de AFB1, mientras que la dieta de los GSCC resultó en 0 ppm de AFB1; la aflatoxina sólo se encontró en el huevo del tratamiento GSSC. Se concluye que la dieta para gallinas con 32% de GSDS contiene AFB1, lo cual se puede contrarrestar en el alimento añadiendo un CAP a base de aluminosilicatos y evitar que se deposite en el huevo.

Palabras clave: toxina, aluminosilicatos, coproductos, cromatografía líquida.

AFLATOXIN B1 IN EGGS OF WHITE BOVANS HENS FED WITH MAIZE DRY DISTILLERS GRAINS WITH SOLUBLES

Jennifer Pérez Martínez, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2016

ABSTRAC

Aflatoxin B1 (AFB1) is the main toxin found in the ingredients used to formulate chicken feed, among which maize dry distillers grains with soluble (DDGS) are used. These are used because they concentrate threefold the nutrients in maize, but one limiting factor is the possible high level concentration of mycotoxins, which causes a highly important problem in aviculture. The objective of this study was to analyze the AFB1 content in a diet with 32% DDGS, as well as to determine if aluminosilicate capture the aflatoxin by not depositing on the egg. A 29-week long experiment was done using 64 White Bovans hens, 46 weeks old. An aluminosilicate capture agent (CAP) was included in the diet (DGNC: 32% DDGS without capture agent and DGWC: 32% DDGS with capture agent). The AFB1 content was determined in the diets and eggs of each treatment. Water and feed were offered *ad libitum*. The results indicate that the feed with the DGNC treatment had 0.0012 ppm AFB1, while the DGWC diet had 0 ppm AFB1. The aflatoxin was found only in the eggs from the DGNC treatment. We conclude that the chicken feed with 32% DDGS contains AFB1, which could be countered in the feed and avoided depositing on the eggs by adding an aluminosilicate based CAP.

Key words: toxin, aluminosilicates, co-products, liquid chromatography.

INTRODUCCIÓN

Las aflatoxinas son micotoxinas producidas como metabolito secundario por varias especies de hongos *Aspergillus*, principalmente *A. flavus* y *A. parasiticus* (Ito *et al.*, 2001; Wu, 2015); las principales aflatoxinas encontradas son B1, B2, G1 y G2 (Williams *et al.*, 2004), éstas pueden contaminar los granos de maíz, éste, es el principal ingrediente utilizado para la producción de etanol (Donner y Kucharik, 2008); durante el proceso de obtención de éste, se generan diversos coproductos de destilería, entre los que se encuentran los granos secos de destilería con solubles (GSDS), dichos granos se caracterizan por concentrar tres veces los nutrimentos presentes en el maíz, por lo cual, si éste llegara a estar contaminado con micotoxinas, éstas se concentrarán en los GSDS, además de que las micotoxinas también se pueden producir en los GSDS si se almacenan en condiciones de alta temperatura y humedad.

De las cuatro aflatoxinas mencionadas, la AFB1 es la más tóxica, al tener efectos mutagénicos, teratogénicos y carcinogénicos (Squire, 1981). Debido a la naturaleza cancerígena de las aflatoxinas, se limita el contenido máximo permitido de éstas en los granos y alimentos para animales (Edmon y Jonker, 2005). Las aflatoxinas consumidas por los animales a través de los alimentos se depositan en los órganos, y se pueden transmitir a la leche y huevo; en las aves, la AFB1 se absorbe vía tracto gastrointestinal dentro del sistema portal sanguíneo y llega al hígado donde se metaboliza. Una porción se activa y se fija en los tejidos hepáticos, algunos metabolitos conjugados y no conjugados se transfieren al sistema circulatorio para pasar al huevo (Jacobson y Wiseman, 1974; Calnek *et al.*, 1997), además de almacenarse en los órganos de las aves (Bahrami, 2004; Díaz *et al.*, 2014), lo que provoca trastornos renales, estrogénicos, gastrointestinales y mutagénicos; además se inhibe la biosíntesis de proteínas, lo que suprime el sistema inmune y disminuye la resistencia a enfermedades infecciosas (Andretta *et al.*, 2011; Marin *et al.*, 2013), por lo que una herramienta para combatir las aflatoxinas en los alimentos para las aves puede ser el uso de capturantes de micotoxinas (Rawal *et al.*, 2010; El Miniawy *et al.*, 2014). Éstos consisten en arcillas de aluminio y silicio combinados con otros minerales en arreglos tridimensionales, los cuales forman estructuras con amplia superficie de contacto y porosidad, denominadas aluminosilicatos, que han demostrado tener alta afinidad por la AFB1 (Phillips *et al.*, 1988; Vekiru *et al.*, 2015). Por tal motivo, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el contenido de AFB1 en una dieta para gallinas con 32% de GSDS, con y sin capturante, y además determinar si la aflatoxina se transmite al huevo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el Colegio de Postgraduados campus Montecillo, Texcoco, México. Se utilizaron 64 gallinas Bovans White, de 46 a 75 semanas de edad, se asignaron aleatoriamente en dos tratamientos, con cuatro repeticiones, con ocho gallinas cada una, se alojaron dos aves por jaula de 30 x 45 cm, con comederos lineales y bebederos automáticos en una caseta convencional. La iluminación se ajustó a 16 ½ h luz d⁻¹, con luz artificial.

Las dietas fueron isoenergéticas e isoprotéicas con base en sorgo - pasta de soya (Cuadro 1); se cubrieron los requerimientos para gallinas ponedoras (NRC, 1994 y Cuca *et al.*, 2009); se variaron los niveles de sorgo y pasta de soya para obtener el nivel de GSDS de 32%; se incluyó en la dieta de las aves un captuante (CAP, 250 g por cada 100 kg) de aflatoxinas a base de aluminosilicatos, según el tratamiento (GSSC: 32% GSDS sin CAP y GSCC: 32% GSDS con CAP). El agua y alimento se ofrecieron *ad libitum*.

El alimento se almacenó durante el periodo de experimento en sacos cerrados, colocados en tarimas de madera para evitar que con la humedad del piso proliferaran hongos y consecuentemente se generaran aflatoxinas.

Cuadro 1. Composición de las dietas para alimentar gallinas Bovans White (%) en la etapa de postura (46-75 semanas de edad).

Ingrediente	GSSC	GSCC
CAP ¹	Sin	con
GSDS (28% PC)	32.00	32.00
Sorgo (8% PC)	47.37	47.37
Pasta de Soya (47% PC)	6.56	6.56
Aceite crudo de soya	1.99	1.99
DL-metionina (99%) ²	0.30	0.30
L-lisina (54.6%) ²	0.38	0.38
L-treonina (98.5%) ²	0.13	0.13
L-triptófano (99%) ²	0.04	0.04
CaCO ₃ (38%) ³	10.37	10.37
Fosfato dicálcico (18/21) ⁴	0.06	0.06
Vitaminas y minerales ⁵	0.30	0.30
Pigmento	0.15	0.15
Sal	0.35	0.35
Alimento (\$ kg ⁻¹) ⁶	3.72	3.73
Análisis calculado		
Energía Metabolizable (kcal ⁻¹ kg)	2750	2750
Proteína cruda (%)	16.50	16.50
Calcio (%)	4.00	4.00
Fósforo disponible (%)	0.25	0.25
Lisina (%)	0.77	0.77
Metionina+Cistina (%)	0.78	0.78
Triptófano (%)	0.18	0.18
Treonina (%)	0.61	0.61
Nutrimento analizado		
Proteína cruda (%)	16.98	17.44

¹CAP, capturante de aflatoxinas a base de aluminosilicatos, 250 g/100kg de alimento, marca Anglo Corp.

²Porcentaje de pureza.

³38%= calcio.

⁴18%=fósforo y 21%= calcio.

⁵Aporta por kilogramo de alimento: vitamina A, 9000 UI; vitamina D₃, 2500 UI; vitamina E, 20 UI; vitamina K, 3.0 mg; vitamina B₂, 8.0 mg; vitamina B₁₂, 0.015 mg; ácido pantoténico, 10 mg; ácido nicótico, 60 mg; niacina, 40 mg; ácido fólico, 0.5 mg; colina (cloruro de colina), 300 mg; D-biotina, 0.055 mg; tiamina, 2.0 mg; hierro, 65.0 mg; zinc, 100 mg; manganeso, 100 mg; cobre, 9.0 mg; selenio, 0.3 mg; yodo, 0.9 mg.

⁶El costo de las dietas se calculó de acuerdo con el precio medio de mercado en septiembre de 2014 en México. PC, proteína cruda.

GSSC: 32% GSDS, sin capturante; GSCC: 32 % GSDS, con capturante, 250 g/100kg de alimento.

Durante la crianza las aves se vacunaron contra marek, newcastle, viruela, gumboro, bronquitis, encefalomiелitis y coriza infecciosa.

Para obtener el costo de la dieta se multiplicó la cantidad de ingredientes por su precio (Cuadro 2).

Cuadro 2. Costo por kg de ingrediente de la dieta.

Ingrediente	Costo \$ kg	Ingrediente	Costo \$ kg
Sorgo	2.45	L-Triptófano	150.00
Pasta de soya	5.99	CaCO ₃	2.00
Aceite crudo de soya	16.00	Fosfato dicálcico	12.00
Granos secos de destilería	3.09	Vitaminas y minerales	65.00
DL-Metionina	65.00	Sal	4.80
L-Lisina	28.00	CAP	5.00
L-Treonina	48.00		

Costo de los granos septiembre 2014 (FNDARFP, 2015).

Costo de US dolar \$13.22, septiembre de 2014.

Determinación de AFB1 en alimento

En una mezcladora vertical se elaboraron 600 kg de alimento por tratamiento, al momento del llenado de los sacos se recolectaron 15 muestras de 340 g por cada 40 kg aproximadamente, para obtener una muestra de cinco kg y así determinar el contenido de AFB1 en el alimento.

Las dos muestras de cinco kg se tamizaron en una malla de número 16 (1.19 mm), después se dividieron por el método de cuarteo (Figura 1) y se obtuvieron 15 submuestras de 50 g cada una, posteriormente se mezclaron las submuestras 3, 8 y 13 y de nuevo por cuarteo se tomaron 50 g para el análisis. Este submuestreo tuvo la finalidad de homogeneizar la muestra de tal manera que si existe contaminación en ésta, pudiera detectarse en el análisis.

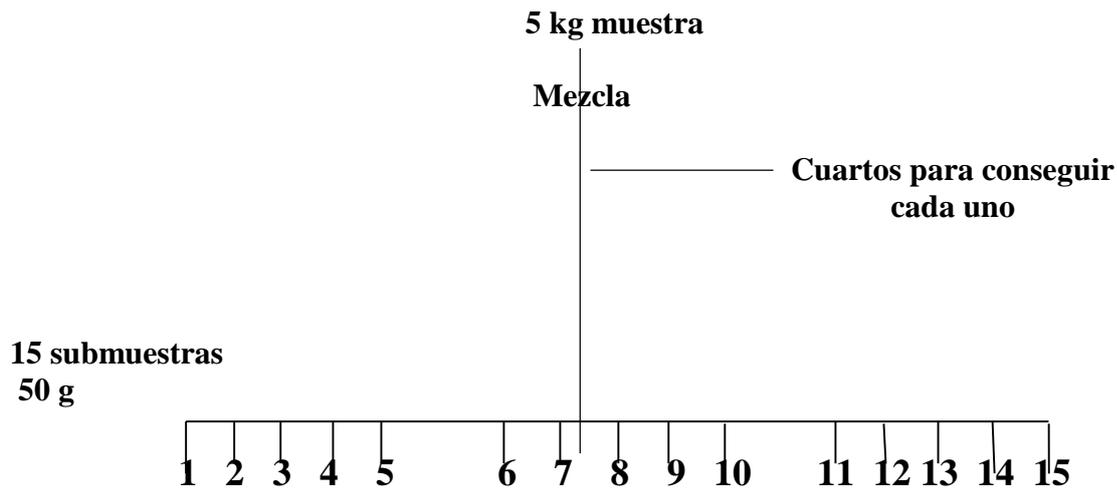


Figura 1. Esquema de la obtención de las submuestras del alimento para gallinas Bovans White en postura.

La extracción de AFB1 de las dietas, se realizó por el método #1 de la (AOAC, 2002) modificado por Guzmán de Peña *et al.* (1995), los extractos obtenidos se cuantificaron por cromatografía líquida de alta presión en el Agilent 1200 (Anexo A).

Determinación de AFB1 en huevo

En la semana 75 del experimento, se recolectaron 20 huevos por repetición, durante tres días consecutivos, y éstos se dividieron en dos grupos de 10 piezas para obtener dos muestras por repetición. Posteriormente se determinó el contenido de aflatoxinas en huevo, para lo cual se extrajo del cascarón la clara y la yema, midiendo su volumen en una probeta graduada, enseguida éstos se mezclaron durante 30 s con una batidora a velocidad media para no formar espuma. Los instrumentos utilizados se enjuagaron después de cada repetición para evitar contaminación cruzada. De cada repetición se tomaron 100 ml de huevo para la determinación de AFB1. El análisis se realizó de acuerdo al método oficial 978.15 de la AOAC (2005). Después del procedimiento se obtuvieron 1.5 ml de extractos de cada repetición, y se cuantificaron por cromatografía líquida de alta presión en el Agilent 1200, para su determinación (Anexo B).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de AFB1 en la dieta

En el Cuadro 3 se muestra el contenido de AFB1 en el alimento de ambos tratamientos, los resultados indicaron que la dieta GSSC tenía 0.0012 ppm de AFB1, mientras que el tratamiento GSCC tuvo 0.00 ppm de AFB1; lo que sugiere que la inclusión del capturante en el alimento ayudó a eliminar la AFB1 en la dieta de las aves. En México la Norma Oficial NOM-SSA1-188-2002 y en Estados Unidos la FDA (2011), establecen que el límite es 0.02 ppm de aflatoxinas en los alimentos de origen animal, mientras que la Comisión Europea (2003) recomienda un nivel de 0.005 ppm de aflatoxinas, por lo que la dieta que contenía 32 % de GSDS sin el CAP, se encontraba dentro de los límites de las normas. Las micotoxicosis en las aves causan daños en las mucosas de las membranas, son inmunosupresivas ya que inhiben la fagocitosis y la síntesis de proteína, interrumpiendo la síntesis de ADN y ARN en el ribosoma (Andretta *et al.*, 2011; Gimeno y Martins, 2011; Yunus *et al.*, 2011), lo que daña diversos órganos como hígado, riñón y cerebro (Trucksess *et al.*, 1983; Oliveira *et al.*, 2000), tracto digestivo y los sistemas nervioso y circulatorio (Del Bianchi *et al.*, 2005), lo que provoca disminución del apetito, crecimiento lento, conversiones alimenticias pobres, disminución de la producción de huevo, tamaño de huevo y mortalidad (Verma *et al.*, 2003; Amirkhizi *et al.*, 2015).

Cuadro 3. Contenido de AFB1 en la dieta de gallinas Bovans White ¹.

Tratamiento	Peso de muestra (g)	AFB1 (ppm)
GSSC	50	0.0012
GSCC	50	0.00

AFB1, aflatoxina B1.

GSSC: 32% GSDS, sin capturante; GSCC: 32% GSDS, con capturante, 250 g/100kg de alimento.

¹Las concentraciones encontradas reflejan el nivel de contaminación de las muestras en el momento del análisis y no reflejan concentraciones futuras.

Contenido de AFB1 en huevo

Los serios efectos que las micotoxinas pueden tener en los seres humanos y los animales (cancerígenas, teratogénicas y mutagénicas, hepatotóxicas e inmunosupresivas, afectando al hígado, riñón y cerebro), han llevado a la OMS en los últimos años a fijar reglamentos sobre

éstas en los alimentos y en las raciones como forma de proteger la salud humana (FAO, 2004). En el Cuadro 4, se muestra que en el tratamiento GSSC se encontraron concentraciones de AFB1 en el huevo (0.0027 y 0.0961 huevo/ppm, en dos muestras de 40 huevos cada muestra), donde debió haber una absorción intestinal de toxinas que atravesaron el lumen del intestino delgado, pasaron al torrente sanguíneo y posteriormente se depositaron en el huevo (Ramos y Hernández, 1996; Siloto *et al.*, 2011). Al no adicionarse el CAP a la dieta de las aves cuando ésta contenía 32% de GSDS, el contenido de AFB1 permitido en los alimentos para consumo humano se rebasó en una de las muestras ya que la FAO (2004) recomienda un límite de 0.002 ppm a 0.005ppm.

Mientras que en el tratamiento GSCC, el capturante ayudó a que no se detectaran en el huevo residuos de AFB1 con 0.00 huevo/ppm, ya que el capturante de aflatoxinas tiene afinidad por la AFB1, lo que se atribuye a la actividad de adsorción de los aluminosilicatos (Phillips *et al.*, 1988; Pimpukdee *et al.*, 2004). Lo que concuerda con Soliman *et al.* (2008) quienes al agregar aluminosilicatos a la dieta de las aves, con concentraciones de AFB1 de 2.5 y 5 ppm, no encontraron residuos de AFB1 en el huevo.

En una investigación realizada por Jacobson y Wiseman (1974) incorporaron a la dieta de gallinas 0.1, 0.2 y 0.4 ppm AFB1 y ésta se depositó en el huevo de 0.009 a 0.017, 0.010 a 0.088 y 0.021 a 0.175 ppm respectivamente. Mientras que Oliveira *et al.* (2000) no encontraron residuos en huevo al adicionar 0.1 y 0.3 ppm de AFB1 en la dieta, sin embargo, al aumentar a 0.5 ppm de AFB1 se depositaron 0.00005 a 0.00016 ppm en el huevo. Salwa y Anwer (2009) alimentaron a gallinas con una dieta que contenía 0.025, 0.050 y 0.1 ppm de AFB1, y hallaron residuos en el huevo de 0.00003–0.00005, 0.00003–0.00007 y 0.00006–0.00009 ppm de AFB1 respectivamente, los resultados de las investigaciones mencionadas indican que la AFB1 no siempre se deposita en las mismas cantidades, y puede depender del tiempo de exposición, concentración de ésta, de la cantidad que se almacena en los órganos y de lo que se elimine a través de la excreta de las aves (Bintvihok *et al.*, 2002; Rizzi *et al.*, 2003; Rauber *et al.*, 2007).

Cuadro 4. Contenido de AFB1 en huevo de gallinas Bovans White alimentadas con granos secos de destilería con solubles.

Tratamiento	N° huevos	Volumen total de huevo (ml)	AFB1 en huevo muestra 1 (ppm)	N° huevos	Volumen total de huevo (ml)	AFB1 en huevo muestra 2 (ppm)
GSSC						
R1	10	550	0.0385	10	550	0.00
R2	10	550	0.0258	10	550	3.836
R3	10	590	0.0271	10	590	0.00
R4	10	550	0.0157	10	550	0.0082
Total AFB1 10 huevos (ppm)			0.027			0.961
Total AFB1 1 huevo (ppm)			0.0027			0.0961
GSCC						
R1	10	550	0.00	10	600	0.00
R2	10	550	0.00	10	550	0.00
R3	10	520	0.00	10	500	0.00
R4	10	530	0.00	10	550	0.00
Total AFB1 10 huevos (ppm)			0.00			0.00
Total AFB1 1 huevo (ppm)			0.00			0.00

GSSC: 32% GSDS, sin capturante; GSCC: 32% GSDS, con capturante, 250 g/100kg de alimento; R1, R2, R3, R4: repeticiones.

GSDS, granos secos de destilería con solubles; AFB1, aflatoxina B1.

CONCLUSIONES

- Cuando se utiliza en la dieta de las aves concentraciones de 32% de granos secos de destilería con solubles, será importante el uso de un capturante de aflatoxinas para prevenir que éstas se depositen en el huevo.

Implicaciones

Se deben realizar futuras investigaciones que ayuden a aclarar el contenido de aflatoxina B1 en los granos secos de destilería, la cantidad que pasa el huevo y la eficacia de los capturantes de aflatoxinas, ya que la aflatoxina B1 se considera uno de los más poderosos carcinógenos naturales.

LITERATURA CITADA

Amirkhizi, B., M. Nemati, S. Arefhosseini, and M. Ansarin. 2015. Aflatoxin B1 in eggs and chicken livers by dispersive liquid-liquid microextraction and HPLC. *Food Additives and Contaminants: Part B*. Accepted Manuscript. pp.7.

Andretta, I., M. Kipper, C. Lehnen, L. Hauschild, M. Vale, and P. Lovatto. 2011. Meta-analytical study of productive and nutritional interactions of mycotoxins in broilers. *Poultry Science*. 90: 1934–1940.

AOAC. (Association of Official Analytical Chemists). 2002. *Official Methods of Analysis of the AOAC*. 17th. Ed. Revisión #1 AOAC.

AOAC. (Association of Official Analytical Chemists). 2005. *Official Methods of Analysis of the AOAC*. 18th. Ed. Chapter 49. AOAC Method 978.15.

Bahrami, A. 2004. Distribution of aflatoxin B1 from poultry feed to different tissue of broilers in tropical weather. *Animal health a breakpoint in economic development*. 11th Int. Conf. Assoc. Inst. for Tropical Veterinary Medicine and 16th Veterinary Association Malaysia Congress. Petaling Jaya. Aug. 23–27. 2004.

Bintvihok, A., S. Thiengnin, K. Doi, and S. Kumagai. 2002. Residues of aflatoxins in the liver, muscle and eggs of domestic fowls. *The Journal of Veterinary Medical Science*. 64: 1037–1039.

Calnek, B., H. Barnes, C. Beard, L. Mc. Dougald, and Y. Saif. 1997. *Diseases of Poultry*. 9th ed. Board for the Am. Assoc. Avian Pathology, Ames, IA.

European Commission. 2003. Mycotoxins. In: *Opinion of the Scientific Committee on Animal Nutrition on Undesirable Substances in Feed* (adopted on 20 February 2003). Brucella, Belgium, pp. 1–24.

Cuca, G. M., E. Ávila. G., y A. Pró M. 2009. *Alimentación de las aves*. Universidad Autónoma Chapingo. pp. 1–154.

Del Bianchi, M., C. Oliveira, R. Albuquerque, J. Guerra, and B. Correa. 2005. Effects of prolonged oral administration of aflatoxin B1 and fumonisin B1 in broiler chickens. *Poultry Science*. 84: 1835–1840.

Díaz, M., M. Carvajal, I. Méndez, N. Chilpa, E. Ávila, and C. Flores. 2014. Aflatoxins, hydroxylated metabolites, and aflatoxicol from breast muscle of laying hens. *Poultry Science*. 93: 3152–3162.

Donner, S., and C. Kucharik. 2008. Corn-Based Ethanol Production Comprises Goal of Reducing Nitrogen Export by the Mississippi River, *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 18(105): 4513–4518.

Edmond, H., and M. Jonker. 2005. *Worldwide Regulations on Aflatoxins*. In: H. K. Abbas, Ed., *Aflatoxin and Food Safety*, Taylor and Francis, Boca Raton. pp. 77–93.

El Miniawy, H., K. Ahmed, A. El-Sanousi, and M. Khattab. 2014. Effect of aflatoxin induced immunosuppression on pathogenesis of H9N2 avian influenza virus. *Pakistan Veterinary Journal*. 34: 234–238.

FAO. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2004. Reglamentos a nivel mundial para las micotoxinas en los alimentos y en las raciones en el año 2003. [En línea]. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-y5499s.pdf> (revisado el 27 de Junio de 2015).

FDA. (Food and Drug Administration). 2011. Regulatory Guidance for Mycotoxins A Guide for Grain Elevators, Feed Manufacturers, Grain Processors and Exporters by National Grain and Feed Association.

FNDARFP. (Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario Rural, Forestal y Pesquero). 2015. Precio de Sorgo, Pasta de soya y Granos secos de destilería con solubles. [En línea]. Disponible en <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/PreciosLateral/PreciosHistoricosGCMA.pd> (revisado el 02 de Enero de 2015).

Gimeno, A., y M. Martins. 2011. Micotoxinas y Micotixicosis en animales y humanos. 3ra edición. Special Nutrients, INC. USA. pp. 30–48.

Guzmán de Peña, D., G. Anguiano, and J. Medina. 1995. Modification of the method 1 AOAC (CB-method) for the detection of aflatoxins. *Environmental contamination and toxicology*. 49: 485–489.

Ito, Y., S. Peterson, D. Wicklow, and T. Goto. 2001. *Aspergillus pseudotamarii*, a new aflatoxin producing species in *Aspergillus* section *Flavi*. *Mycological Research*. 105: 233–239.

Jacobson, W., and H. Wiseman. 1974. The transmission of aflatoxin B1 into eggs. *Poultry Science*. 53: 1743–1745.

Marin, S., A. Ramos, G. Cano-Sancho, and V. Sanchis. 2013. Mycotoxins: occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food and Chemical Toxicology*. 60: 218–237.

NRC. (National Research Council). 1994. Nutrient requirements of poultry. National Academy of Sciences. Washington, National Academy Press 2101 Constitution Avenue, NW Washington, D.C. 20418, U.S.A.

NORMA Oficial Mexicana NOM-188-SSA1-2002. Productos y Servicios. Control de aflatoxinas en cereales para consumo humano y animal. Especificaciones sanitarias. [En línea]. Disponible en http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/188ssa_12.html (revisado el 04 de junio de 2015).

Oliveira, C., E. Kobashigawa, T. Reis, L. Mestieri, R. Albuquerque, and L. Correa. 2000. Aflatoxin B1 residues in eggs of laying hens fed a diet containing different levels of the mycotoxin. *Food Additives and Contaminants*. 17(6): 459–462.

Phillips, T., L. Kubena, R. Harvey, D. Taylor, and N. Heidelbaugh. 1988. Hydrated Sodium Calcium Aluminosilicate: A High Affinity Sorbent for Aflatoxin. *Poultry Science*. 67: 243–247.

Pimpukdee, K., L. Kubena, C. Bailey, H. Huebner, E. Afriyie-Gyawu, and T. Phillips. 2004. "Aflatoxin-induced Toxicity and Depletion of Hepatic Vitamin A in Young Broiler Chicks : Protection of Chicks in the Presence of Low Levels of Novasil Plus in the Diet." *Poultry Science*. 83: 737–744.

Ramos, A., and E. Hernández. 1996. In situ absorption of aflatoxins in rat small intestine. *Mycopathologia*. 134: 27–30.

Rauber, R., P. Dilkin, L. Giacomini, C. Araujo de Almeida, and C. Mallmann, 2007. Performance of Turkey Poults Fed Different Doses of Aflatoxins in the Diet. *Poultry Science*. 86: 1620–1624.

Rawal, S., J. Kim, and R. Coulombe Jr. 2010. Aflatoxin B1 in poultry: toxicology, metabolism and prevention. *Research in Veterinary Science*. 89: 325–331.

Rizzi, L., M. Simioli, P. Roncada, and A. Zaghini, 2003. Aflatoxin B1 and Clinoptilolite in feed for laying hens: Effects on egg quality, mycotoxin residues in livers and hepatic mixed-function oxygenase activities. *Journal Food Protection*. 66: 860–865.

Salwa, A., and W. Anwer. 2009. Effect of Naturally Contaminated Feed with Aflatoxins on Performance of Laying Hens and the Carryover of Aflatoxin B Residues in Table Eggs. *Pakistan Journal of Nutrition*. 8(2): 181–186.

Siloto, E., D. Sartori, E. Oliveira, J. Sartori, V. Fascina, and D. Berto. 2011. Performance and egg quality of laying hens fed diets containing aflatoxin, fumonisin and adsorbent. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 13(1): 21–28.

Soliman, E., A. Hanan, Tag El-Din, and S. Abeer. 2008. Effect of hydrated sodium calcium aluminosilicate on egg quality and serum biochemical parameters in table-egg Layers fed on aflatoxin contaminated ration. *Egyptian Journal of Comparative Pathology and Clinical Pathology*. 21(4): 258–282.

Squire, R. 1981. Rating Animal Carcinogens. A Proposed Regulatory Approach *Science*. 214(4523): 877–880.

Trucksess, M., L. Stoloff, K. Young, R. Wyatt, and B. Miller. 1983. Aflatoxicol and aflatoxins B1 and M1 in eggs and tissues of laying hens consuming aflatoxin-contaminated feed. *Poultry Science*. 62: 2176–2182.

Vekiru, E., S. Fruhauf, I. Rodrigues, F. Ottner, R. Krska, G. Schatzmayr, D. Ledoux, G. Rottinghaus, and A. Bermudez. 2015. In vitro binding assessment and in vivo efficacy of several adsorbents against aflatoxin B1 E. *World Mycotoxin Journal*. 1–12.

Verma, J., T. Johri, B. Swain, and S. Ameena. 2003. Effect of varying levels of aflatoxin, ochratoxin and their combinations on the performance and egg quality characteristics in laying hens. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*. 16: 1015–1019.

Williams, J., T. Phillips, P. Jolly, J. Stiles, C. Jolly, and D. Aggarwal. 2004. Human aflatoxicosis in developing countries: a review of toxicology, exposure, potential health consequences, and interventions. *American Journal of Clinical Nutrition*. 80: 1106–1122.

Wu, E. 2015. Global impacts of aflatoxin in maize: trade and human health. *World Mycotoxin Journal*. 8(2): 137–142.

Yunus, A., E. Razzazi-Fazeli, and J. Bohm. 2011. Aflatoxin B1 in affecting broiler's performance, immunity, and gastrointestinal tract: A review of history and contemporary issues. *Toxins*. 3: 566–590.