

Glutación sanguíneo en gallinas ponedoras que consumieron diferentes pigmentos naturales y sudanes*

Miriam López Carmona*
Alma E. Rocha Hernández***
Martha Zentella de Piña**
Ernesto Ávila González***
José Mauro Arrieta Acevedo***

Abstract

The aims of this work were to measure the total blood glutathione (TG), reduced glutathione (GSH), and the oxidized glutathione (GSSG) pool; as well as the egg yolk color of 180, 59 week old Dekalb Delta Leghorn hens. Birds were randomly assigned to 15 groups of 12 hens each and housed in cages. Experimental treatments by triplicate were as follows: I. no pigment added; II. 9 ppm natural yellow xanthophylles (nyx) from the Aztec marigold flower; III. 9 ppm nyx + 4 ppm natural red xanthophylles (nrx) from capsicum fruit; IV. 9 ppm nrx + 2 ppm synthetic red xanthophylles, also called cantaxantines, and V. 9 ppm nyx + 4 ppm red Sudan. Treatments were fed during 8 weeks. Weekly spectrophotometer blood TG and high performance liquid chromatography (HPLC) blood GSH and GSSG measurements were performed. Total produced eggs were analyzed for yolk color by the Roche colorimetric fan and colorimetry reflectancy means. No significant ($P > 0.05$) differences were found in hens' productive performance including: feed intake, egg production and feed conversion norm egg weight. The egg yolk color fan was: 1, 3.8, 10.4, 10.7 and 13.9 for Groups I, III, IV and V, respectively. A significant ($P < 0.05$) difference was found in group I blood TG ($1.19 \mu\text{moles/ml}$) when compared to Groups II, III, IV and V 2.37, 1.95, 2.11 and 2.55 $\mu\text{moles/ml}$ respectively in the first week of the experiment. Blood GSSG was significantly higher in Groups I and IV (10 and 12 nmoles/ml, respectively) when compared to Groups II and III (7 and 9 nmoles/ml, respectively) and highly different to group V (5 nmoles/ml). No differences were found in GSH among the treatments. It is concluded that the main amount of the ingested red Sudan is eliminated through the egg yolk. No clear relationship between the use of different pigments and the changes in blood glutathione levels was found.

Key words: GLUTATHIONE, PIGMENTS, YOLK, LAYERS.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue medir la reserva de glutación total (GT), glutación reducido (GSH) y de glutación oxidado (GSSG) sanguíneos, así como el color de la yema de huevo en gallinas tipo Leghorn (Dekalb Delta) de 59 semanas de edad. Los tratamientos por triplicado que se administraron durante 8 semanas fueron: Grupo I, alimento sin pigmento; grupo II, nueve ppm de xantofilas naturales amarillas (xna) de la flor de cempasuchil; grupo III, nueve ppm de xna + 4 ppm de xantofilas naturales rojas (xnr)

Recibido el 9 de septiembre de 1997 y aceptado el 12 de junio de 1998.

* Parte de este trabajo corresponde a la tesis de licenciatura de la primera autora.

** Departamento de Bioquímica, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México, D.F.

*** Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPA), Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México, D.F.

de los frutos de cápsicum; grupo IV, nueve ppm de xnr + 2 ppm de xantofilas sintéticas rojas (xsr); y grupo V, nueve ppm de xna + 9 ppm de sudanes rojos. Las aves fueron asignadas al azar a 15 grupos con 12 gallinas cada uno, alojadas en jaula. Semanalmente se midió el GT mediante espectrometría, y sólo en la semana 8 el GSH y el GSSG mediante cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC). La coloración de la yema de huevo se midió en el total de huevos producidos el día 35 de experimentación mediante un abanico colorimétrico y con un colorímetro de reflectancia. El color obtenido con el abanico Roche fue de: 1.0, 3.8, 10.4, 10.7 y 13.9 para los cinco grupos, respectivamente. No se observaron diferencias ($P > 0.05$) en los parámetros productivos: consumo de alimento/ave/día, porcentaje de postura, conversión alimenticia y peso del huevo. Se observó diferencia significativa ($P < 0.05$) en el GT sanguíneo del grupo I (1.19 $\mu\text{mol}/\text{ml}$), respecto del resto de los grupos (2.37, 1.95, 2.11 y 2.55 $\mu\text{mol}/\text{ml}$, respectivamente) en la primera semana de experimentación. En la semana 8, el GSSG sanguíneo fue significativamente mayor en los grupos I y IV (10 y 12 nmol/ml), comparado con los grupos II y III (7 y 9 nmol/ml, respectivamente), y altamente significativo ($P < 0.01$) respecto del grupo V (5 nmol/ml). En GSH no hubo diferencias entre tratamientos. Se concluye que el sudan se elimina a través de la yema de huevo y que no existió una relación clara entre los cambios en los niveles de glutatión y el consumo de algunos pigmentos en gallinas ponedoras.

Palabras clave: GLUTATIÓN, PIGMENTOS, PONEDORAS, HUEVO.

Introducción

En México la pigmentación es un aspecto importante para la comercialización de algunos productos avícolas, fundamentalmente porque amplios sectores de consumidores asocian la tonalidad naranja en la piel del pollo y la yema del huevo con la calidad de los mismos.^{1,2,3,4} Por esta razón, es común que en las dietas que se formulan para pollos de engorda y gallinas ponedoras se incluyan fuentes naturales de pigmentos como el maíz amarillo, gluten de maíz amarillo, harina de alfalfa, extractos de xantofilas de flor de campasuchil y de chiles, así como pigmentos sintéticos.^{5,9}

Desafortunadamente la necesidad de reducir los costos de alimentación en la avicultura, ha favorecido la utilización de sustancias pigmentantes muy baratas como los sudanes rojos, que a diferencia de las inocuas xantofilas, representan un riesgo para la salud de quien los consume.^{8,9,10}

La Ley General de Salud en México, en su artículo 621, dice: "Se prohíbe el expendio de huevo que provenga de aves en cuyo alimento se hayan adicionado colorantes de los denominados sudanes".¹¹ No obstante, en una investigación realizada durante 1993, por el Comité Técnico de Normalización Nacional de Alimentos Balanceados, de la Cámara Nacional de la Industria de la Transformación (Canacintra), se identificó que aproximadamente el 45% de los huevos producidos en el país, resultaron positivos al uso de colorantes azoicos (sudanes) no permitidos. Los sudanes se metabolizan y almacenan en el hígado y se transforman en productos carcinogénicos, son liposolubles y tienen efectos aditivos y nocivos a largo plazo.^{12,13}

Aunque en general se ha visto que la adición de xantofilas al alimento de las aves, no modifica el comportamiento productivo de las mismas, a nivel

experimental se le ha encontrado a estos compuestos, cierta capacidad para limitar el daño oxidativo en las membranas celulares.^{14,15,16} Además, algunos estudios epidemiológicos sugieren que las xantofilas, como componentes dietarios, tienden a reducir la incidencia de algunos tipos de cáncer, probablemente por tener acción contra los radicales oxhidrilo y los derivados de la peroxidación de los fosfolípidos, los cuales están involucrados con el citado padecimiento.^{17,18}

Por otra parte el glutatión es un tripéptido simple, presente en todas las células eucarióticas, y se le conocen múltiples funciones que incluyen, entre otras, la defensa antioxidante,^{19,20} la detoxificación de xenobióticos electrofilicos, la regulación de la proliferación celular,²¹ la participación en la síntesis de desoxirribonucleótidos y en la homeostasis del calcio,^{21,22} la regulación de la respuesta inmune, así como del metabolismo de prostaglandinas y leucotrienos.^{23,24}

El glutatión puede encontrarse en forma reducida (GSH) que es hidrosoluble, y en forma oxidada (GSSG), insoluble en agua; la suma de GSH más GSSG se conoce como glutatión total (GT). El GSH es sintetizado principalmente en el hígado y de ahí es distribuido a diferentes órganos a través de la sangre, siendo eliminado del organismo por las vías renal o biliar.^{19, 25, 26} Durante el curso de su actividad antioxidante, el GSH es oxidado a GSSG. Asimismo, el GSSG es reducido a GSH (recobrando así su capacidad antioxidante) por la enzima glutatión reductasa, que se localiza a nivel de la matriz mitocondrial y del citosol, pero no a nivel sanguíneo. El GSSG tiende a escapar de la célula cuando el mecanismo que lo convierte a GSH es rebasado, de modo que esta situación tenderá a elevar los niveles del GSSG en plasma y a reducir los de GSH y GT a nivel celular.^{21,25}

Una de las principales rutas de utilización del GSH, es el metabolismo de compuestos tóxicos, como algunos

fármacos y contaminantes. La glutatión transferasa es la enzima que cataliza la reacción entre el grupo sulfidrilo (SH) del GSH y los agentes potencialmente alquilantes; de esta forma, neutraliza sus sitios electrofílicos y genera compuestos más hidrosolubles, lo que facilita su excreción (esto implica también la excreción del GSH que lógicamente tenderá a disminuir su concentración a nivel tisular y a nivel sérico). Varios estudios en animales han mostrado que los niveles extracelulares de GSH (incluyendo los plasmáticos y los del lumen intestinal), son importantes en la protección contra la toxicidad química; de hecho se ha considerado que los niveles de glutatión sanguíneo son un indicador del estado de salud en los animales y el hombre.^{25,27}

Con base en estos antecedentes, se planteó el presente estudio para saber si la adición de diferentes sustancias pigmentantes (xantofilas y sudan rojo) de uso común en las dietas para gallinas ponedoras, tiene efecto sobre las reservas sanguíneas de glutatión en este tipo de aves, de modo que se pueda contar con información que ayude a fundamentar, por una parte, la posible actividad antioxidante de las xantofilas, y, por otra, la toxicidad de los sudanes.

Material y métodos

El presente estudio de llevó a cabo en las instalaciones del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPA) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad Nacional Autónoma de México, ubicado a 2250 msnm, y situado entre los paralelos 91° 15' de latitud oeste, bajo condiciones de clima húmedo, siendo enero el mes más frío¹ y mayo el más caluroso, con una precipitación pluvial media de 747 mm anuales. Las determinaciones de glutatión fueron realizadas en el Departamento de Bioquímica de la Facultad de Medicina, de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Se utilizaron 180 gallinas Leghorn de la estirpe Dekalb Delta, con 59 semanas de edad, alojadas en jaulas en una caseta convencional. Las aves fueron distribuidas aleatoriamente, de forma que se tuvieron 5 tratamientos con tres repeticiones de 12 gallinas cada uno (180 aves en total). Los tratamientos consistieron en la adición de diversas sustancias pigmentantes, a saber:

1. Dieta convencional, sin la adición de pigmentantes (testigo).
2. Dieta convencional con 9 ppm de xantofilas amarillas naturales, a partir de flor de cempasuchil (*Tagetes erecta*) (xna).*

* Ave-lut amarillo, Pigmentos Vegetales del Centro, S.A. de C.V.

** Avi-red, Pigmentos Vegetales del Centro, S.A. de C.V.

*** Lucantía rojo, Laboratorios Basf.

† Productos Roche (1993).

‡ Minolta, modelo CR-200.

Cuadro 1
COMPOSICIÓN DE LA DIETA BASE UTILIZADA
EN LAS GALLINAS

Ingredientes	Por tonelada Kg
Sorgo	609.95
Pasta de soya 44	233.05
Aceite vegetal mixto	28.96
Carbonato de calcio	108.26
Ortofosfato de calcio	12.49
Sal común	3.5
DL-Metionina	1.32
L-Lisina hcl	0.08
Colina 60	0.90
Vitaminas y minerales*	2.00
Antioxidante	0.30
Análisis calculado	
EM Kcal/kg	2780
Proteína (%)	15.5
Lisina (%)	0.75
Metionina + cistina (%)	0.63
Calcio (%)	3.90
Fósforo disponible (%)	0.37

* Cuca *et al.*⁸

3. Dieta convencional con 9 ppm (xna) y 4 ppm de xantofilas rojas naturales a partir de frutos de pimiento rojo (*Capsicum annuum*) (xnr).**
4. Dieta convencional con 9 ppm (xna) y 2 ppm de xantofilas rojas sintéticas (xsr).***
5. Dieta convencional con 9 ppm de (xna) y 9 ppm de sudanes rojos.

En el Cuadro 1 se presenta la dieta basal, formulada con base en las necesidades nutricionales establecidas por el National Research Council en 1994, para este tipo de aves.²⁸ El agua y el alimento se ofrecieron a las gallinas a libre consumo.

Se registraron datos de consumo de alimento, porcentaje de postura, peso del huevo y conversión alimenticia, para las 8 semanas que duró el experimento. También se evaluó la pigmentación en las yemas de todo el huevo producido en el último día de la quinta semana de experimentación; para tal fin se emplearon tanto un abanico colorimétrico¹, como un colorímetro de reflectancia[†], con el sistema CIELAB de brillantez (L), amarillamiento (b) y enrojecimiento (a).

Para las determinaciones de glutatión total se utilizó el método espectométrico descrito por Akerboom,¹⁹ y para determinar el GHS y GSSG por separado se utilizó el método descrito por Asensi *et al.*,²⁹ en el que se emplea la cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC).

Al final del trabajo, a los datos obtenidos de las variables estudiadas se les sometió a un análisis de varianza conforme al diseño empleado. Las diferencias estadísticas al 5% o al 1% entre tratamientos, se compararon con la prueba de Tukey.³⁰

Resultados

Los datos promedio de las variables productivas evaluadas en las gallinas, consumo de alimento en gramos/ave/día, porcentaje de postura, peso promedio del huevo y conversión alimenticia, no indicaron diferencias estadísticas ($P > 0.05$) entre los tratamientos (Cuadro 2).

Los resultados del color de la yema de huevo medido visualmente con el abanico colorimétrico y con el empleo del colorímetro de reflectancia, se presentan en el Cuadro 3. Con respecto a lo apreciado visualmente, la pigmentación de la yema aumentó a un valor cercano a 4 con la

adición de 9 ppm de xna. Cuando se adicionaron a la dieta las xnr o xsr además de las xna, el valor de pigmentación fue de 10.4 y 10.7, respectivamente, lo que demuestra el efecto aditivo de estas xantofilas rojas sobre la pigmentación de la yema de huevo. Finalmente puede observarse que la adición de sudan a la dieta con xna produjo una coloración en las yemas de huevo superior a la obtenida con el resto de los tratamientos.

En lo que respecta a los datos obtenidos con el colorímetro de reflectancia, se aprecia que la brillantez de las yemas de huevo fue estadísticamente igual ($P > 0.05$) entre los diferentes tratamientos empleados. En cuanto a los valores de enrojecimiento, se observó que el tratamiento que incluyó sudan, fue estadísticamente superior ($P < 0.05$) al resto de los tratamientos, además los tratamientos que no incluyeron xantofilas rojas presentaron valores negativos para este componente (T1 y T2) y fueron estadísticamente iguales entre sí. Finalmente, los tratamientos que incluían xnr y xsr, fueron iguales entre sí, y diferentes de los tratamientos 1, 2 y 5 ($P < 0.05$). Por otra parte, los valores más altos para el amarillamiento fueron obtenidos con los tratamientos 2, 3 y 4 (éstos fueron estadísticamente iguales entre sí), y existieron diferencias entre éstos y el tratamiento testigo ($P < 0.05$) que presentó los valores más bajos, y con el tratamiento que incluyó sudan, el cual presentó un grado intermedio de amarillamiento.

Para el caso del GSSG sanguíneo, los niveles más altos ($P < 0.05$) los presentaron las aves de los tratamientos 1 y 4 (éstos fueron iguales entre sí), seguidos por los encontrados en los tratamientos 2 y 3, resultando el T5 con los niveles más bajos ($P < 0.05$). Las determinaciones de GSH no mostraron diferencias entre los tratamientos ($P > 0.05$) (Cuadro 4). Estas mediciones se realizaron únicamente en la semana 8 de experimentación.

Los datos obtenidos para GT en sangre se encuentran en el Cuadro 5; en éste se aprecia que una semana después de haber iniciado el consumo de las dietas experimentales, existieron cambios notables en el valor promedio

Cuadro 2
COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO EN GALLINAS ALIMENTADAS CON DIFERENTES PIGMENTOS

Tratamiento	Postura (%)	Peso del huevo (g)	Consumo/ave/día (g)	Conversión alimenticia
I	80.8	53.4	112	2.18
II	83.4	54.4	108	2.14
III	84.2	54.8	108	2.00
IV	80.4	54.2	107	2.09
V	82.9	54.1	114	2.16

No existieron diferencias estadísticas entre tratamientos ($P > 0.05$).

Cuadro 3
COLORACIÓN EN LA YEMA DE HUEVO EN GALLINAS ALIMENTADAS CON DIFERENTES PIGMENTOS

Tratamiento	Abanico Roche (1993)	Cr-200(l) Brillantez	Cr-200 ^a Rojo	Cr-200 ^b Amarillo
I	1 ^a	66.6 ^a	-6.8 ^a	22.7 ^a
II	3.8 ^b	65.2 ^a	-6.9 ^a	40.9 ^c
III	10.4 ^c	62.6 ^a	2.0 ^b	39.9 ^c
IV	10.7 ^c	61.8 ^a	2.5 ^b	41.7 ^c
V	13.9 ^d	59.8 ^a	6.8 ^c	31.7 ^b

a, b, c, d Valores con distinta literal en la misma columna, son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

Cuadro 4
GLUTATIÓN REDUCIDO Y OXIDADO (NMOLAS/ML) EN SANGRE DE GALLINAS QUE CONSUMIERON DIFERENTES PIGMENTOS

Grupos experimentales	Glutación reducido (GSH)	Glutación oxidado (GSSG)
I	149 ^a	10 ^c
II	145 ^a	7 ^b
III	145 ^a	9 ^b
IV	143 ^a	12 ^c
V	141 ^a	5 ^a

a, b, c Valores en la misma columna con distinta literal son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

Cuadro 5
CONCENTRACIONES DE GT, EN SANGRE DE GALLINAS (μ MOLAS/ML)

Trat.	Sem. 0	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 5	Sem. 6	Sem. 8	Promedio
I	1.19 \pm 0.15	1.19 \pm 0.15	1.04 \pm 0.12	1.11 \pm 0.28	1.23 \pm 0.23	1.34 \pm 0.12	1.32 \pm 0.18	0.97 \pm 0.05	1.17 \pm 0.13
II	1.19 \pm 0.15	2.37 \pm 0.56	1.18 \pm 0.36	1.33 \pm 0.22	1.31 \pm 0.21	1.42 \pm 0.20	1.35 \pm 0.28	0.94 \pm 0.15	1.39 \pm 0.42
III	1.19 \pm 0.15	1.95 \pm 0.17	1.29 \pm 0.29	1.23 \pm 0.20	1.23 \pm 0.10	1.47 \pm 0.13	1.16 \pm 0.17	0.90 \pm 0.11	1.30 \pm 0.31
IV	1.19 \pm 0.15	2.11 \pm 0.43	1.32 \pm 0.31	1.28 \pm 0.20	1.30 \pm 0.11	1.07 \pm 0.07	1.20 \pm 0.14	0.87 \pm 0.14	1.29 \pm 0.36
V	1.19 \pm 0.15	2.55 \pm 0.36	1.08 \pm 0.21	1.38 \pm 0.25	1.37 \pm 0.19	1.28 \pm 0.23	1.41 \pm 0.15	1.01 \pm 0.14	1.41 \pm 0.48
Prom.	1.19 \pm 0.15	2.03 \pm 0.53	1.18 \pm 0.12	1.27 \pm 0.10	1.29 \pm 0.06	1.31 \pm 0.16	1.29 \pm 0.10	0.94 \pm 0.06	1.31

de GT (μ mol/ml de sangre) con respecto a la semana cero de experimentación. Considerando los diferentes tratamientos en esa primera semana de experimentación, se encontró que las dietas en las cuales se incluyeron pigmentos, propiciaron valores significativamente más altos del tripéptido en comparación con el tratamiento sin pigmentos ($P < 0.05$). En las restantes semanas estudiadas, no se encontraron diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$).

Discusión

Los resultados obtenidos respecto de los parámetros productivos evaluados en las gallinas utilizadas para el presente estudio (consumo de alimento, porcentaje de postura, conversión alimenticia, peso promedio del huevo y masa de huevo), no mostraron diferencias estadísticas entre los diferentes tratamientos, lo cual coincide con lo señalado en la literatura, en donde se asegura que en gallinas de huevo para el plato, este tipo de aditivos cumplen con la función de proporcionar color a las yemas de huevo sin modificar el rendimiento productivo de las aves.^{5,8,9}

La coloración de la yema de huevo obtenida con las cantidades de pigmento utilizadas, corresponde a lo encontrado comercialmente en las explotaciones avícolas; asimismo, la evaluación de la pigmentación se efectuó empleando los métodos comercialmente más utilizados.^{3,4,8}

No se cuenta con valores de referencia para los niveles sanguíneos promedio de GSH en aves de postura. En este estudio se encontraron valores de entre 141 y 149 nmolas/ml, tales niveles podrían considerarse bajos si se comparan con los referidos por Enkvetchakul *et al.*,³¹ quienes en pollos de engorda encontraron valores de 226 a 303 nmolas/ml. Respecto del GSSG, considerando que en general representa el 15 % del glutatión sanguíneo,³² los niveles encontrados de 5-12 nmolas/ml también se pueden considerar bajos, ya que con base en la información existente a niveles de GSH de 145 les corresponderían niveles promedio de 25 nmolas/ml; de cualquier forma, lo escaso de la información (mediciones sólo en la semana 8) no permite afirmar que las

aves se encontraron en un desbalance oxidativo, así como tampoco asociar los distintos niveles encontrados del tripéptido, con el consumo de las distintas dietas empleadas (por ejemplo, los bajos niveles de GSSG, con el consumo de sudanes).^{31,33}

En el presente estudio se encontraron niveles de entre 0.87 y 2.55 μ mol/ml de GT, sanguíneo, que representan entre 3 y 8 veces más de lo referido para pollos de engorda (0.226 – 0.303 μ mol/ml).³¹ Por otro lado, los niveles descritos para ratas, son del orden de 1.2 μ mol/ml,¹⁹ que claramente se asemejan más a los del presente estudio. Aunque se ha postulado que las aves presentan niveles de glutatión inferiores a los de mamíferos,^{32,33} no conocemos estudios al respecto en gallinas de postura.

En este trabajo se encontró un aumento en el GT a la primera semana de tratamiento, lo cual podría indicar lo descrito por algunos investigadores, quienes mencionan que algunos xenobióticos tienen la capacidad de inducir algunos sistemas antioxidantes.^{21,22,34}

De la semana 1 a la 4, las aves de los tratamientos que incluyeron pigmentos mostraron niveles sanguíneos de GT, mayores a los encontrados en las aves que recibieron la dieta testigo, esto podría sugerir que las xantofilas dietarias tienen en efecto cierta capacidad antioxidante, aun incluso en el T5 que incluyó sudan, los niveles del tripéptido siguieron la tendencia ya descrita; en este último caso el esperado efecto negativo del sudan, pudiera haber sido amortiguado por la presencia de las xna u otros componentes de la dieta con capacidad antioxidante, infortunadamente no se contó con un tratamiento que incluyera exclusivamente sudan (como fuente de pigmento) para descartar esta situación.^{35,36} En todo caso esta tendencia observada debe tomarse con reserva, ya que en las semanas 5 a 8 de experimentación, los niveles sanguíneos del tripéptido no mostraron una relación clara con la presencia o ausencia de las diferentes sustancias pigmentantes en las dietas.

De los resultados obtenidos en este trabajo se concluye que:

1. La adición de sustancias pigmentantes de uso común en la avicultura comercial, no modifican el desempeño productivo de las gallinas ponedoras.
2. El sudan se elimina a través de la yema de huevo.

- Los niveles de glutatión total sanguíneo (GT) en gallinas de postura fueron superiores a los referidos para otras aves domésticas; asimismo, los niveles de GSSG y de GSH se encontraron en niveles presumiblemente bajos y en una proporción diferente a la señalada en otros animales y el hombre por algunos autores (85% reducido y 15% oxidado); además no fue posible establecer una relación clara entre el uso o no de diferentes pigmentos comunes en la industria avícola y los cambios en los niveles de GT y GSSG sanguíneos.

Referencias

- Morales BE, Ávila GE, Shimada MA. Efecto de niveles elevados de vitamina A en dietas de finalización sobre el comportamiento y la pigmentación del pollo de engorda. *Téc Pecu Méx* 1997;2:87-92.
- De Blas BC, Mateos GG. Nutrición y alimentación de gallinas ponedoras. Barcelona, España: Aedos, 1991.
- Tirado AFJ. Efecto pigmentante de las xantofilas en el pollo de engorda. *Síntesis Avic* 1990;3:28-35.
- Williams WD. Origin and impact of color of consumer preference for food. *Poultry Sci* 1992;71:744-746.
- Arce MJ, Vázquez PC, López CC, Ávila GE. Xantofilas en dietas para pollos de engorda. *Síntesis Avic* 1990;6:16-18.
- Necoechea RR, Márquez ML. Manual de aditivos y suplementos para la producción animal. México (DF): Manual Agrario, 1987.
- North MO. Manual de producción avícola. México (DF): El Manual Moderno, 1986.
- Ávila GE, Shimada SA, Llamas LG. Anabólicos y aditivos en la producción pecuaria. México (DF): Consultores en Producción Animal, 1990.
- Cuca GM, Ávila GE, Pró MA. La alimentación de la aves. Montecillos, Edo. de México: Colegio de Postgraduados, 1990.
- Merck Index. An encyclopedia of chemicals, drug and biologicals. 10th ed. Rahway (NJ): Merck & Co. Inc., 1993.
- Secretaría de Salud. Ley general de salud. 5^a ed. México (DF): Porrúa, 1987.
- Jacobs MB. The chemical analysis of food and food products. 3rd ed. Princeton (NJ): Van Nostrand, 1965.
- Secretaría de Salud. Reglamento de la Ley Federal de Salud en materia de control sanitario de actividades, establecimientos, productos y servicios. Diario Oficial de la Federación del 18 de enero de 1988.
- Krinsky NI, Deneke SM. Interaction of oxygen and oxyradicals with carotenoids. *J Natl Cancer Inst* 1982;69:205-209.
- Marusich WL, Bavernfeind ChJ. Carotenoids as colorants and vitamin A precursors: technological and nutritional applications. New York: Academic Press, 1981.
- Peng BL, Nagao A, Terao J, Tanaka K, Suzuki T, Takama K. Antioxidant activity of xanthophyll on peroxil radical-mediated phospholipid peroxidation. *Acta Biochem Biophys* 1992;1126:178-184.
- Marchand LL, Yoshizawa CN, Kofonel LN, Hankin JH, Goodman MT. Vegetable consumption and lung cancer risk: a population based case-control study in Hawaii. *J Natl Cancer Inst* 1990;82:282-284.
- Micozzi MS, Beecher GR, Taylor PR, Kachik F. Carotenoids analyses of selected raw and cooked food associated with a lower risk for cancer. *J Natl Cancer Inst* 1990;82:280-282.
- Akerboom TPM. Assay of glutathione disulfide and glutathione mixed disulfide in biological samples. *Met Enzymol* 1981;77:372-382.
- Winkler SB, Orselli MS, Rex ST. The redox couple between glutathione and ascorbic acid: a chemical and physiological perspective. *Free Rad Biol Med* 1994;17:333-349.
- Anderson EM. Glutathione and glutathione delivery compounds. In: Sies H, editor. *Advances in pharmacology*. Vol 38. San Diego (CA): Academic Press, 1997:65-78.
- Williamson WD, Boettcher B, Meisteer A. Intracellular cysteine delivery system that protects against toxicity by promoting glutathione synthesis. *Proc Nat Acad Sci* 1987;79:6246-6247.
- Fujita T, Yamamoto T, Tabata M, Veno T, Fujimoto Y. Defects of reduced glutathione and cysteine on prostaglandine synthesis in rabbit kidney medulla slices. *Biochem Physiol* 1986;3:29-31.
- Sen ChK. Nutritional biochemistry of cellular glutathione. *J Nutr Biochem* 1997;8:660-672.
- Miyasaky S. Effect of chemicals on glutathione peroxidase of chick liver. *Res Vet Sci* 1991;51:120-122.
- Miyazaky S, Motoi Y. Tissue distribution of monomeric glutathione peroxidase in broiler chicks. *Res Vet Sci* 1992;53:47-51.
- Richie JP, Abraham P, Leutzinger Y. Long-term stability of blood glutathione and cysteine in humans. *Clin Chem* 1996;42:1100-1105.
- National Research Council. Nutrient requirements of poultry. 8th ed. Washington (DC): National Academy Press, 1994.
- Asensi M, Sastre J, Pallardó FV, De la Garcia A J, Estrela JM, Vina J. A high performance liquid chromatography method for measurement of oxidized glutathione. *Anal Biochem* 1994;217:323-338.
- Snedecor WG, Cochran GW. Statistical methods. 6th ed. Ames (IO): The Iowa State University Press, 1971.
- Enkvetchakul B, Anthony NB, Bottje WG. Liver and blood glutathione in male broiler chickens, turkeys and quail. *Poultry Sci* 1995;74:885-889.
- White CA, Thannickal VJ, Fanburg BL. Glutathione deficiency in human disease. *J Nutr Biochem* 1994;5:218-226.
- Enkvetchakul B, Bottje WG. Influence of diethyl maleate and cysteine on tissue glutathione and growth in broiler chickens. *Poultry Sci* 1995;74:864-873.
- Beutler E. Nutritional and metabolic aspects of glutathione. *Ann Rev* 1989;9:287-302.
- Halliwell B. Oxidants and human disease: some new concepts. *FASEB J* 1987;1:348-352.
- Ziengler DM. Role of reversible oxidation-reduction of enzyme thiols-disulfides in metabolic regulation. *Ann Rev Biochem* 1985;54:305-329.