

[Regresar a lista de contenidos](#)

ABSORCIÓN Y DEPÓSITO DE XANTOFILAS EN POLLOS DE ENGORDA DESAFIADOS CON TRES DIFERENTES NIVELES DE OOQUISTES DE *Eimeria* *acervulina*

Hernández VX¹, Chapman DH², Owens CM², Kuttappan VA², Fuente MB³, Latorre JD²,
Kallapura G², Bielke LR², Rathinam T², Quiroz MP⁴, Hargis BM², Téllez G².

¹Departamento de Medicina y Zootecnia de Aves. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, D.F. 04510.

²Department of Poultry Science, University of Arkansas, Fayetteville 72701.

³Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola, FMVZ, UNAM. México, D.F. 13209.

⁴Industrias Vepinsa S.A. de C.V. Zona Industrial C.P. 81255. Los Mochis, Sinaloa, México.

xochitl_h@yahoo.com

Resumen

Para evaluar el efecto de la infección con diferentes cantidades de ooquistes esporulados de *Eimeria acervulina* en la absorción intestinal y en el depósito cutáneo de xantofilas (Xa) en pollos de engorda hembras y machos se utilizaron 192 pollos de engorda (96 hembras y 96 machos) Cobb 500 de un día de edad que fueron criados hasta el inicio de la prueba (día 21 de edad). Las aves se distribuyeron aleatoriamente en 4 tratamientos cada uno con 4 réplicas (2 corrales de machos y 2 de hembras) con 12 aves cada uno. Los tratamientos fueron: 1) Testigo, y los grupos 2, 3 y 4) fueron desafiados al día 21 de edad con 1×10^2 , 1×10^4 y 1×10^5 ooquistes esporulados de *E. acervulina* respectivamente. A todos los grupos se les proporcionó una dieta comercial balanceada con 74 ppm de Xa de flor de Cempasúchil (*Tagetes erecta*) en el alimento finalizador durante toda la prueba (21 a 42 días de edad). Se registró el peso corporal al inicio y al final de la prueba y se calculó el consumo de alimento, conversión alimenticia y ganancia de peso. Los niveles de Xa en plasma y el amarilleamiento (b^*) *in vivo* en la piel de la pechuga se midieron al día 21 de edad y semanalmente; a los 42 días de edad en la piel de la pechuga y del abdomen de las canales después de su paso por el tanque de enfriamiento; y en la pechuga 24 horas posteriores a su enhielado y refrigeración. Los parámetros productivos fueron similares entre tratamientos al final de la prueba. Los niveles de Xa plasmáticas aumentaron en promedio 1.26 $\mu\text{g/ml}$ por cada día que las aves del grupo testigo consumieron el pigmento y disminuyeron 0.02 $\mu\text{g/ml}$ por cada 1,000 ooquistes esporulados de *E. acervulina* que se le administraron al ave ($R^2=61.60\%$, $P<0.01$). Se observó una respuesta lineal en el depósito de pigmento en la piel *in vivo* de acuerdo con el tiempo de consumo ($R^2=85.95\%$, $P<0.01$), donde por cada día que las aves consumieron el alimento adicionado con Xa naturales de la flor de Cempasúchil (*Tagetes erecta*) la coloración de la piel se incrementó en 0.57 b^* *in vivo*; así como un efecto del sexo, donde las hembras pigmentaron 6.17 b^* más que el macho. Mientras que en las aves desafiadas con *E. acervulina* se observó que por cada 1,000 ooquistes esporulados que les fueron administrados, el amarilleamiento cutáneo se redujo en 0.019 b^* . El amarilleamiento cutáneo en la pechuga y el abdomen de las canales después del tanque de enfriamiento estuvo correlacionada ($r=0.76$; $P<0.01$). La pigmentación cutánea (b^*) en la piel de la pechuga de las canales después de 24 horas de enhielado y refrigeración fue mayor ($P<0.01$) en el grupo control y en las hembras en comparación con el resto de los grupos. En relación con la cantidad de ooquistes excretados por gramo de heces, los grupos desafiados sólo fueron diferentes entre sí a los 7 días posinfección (DPI). La severidad de las lesiones macroscópicas en duodeno fueron en su mayoría de 1+, sólo se observaron lesiones con grado 2+ en

el grupo desafiado con 1×10^4 . De todas las variables evaluadas, la concentración de Xa plasmáticas fue la más afectada por la dosis de ooquistes administrados. No se observó diferencia en las aves que recibieron 1×10^3 y 1×10^4 ooquistes con respecto al testigo, lo cual se atribuyó a que en este estudio se utilizaron dosis infectantes bajas.

Palabras clave: Xantofilas, pigmentación cutánea, amarilleamiento, *Eimeria acervulina*, pollo de engorda, *Tagetes erecta*.

Abstract

An experiment was designed to evaluate the effect of different doses of oocysts of *E. acervulina* on intestinal absorption and skin deposition of xanthophylls (XA) in broilers. 192 broiler chickens were randomly assigned to 4 groups: an uninfected control group and three groups inoculated with either 1×10^2 , 1×10^4 , or 1×10^5 sporulated oocysts of *E. acervulina* by gavaging at 21 d. There were 4 replicate pens (2 male and 2 female) per group. Plasma xanthophyll (PX) and skin yellowness (SY) were measured in live birds weekly. At 42 d of age, SY was measured in the breast and abdomen after chilling and in the breast 24 h post processing on refrigerated carcasses. In general, in all challenged treatments, and for the duration of the study, the average PX decreased by $0.02 \mu\text{g/ml}$ ($R^2=61.60\%$; $P<0.01$) for every 1,000 inoculated oocysts, whereas PX increased by $1.26 \mu\text{g/ml/d}$ in uninfected birds. The average SY in live birds from 21 to 42 d of age decreased by $0.019 \text{ b}^*/\text{every 1,000 oocysts administered}$, while SY of uninfected controls increased by $0.57 \text{ b}^*/\text{d}$. It was also noted that in all treatments females had a greater ($P<0.01$) SY (6.17 b^*) than males for the duration of the study. The SY of the breast and abdomen was correlated ($r=0.76$; $P<0.01$) in chilled carcasses. Breast SY in 24 h refrigerated carcasses was greater ($P<0.01$) in the control group and for female birds. Oocyst excretion was different ($P<0.05$) between inoculated treatments only on 7 d post inoculation (PI). Coccidia lesion scores in the duodenum averaged 1+ in infected birds and 2+ in birds given the highest oocyst dose.

Introducción

A pesar del incremento en la cantidad de carne de pollo que se vende sin piel o con valor agregado, todavía una gran cantidad de aves se comercializan como canales completas o en piezas con piel (Sirri, et al., 2010). La preferencia por el color amarillo de la piel del pollo de engorda depende de factores culturales, históricos y tipos de cultivos regionales (Heffner et al., 1964; Fletcher, 1999) y es asociado con un buen estado de salud del ave, mayor frescura de la canal y mejor sabor de la carne (Breithaupt, 2007; Liu et al., 2008). En México los productores identifican la marca comercial con base en el grado de amarilleamiento cutáneo de su producto. Esta competencia y el ciclo de producción cada vez más corto de pollo actual requieren la adición de altas concentraciones de pigmento a la dieta llegando a representar del 8 al 10 % de su costo total (Castañeda et al., 2005; Muñoz et al., 2012). Además, recientemente se han atribuido ventajas adicionales de la inclusión de Xa a la dieta de animales destinados a la alimentación humana (Baker y Günther, 2004; Kijlstra et al., 2012), por lo que seguramente seguirá adicionándose pigmento a la dieta de las aves comerciales.

La coccidiosis aviar (CA) puede ocasionar pérdida de peso, disminución en la conversión alimenticia y causar mala digestión debido al daño físico y a los cambios fisiológicos y químicos relacionados a la invasión de los enterocitos por parte del parásito (McDougald y Fitz-Coy, 2008; Assis et al., 2010). La severidad de éste efecto varía de acuerdo con la especie de *Eimeria*, el nivel de desafío; así como, el estado inmunológico del ave y los factores complicantes que se presenten. En países como China, Perú, Italia y México, donde es importante la pigmentación amarilla de la piel del pollo, la CA puede



reducir la absorción intestinal y depósito de xantofilas (Xa) en piel (Ruff y Fuller, 1975; Mc Dougald y Fitz-Coy, 2008). Dentro de las especies de eimerias que comúnmente afectan al pollo de engorda, *E. acervulina* y *E. maxima* provocan una importante reducción en los carotenoides plasmáticos (Ruff y Fuller, 1975; Sharma y Fernando, 1975; Ogbuokiri y Edgar 1986), debido a que estas especies causan descamación y acortamiento de las vellosidades de la mucosa intestinal y parasitan los sitios de mayor absorción de pigmento en el intestino del pollo (Littlefield *et al.*, 1972; Tyczkowski y Hamilton, 1986; Allen 1989), esta reducción en la absorción de Xa se correlaciona con una reducción del depósito de pigmento en la piel (Dua *et al.*, 1967; Mc Dougald y Fitz-Coy, 2008).

La detección de un problema de CA en campo se lleva a cabo mediante la evaluación de la apariencia de las heces, severidad de las lesiones macroscópicas en intestino y evaluación de registros productivos. Sin embargo, cuando se detectan cambios en estas variables ya se han generado daños graves en el tejido intestinal y en su capacidad funcional. Además de que no siempre se correlacionan a la severidad de la infección. Además, a pesar de la importancia económica que tiene el pigmento en algunos países y que comúnmente es afectado en el campo por *Eimeria* spp no hay estudios que evalúen el efecto del nivel de la infección de *E. acervulina* en la absorción de Xa y en el depósito de pigmento en la piel de pollo de engorda al final de su ciclo productivo, ni del efecto que tiene el sexo del ave en esta respuesta. Por lo anterior, en este estudio, fue investigado el efecto de diferentes niveles de ooquistes esporulados de *E. acervulina* en la absorción y depósito de Xa en la piel de pollos de engorda cuando es adicionado en la dieta pigmento natural de flor de Cempasuchil (*Tagetes erecta*).

Materiales y Métodos

Aves de experimentación. 192 pollitos de engorda sexados (96 hembras y 96 machos) de un día de edad, Cobb 500 broiler fueron identificados individualmente y distribuidos aleatoriamente en 16 corrales en una unidad experimental con ambiente controlado del Poultry Health Laboratory, University of Arkansas, Fayetteville AR, 72701, U.S.A. Todos los manejos efectuados en las aves experimentales estuvieron de acuerdo con el Institutional Animal Care and Use Committee of the University of Arkansas

Alimento. Todas las aves fueron alimentadas *ad libitum* con una dieta en harina a base de maíz y pasta de soya cubriendo los requerimientos nutricionales recomendados por la estirpe (Cobb-Vantress Inc, 2012). Las aves del grupo testigo recibieron en el alimento 60ppm de salinomicina¹ en el alimento iniciador (1-20 días de edad) y alimento finalizador (21-42 días de edad); además, fueron medicadas 2 veces con amprolio² en el agua de bebida (29 a 31, y 36 a 38 días de edad) para asegurar que no se infectaran con coccidias; mientras que las aves inoculadas con *E. acervulina* sólo recibieron salinomicina en el alimento iniciador del día 1 al 14 de edad. Todos los grupos recibieron 74 ppm de Xa naturales de flor de Cempasuchil (*Tagetes erecta*)³ en el alimento finalizador.

1 Bio-Cox®, Bridgewater, New Jersey 08807, Alpharma Inc.

2 Amprolium 9.6% oral solution. HUVEPHARMA® 525 Westpark Drive, Suite 230. Peachtree City, GA 30269.

3 Florafil HP powder (40g of xanthophylls/kg). Vepinsa S.A. de C.V. Carretera al campo 35 km. 8 SN, Zona Industrial C.P. 81255. Los Mochis, Sinaloa, México.

Inóculo. La cepa de *Eimeria acervulina* US-AR-05-01 fue aislada de una granja comercial en el noroeste de Arkansas y fue donada por el Dr. David Chapman. Las aves de los grupos 2, 3 y 4 fueron desafiadas individualmente por medio de una sonda esofágica a los 21 días de edad con 1×10^2 , 1×10^4 , y 1×10^5 ooquistes esporulados de *E. acervulina* / 1 ml de agua destilada estéril respectivamente. Las aves del grupo testigo recibieron la misma cantidad de agua destilada estéril.

Xantofilas plasmáticas.

Al día 21 de edad y semanalmente, se tomaron individualmente de tres aves por réplica 2 ml de sangre con 1mg of EDTA⁴/ml de sangre. Las muestras se depositaron en tubos protegidos de la luz, y fueron conservados en hielo y manejados en tubos negros para su procesamiento. El plasma fue obtenido por centrifugación y la concentración de Xa plasmáticas fue determinada por espectrofotometría⁵ de acuerdo con la técnica descrita por Allen 1989.

Pigmento cutáneo.

A los días 21, 28, 35 y 42 de edad se midió el amarilleamiento cutáneo (b^*) *in vivo* en la zona aptérica lateral derecha de todas las aves utilizando el sistema CIE (1978), con el colorímetro de reflectancia Minolta CR300⁶. Al día 42 de edad se evaluó el pigmento cutáneo (b^*) en la piel de la pechuga y de la región abdominal en las canales después de pasar por el tanque de enfriamiento y en la piel de la pechuga 24 horas después de su enhielado y refrigeración.

Parámetros productivos.

Se registró el peso corporal de las aves al inicio y al final de la prueba. Se llevaron registros de consumo de alimento (g), ganancia de peso (g) y conversión alimenticia (kg: kg).

Número de ooquistes en heces.

Se colectaron muestras de heces frescas a partir de 5 aves por réplica (corral) a los 14 y 21 días de edad para confirmar la ausencia de *Eimeria* spp y para realizar el muestreo basal respectivamente, y posteriormente cada semana a lo largo del estudio, empleando la técnica de McMaster (Hodgson, 1970; Holdsworth *et al*, 2004).

Severidad de lesiones macroscópicas en duodeno.

Dos aves por réplica fueron sacrificadas de acuerdo con la *American Veterinary Medical Association Guidelines for the Euthanasia of Animals* (AVMA, 2013) a los 7 y 14 días posinfección (DPI) para evaluar la severidad de las lesiones macroscópicas en duodeno asociadas a *E. acervulina* de acuerdo con la escala de Johnson y Reid (1970).

Análisis estadístico.

Las variables productivas: consumo de alimento (g), ganancia de peso (g) y conversión alimenticia (kg:kg), además del pigmento cutáneo (b^*) en aves vivas y en canal fueron evaluadas por un ANOVA en un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 4x2 donde el primer factor fueron los tratamientos (1×10^2 , 1×10^4 , y 1×10^5 ooquistes esporulados de *E. acervulina*) y el segundo factor fue el sexo del ave (hembra o macho). La diferencia de medias entre tratamientos fue analizada con la

4 EDTA. Sigma chemical Co. St. Louis MO 63178 USA.

5 Spectronic® 20D+. Thermo Spectronic, Rochester, NY 14625, USA.

6 Chroma meter CR300. Minolta, Osaka 564. Japan.

prueba de Tukey. Los valores fueron considerados diferentes estadísticamente a una significancia de $P < 0.05$.

A los resultados en la pigmentación cutánea y plasmática se les realizó una regresión múltiple donde las variables independientes fueron el tiempo de consumo de pigmento y los tratamientos, y se utilizó como variable indicadora el sexo (Neter y Wasserman, 1996; Kuehl, 2001); donde 1= hembras y 0= machos. Además, se realizó una matriz de correlación del grado de amarilleamiento en piel de la pechuga y de la región abdominal.

La cantidad de ooquistes por gramo de heces se evaluó con la prueba de Kruskal-Wallis y la diferencia entre las medianas de los tratamientos se analizó con la prueba U de Mann-Whitney por medio del Statistical Program Social Science (SPSS).

Resultados

Al inicio de la prueba (día 21 de edad) los pesos de las aves fueron similares entre grupos, las hembras pesaron en promedio $668 \pm 10g$ y los machos $841 \pm 10g$. Al final de la prueba los parámetros productivos del día 21 al 42 de edad (consumo acumulado de alimento, índice de conversión, ganancia de peso) fueron similares ($P > 0.05$) en todos los tratamientos (Cuadro 1).

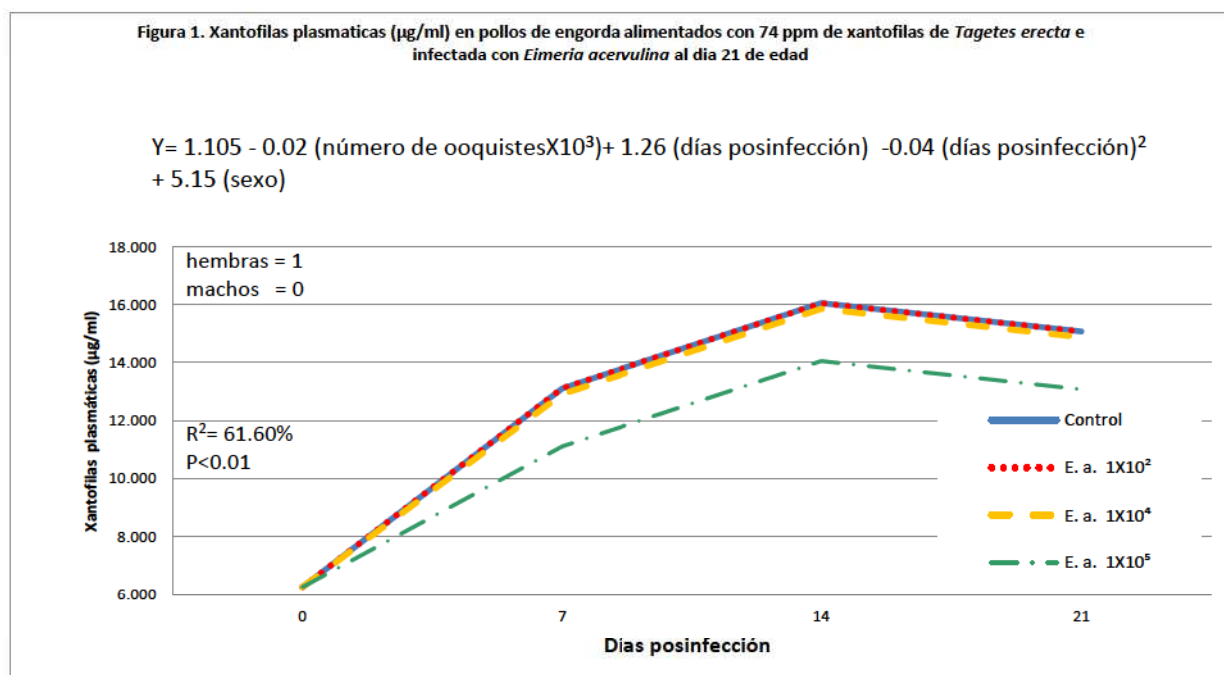
Cuadro 1. Consumo acumulado de alimento, índice de conversión alimenticia y ganancia de peso del día 21 al 49 de edad en pollos de engorda alimentados con 74 ppm de xantofilas de Tagetes erecta e infectados con Eimeria acervulina

Tratamiento	Consumo acumulado de alimento (g)	Índice de conversión	Ganancia de peso (g)
Testigo	3658a	1.871a	1956a
1 x 102	3554a	1.851a	1921a
1 x 104	3608a	1.926a	1873a
1 x 105	3627a	1.930a	1880a
Sexo			
Machos	3660a	1.886b	1941a
Hembras	3564b	1.902a	1874b
EEM	58	0.043	33
ANOVA		P	
Dosis de ooquistes	0.40(NS)	0.28(NS)	0.11(NS)
Sexo	0.05	0.01	0.02
Dosis de ooquistes x Sexo	0.16(NS)	0.06(NS)	0.06(NS)

a,bPromedios con diferente literal dentro de una misma columna son diferentes significativamente ($P < 0.05$).

EEM = Error estándar de la media para todos los tratamientos y ambos sexos.

Por cada día de consumo de pigmento se incrementaron las Xa plasmáticas en 1.26 µg/ml y por cada 1,000 ooquistes administrados de *E. acervulina* se redujo la concentración de Xa en plasma en 0.02 µg/ml ($R^2=61.60\%$) ($P<0.01$). Esto es explicado por la siguiente ecuación: $Y = 11.105 - 0.02 (\text{número de ooquistes } \times 10^3) + 1.26 (\text{días posinfección}) - 0.04 (\text{días posinfección})^2 + 5.15 (\text{sexo})$ (Figura 1).



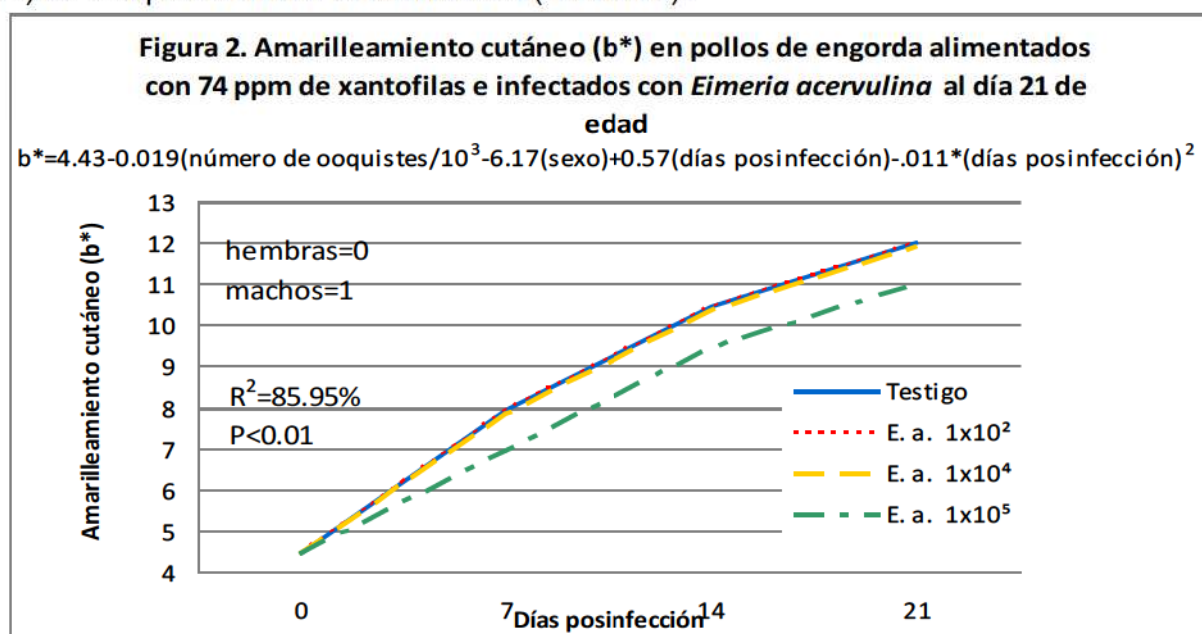
N= 12 aves por tratamiento en cada día de muestreo.

En relación con el depósito de pigmento cutáneo in vivo en los pollos de ambos sexos se observó una respuesta lineal ($R^2=85.95\%$) ($P<0.01$), donde en promedio por cada día que las aves consumieron el alimento adicionado con 74 ppm de *Tagetes erecta* la coloración de la piel se incrementó en 0.57 b*. Además, se observó una diferencia en la capacidad de pigmentación cutánea de acuerdo con el sexo del ave, pues las hembras pigmentaron 6.17 b* más que los machos. Sin embargo; en las aves que fueron desafiadas con *Eimeria acervulina*, por cada 1X10³ ooquistes esporulados de *E. acervulina* que les fueron administrados vía oral se redujo el amarilleamiento cutáneo en 0.019 b*. Este efecto es explicado por la siguiente ecuación: $b^* = 4.43 - 0.019 (\text{número de ooquistes } \times 10^3) - 6.17 (\text{sexo}) + 0.57 (\text{días posinfección}) - 0.011 (\text{días posinfección})^2$ (Figura 2).

El amarilleamiento cutáneo (b*) en abdomen y pechuga de las canales de pollo después del chiller estuvieron correlacionados significativamente ($r = 0.76$; $P<0.01$), lo cual indica que el nivel de amarilleamiento (b*) en la piel de la región abdominal es igual a: $b^* = 8.58 + 0.78 \times \text{unidades de amarilleamiento (b*) en la piel de la pechuga después del tanque de enfriamiento}$ con una $P<0.01$ (Figura 3).

Después de 24 horas de enhielado y refrigerado, el amarilleamiento cutáneo (b*) en la piel de la pechuga de las canales fue mayor en el grupo control en comparación con el resto de los grupos

($P < 0.01$). No se observó diferencia estadística entre los grupos infectados con *E. acervulina*. Además, en todos los tratamientos los valores de amarilleamiento en la piel de la hembra fueron mayores ($P < 0.01$) en comparación con los del macho (Cuadro 2).



N por tratamiento = 48 al día 0 y 7, 40 al día 14 y 32, y 32 al día 21 posinfección

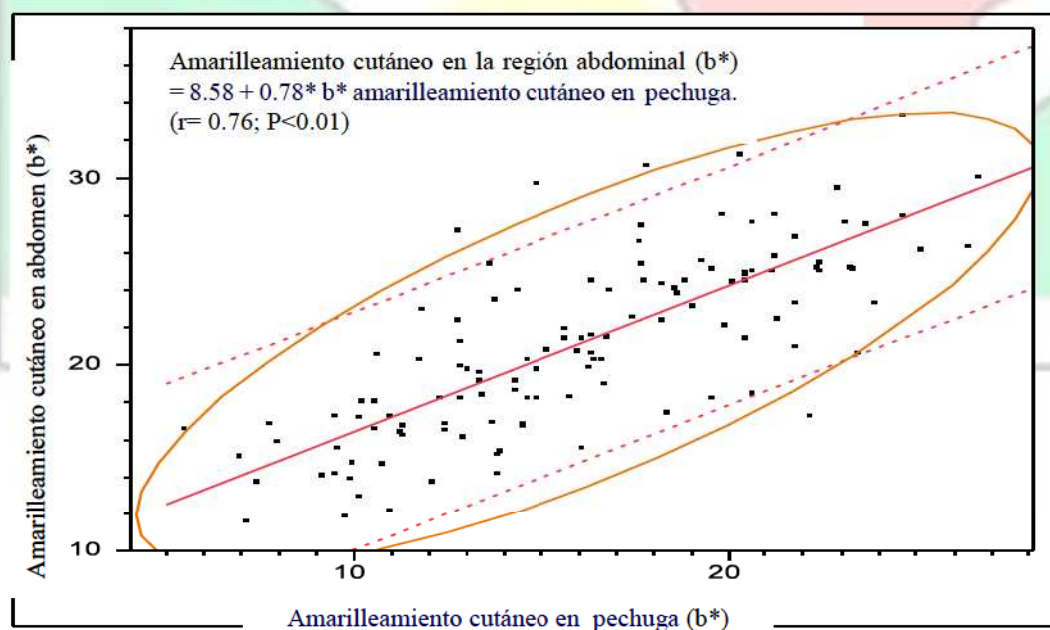


Figura 3. Correlación entre amarilleamiento cutáneo (b^*) de pechuga y abdomen ($n = 128$).

Cuadro 2. Amarilleamiento cutáneo (b*) después de 24 horas de enhielado y refrigerado de las canales de pollos machos y hembras alimentados con 74 ppm de xantofilas de Tagetes erecta del día 21 al 42 de edad y desafiados con Eimeria acervulina al día 21 de edad¹

Tratamiento	Hembras (n=16)	Machos (n=16)	Promedio
Testigo	27.61 ± 1.13	20.78 ± 1.13	24.19 ± 0.80 ^a
E. a. 1X10²	24.97 ± 1.10	15.06 ± 1.13	20.44 ± 0.79 ^b
E. a. 1X10⁴	26.27 ± 1.10	14.13 ± 1.10	20.20 ± 0.77 ^b
E. a. 1X10⁵	24.62 ± 1.10	16.34 ± 1.10	20.48 ± 0.77 ^b
Promedio	25.84 ± 0.55 ^y	16.66 ± 0.56 ^z	
	P		
Dosis de ooquistes	0.01		
Sexo del ave	0.01		
Dosis de ooquistes x sexo	0.11(NS)		

¹Medias ± EEM de 8 aves por réplica (dos réplicas de machos y dos de hembras por cada tratamiento). Promedios con diferente literal dentro de una misma columna o fila son diferentes significativamente (P<0.01).

El grupo control se mantuvo negativo en los conteos de ooquistes en heces así como a las lesiones macroscópicas asociadas a E. acervulina durante toda la prueba. El número de ooquistes excretados por gramo de heces fueron diferentes solamente a los 7 DPI entre los grupos desafiados (Cuadro 3).

Cuadro 3. Número de ooquistes por gramo de heces del día 21 al 49 de edad en pollos de engorda alimentados con 74 ppm de xantofilas de Tagetes erecta e infectados con Eimeria acervulina

Tratamiento	Días posinfección con Eimeria acervulina (días de edad)			
	0 (21)	7 (28)	14 (35)	21 (42)
Testigo	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a
E. a. 1X10²	0 ^a	1700 ^b	37725 ^b	75 ^b
E. a. 1X10⁴	0 ^a	47375 ^c	37800 ^b	1400 ^b
E. a. 1X10⁵	0 ^a	146500 ^d	6300 ^b	37 ^b

a-d Medias con diferentes literales dentro de una misma columna son diferentes significativamente (P < 0.05).

La severidad de las lesiones macroscópicas en el duodeno atribuibles a E. acervulina fueron leves siendo en su mayoría de 1+, solamente se observaron lesiones 2+ en el grupo desafiado con 1X10⁴ ooquistes de E. acervulina y disminuyeron rápidamente después del día 28 de edad (7 días PI) en todos los grupos (Cuadro 4), por lo que después del día 35 de edad (14 días PI) no se sacrificaron más aves.

Cuadro 4. Severidad de lesiones macroscópicas (%) en intestino en pollos de engorda hembras y machos desafiados con *Eimeria acervulina* a los 21 días de edad

Edad (días)	Tratamiento	Distribución (%) de la severidad de las lesiones					
		0		1+		2+	
		Machos	Hembras	Machos	Hembras	Machos	Hembras
28	Testigo	100	100	0	0	0	0
	<i>E. a.</i> 1X10 ²	100	100	0	0	0	0
	<i>E. a.</i> 1X10 ⁴	0	0	100	100	0	0
	<i>E. a.</i> 1X10 ⁵	0	0	75	25	25	75
35	Testigo	100	100	0	0	0	0
	<i>E. a.</i> 1X10 ²	75	0	25	100	0	0
	<i>E. a.</i> 1X10 ⁴	100	100	0	0	0	0
	<i>E. a.</i> 1X10 ⁵	100	100	0	0	0	0

Las lesiones macroscópicas asociadas a CA por *E. acervulina* fueron clasificadas de acuerdo con la escala de Johnson y Reid (1970) a los 28 y 35 días de edad (7 y 14 días posinoculación respectivamente), n=8.

Discusión

En estudios previos, la inoculación de pollos de engorda con 5X10⁵ ooquistes de *E. acervulina* por ave resultó en un decremento en la ganancia de peso, peso de la canal y de la pechuga a los 6 DPI (Fetterer y Allen, 2000). Así como la ganancia de peso y el consumo de alimento se afectaron negativamente a los 5 DPI con 10⁵ y 10⁶ ooquistes en aves de 9 días de edad (Conway et. al., 1993). En el presente estudio, el peso corporal se evaluó solo al inicio y al final del experimento y no se encontraron diferencias entre los tratamientos. Una significativa reducción en la absorción de nutrientes, capacidad para metabolizar energía y depósito de nutrientes en los tejidos corporales de machos Leghorn al día 16 de edad fue reportado por Sharma y Fernando (1975), durante la fase aguda de la infección usando 1x10⁵ ooquistes de *E. acervulina*. Ellos reportaron una marcada disminución en la absorción de nutrientes, en la capacidad para metabolizar energía, y en el depósito de estos nutrientes en los tejidos corporales de machos Leghorn de 38.5 semanas de edad durante la fase aguda de la infección (de 0 a 4 DPI) con 1X10⁵ de *E. acervulina* y lo correlacionaron a la reducción en la composición química y nutricional de la canal; asimismo, mencionan una fase de recuperación (de los 9 a 14 DPI). Ellos consideran que este fue tiempo suficiente para que se presentara una fase compensatoria o de recuperación de peso. Esto puede explicar porque en este estudio no se encontró diferencia entre los tratamientos desafiados y el testigo al día 42 de edad de las aves (21 DPI).

Muy pocos trabajos han evaluado el efecto de la infección por *E. acervulina* en la absorción o en el depósito de pigmento en la piel del pollo de engorda. Tyczowski et al., 1991 evaluaron la respuesta a la infección con 1.5X10⁵ de *E. acervulina* en pollos machos jóvenes (de 15 días de edad) alimentados con maíz amarillo y encontraron a los 4, 6 y 10 DPI niveles de 1.91, 1.12 y 2.42 µg/ml de luteína en el suero respectivamente en comparación con el día 0 (9.18 µg/ml). Por su parte Conway et. al., (1993) reportaron una disminución severa del nivel de carotenoides en plasma al inocular pollitos de 9 días de edad desde 10² a 10⁶ ooquistes por ave a los 5 DPI. En trabajos previos los niveles de carotenoides

en plasma han sido identificados como un buen indicador de la integridad fisiológica del intestino y también como una alternativa rápida y sensible para medir el efecto de las infecciones por *Eimeria* en pollos de engorda (Ruff y Fuller, 1975; Conway et al., 1993).

En este estudio se observó que por cada 1,000 ooquistes de *E. acervulina* administrados se redujo 0.02µg/ml la concentración de Xa en plasma ($R^2=61.60\%$; $P<0.01$). Solamente se observó diferencia en la cantidad de Xa plasmáticas entre el grupo testigo y el grupo infectado con la dosis más alta (1X105 ooquistes esporulados de *E. acervulina*), lo que sugiere que las dosis de 1X102 y 1X104 ooquistes de *E. acervulina* fueron muy bajas o bien la cepa utilizada en este estudio fue de baja virulencia.

En relación con el pigmento cutáneo in vivo Ogbuokiri y Edgar (1986) reportaron que la infección con 6 X 105 ooquistes de *E. acervulina* en pollos de engorda de 6 semanas que recibieron 13.55 ppm de Xa en el alimento, redujo significativamente la pigmentación de los tarsos a los 4, 7 y 14 DPI, utilizando el abanico de Roche. En el presente estudio se observó que por cada 1,000 ooquistes de *E. acervulina* administrados en las aves el amarilleamiento cutáneo disminuyó 0.019 unidades (b^*).

Además, se encontró una respuesta lineal ($R^2=85.95\%$) del pigmento cutáneo in vivo que se incrementó 0.57 unidades de amarilleamiento (b^*) por cada día que el pollo consumió el pigmento. Las hembras mostraron una mayor capacidad de pigmentación (6.17 b^*) con respecto al macho ($P<0.01$) aun cuando consumieron menor cantidad de alimento y por lo tanto de pigmento (Cuadro 1). Estos resultados concuerdan con estudios anteriores donde el amarilleamiento cutáneo en pechuga, muslo o tarsos fue mayor ($P \leq 0.01$) en hembras que en machos (Sirri et al., 2010); así como, en la piel de la pechuga de pollos alimentados con 75ppm de Xa del día 21 al 49 de edad, las hembras tuvieron una mayor pigmentación cutánea (3.77 b^* ; $P<0.01$) que los machos al día 49 de edad (Muñoz et al., 2012). El mayor grado de amarilleamiento cutáneo en la hembra se atribuye a una mayor cantidad de grasa en el tejido subcutáneo, lo cual está relacionado a la genética y factores hormonales (Le Bihan-Duval et al., 1998; Rance et al. 2002; Sirri et al., 2010).

Se observó también una correlación lineal significativa ($r=0.76$; $P<0.01$) entre el grado de amarilleamiento cutáneo (b^*) en la pechuga y en el abdomen de las canales de pollo después de pasar por el tanque de enfriamiento, lo que concuerda con lo reportado por Sirri et al., (2010) quienes encontraron que el amarilleamiento cutáneo en pechuga y muslos estuvieron significativamente correlacionados ($r = 0.85$; $P < 0.01$). Ellos sugieren que la evaluación del pigmento cutáneo puede realizarse sin importar el sitio de la lectura.

En relación con la severidad de las lesiones macroscópicas en intestino, Ruff y Fuller (1975), inocularon pollos Cobb con 1 X 106 *E. acervulina* a los 14 y 21 días de edad, obtuvieron un promedio de severidad de las lesiones de 3.8. En el presente estudio solamente se observaron grados de severidad de lesiones 1+ y 2+ con la dosis de 1X105 ooquistes de *E. acervulina* por ave. El nivel de desafío, la virulencia de la cepa y su capacidad de replicación en el intestino son algunos de los factores más comúnmente relacionados a la severidad del daño en el tejido y afectación a la fisiología intestinal en las infecciones por *Eimeria*. Sin embargo, el comportamiento de la infección y la respuesta a esta son variables entre individuos y entre pruebas, aún bajo las mismas condiciones de experimentación con la misma cepa (Williams, 2006). Los niveles de carotenoides en el plasma han sido utilizados como indicadores de la severidad de la infección con eimerias (Conway et al., 1993; Fetteren y Allen, 2000), en comparación con otras variables como el peso corporal, severidad de

lesiones macroscópicas intestinales y número de ooquistes (Conway et. al., 1990). Las mediciones de Xa en plasma en respuesta a los niveles de infección con *E. acervulina* pueden ser una herramienta que contribuya a determinar la virulencia de las cepas de *Eimeria*. Es necesario hacer más estudios que evalúen el efecto de esta variable con otras cepas de *Eimeria acervulina* y otras especies de *Eimeria* en la concentración de Xa plasmáticas para determinar las limitaciones o beneficios de éste y otros parámetros que comúnmente se usan para evaluar los efectos patológicos y económicos de las infecciones por eimerias.

Agradecimientos

A la excelente asistencia técnica de Cheryl A. Lester y Howard Lester.

Al Programa de Apoyo para la Superación del Personal Académico (PASPA), de la Dirección General del Personal Académico (DGAPA), de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Referencias

1. Allen, P. C. 1987. Physiological responses of chicken gut tissue to coccidial infection: comparative effects of *Eimeria acervulina* and *Eimeria mitis* on mucosal mass, carotenoid content, and brush border enzyme activity. *Poult. Sci.* 66:1306-1315.
2. Allen, P. C. 1989. Biochemical aspects of carotenoid malabsorption during coccidiosis in chickens, a review. Pages 193-203 in *Coccidia and intestinal coccidiomorphs*, Vth international coccidiosis conference, Les Colloques l'INRA. P. Yvore, ed. INRA, Paris.
3. American Veterinary Medical Association. 2013. The American Veterinary Medical Association Guidelines for the Euthanasia of Animals. 1931 N. Meacham Road Schaumburg, IL.
4. Assis, R. C. L., F. D. Luns, M. E. Beletti, R. L. Assis, N. M. Nasser, E. S. M. Faria, M. C. Cury. 2010. Histomorphometry and macroscopic intestinal lesions in broilers infected with *Eimeria acervulina*. *Vet. Parasitol.* 168:185-189.
5. Baker, R., and C. Günther. 2004. The role of carotenoids in consumer choice and the likely benefits from their inclusion into products for human consumption. *Trends Food Sci. Technol.* 15:484-488.
6. Breithaupt, D. E. 2007. Modern application of xanthophylls in animal feeding, a review. *Trends Food Sci. Technol.* 18:501-506.
7. Castañeda, M. P., E. M. Hirschler, A. R. Sams. 2005. Skin pigmentation evaluation in broilers fed natural and synthetic pigments. *Poult. Sci.* 84:143-147.
8. CIE. (1978) Recommendations on Uniform Colour Spaces, Colour Difference Equations, Psychometric Colour Terms. CIE Publication No. 15 (E-1.3.1) 1971/ (TO-1.3). Suppl. 15. CIE, Paris, France.
9. Conway, D. P., M. E. McKenzie, and A. D. Dayton. 1990. Relationship of coccidial lesion scores and weight gain in infections of *Eimeria acervulina*, *E. maxima*, and *E. tenella* in broilers. *Avian Pathol.* 19:489-496.
10. Conway, D. P., K. Sasai, S. M. Gaafarr, and C. D. Smothers. 1993. Effect of different levels of oocysts inocula of *Eimeria acervulina*, *E. tenella*, and *E. maxima* on plasma constituents, packed cell volume, lesion scores, and performance in chickens. *Avian Dis.* 37:118-123.
11. Fetterer, R. H., and Allen P.C. 2000. *Eimeria acervulina* infection elevates plasma and muscle 3-methylhistidine levels in chickens. *J. Parasitol.* 86:783-791.
12. Fletcher, D. L. 1999. Poultry meat color. Pages 159-174 in *Poultry Meat Science*. R. I. Richardson and G. C. Mead, ed. CAB International, Oxon, UK.



AECACEM

La Asociación Independiente de los Directores y Gerentes
de las Empresas Productoras de Pollo y Huevo en México



13. Hadden, W.L., Watkins, R.H., Levy, L.W., Regalado, E., Rivadeneira, D.M., Van Breemen, R.B. and Schwartz, S.J. (1999) Carotenoid composition of marigold (*Tagetes erecta*) flower extract Used as Nutritional Supplement. *J. Agricult. Food Chem.* 47:4189-4194.
14. Heffner, J. E., P. Roy, B. H. Davis, and W. B. Hilton. 1964. Consumer preference for broiler pigmentation in New Orleans, Louisiana. *Agr. Exp. Stat. Bull.* 586. La. State Univ., Baton Rouge, LA.
15. Hodgson, J. N. 1970. Coccidiosis: oocyst counting technique for coccidiostat evaluation. *Exp. Parasitol.* 28:99-102.
16. Johnson, J., and W. M. Reid. 1970. Anticoccidial drugs: lesion scoring techniques in battery and floor-pen experiments with chickens. *Exp. Parasitol.* 28:30-36.
17. Kijlstra A., Y. Tian, R. E. Kelly, T. T. J. M. Berendscot. 2012. Lutein: more than just a filter for blue light. *Poult. Sci.* 31:303-315.
18. Kotake-Nara E. and Nagao, A. 2011. Absorption and metabolism of xanthophylls. *Marine Drugs*, 9:1024-1037.
19. Kuehl, R. O. 1999. *Design of Experiments: Statistical Principles of Research Design and Analysis*. 2th ed. Book News, Inc., Portland, OR.
20. Kuttappan, V.A., V.B. Brewer, A. Mauromoustakos, S. R. McKee, J.L. Emmert, J.F. Meullenet, and C. M. Owens. 2013. Estimation of factors associated with the occurrence of white striping in broiler breast fillets. *Poult. Sci.* 92:811-819
21. Le Bihan-Duval, E., S. Mignon-Grasteau, N. Millet & C. Beaumont. 1998. Genetic analysis of a selection experiment on increased body weight and breast muscle weight as well as on limited abdominal fat weight. *Br. Poult. Sci.* 39:346-353.
22. Littlefield, L. H., J. K. Bletner, H. V. Shirley, and O. E. Goff. 1972. Locating the site of absorption of xanthophylls in the chicken by surgical technique. *Poult. Sci.* 51:1721-1725.
23. Liu, G. D., G. Y. Hou, D. J. Wang, S. J. Lv, X. Y. Zhang, W. P. Sun, and Y. Yang. 2008. Skin pigmentation evaluation in broilers fed different levels of natural okra and synthetic pigments. *J. Appl. Poult. Res.* 17:498-504.
24. Long P.L., Millard, B.J., Joyner, L.P. and Norton, C.C. 1976. A guide to laboratory techniques used in the study and diagnosis of avian coccidiosis. *Folia Vet. Lat.* 6: 201-217.
25. McDougald, L. R., and S. H. Fitz-Coy. 2008. Coccidiosis. Pages 1068-1085 in *Diseases of Poultry*. Y. M. Saif, A. M. Fadly, J. R. Glisson, L. R. McDougald, L. K. Nolan, D. E. Swayne, ed. Blackwell Publishing, Ames, IA.
26. Muñoz-Díaz, J. I., B. Fuente-Martínez, X. Hernández-Velasco, and E. Ávila-González. 2012. Skin pigmentation in broiler chickens fed various levels of metabolizable energy and xanthophylls from *Tagetes erecta*. *J. Appl. Poult. Res.* 21:788-796.
27. National Research Council. *Nutrient Requirements of Poultry*, 9th rev. ed. Washington, DC: National Academy Press, 1994.
28. Neter J., M. Kutner, W. Wasserman, C. Nachtsheim. 1996. *Applied Linear Statistical Models*. 4th ed. Irwin, Chicago.
29. Ogbuokiri, U. D. E., and S. A. Edgar. 1986. Effect of mild infections with six species of *Eimeria* on skin pigmentation of broiler chickens. *Poult. Sci.* 65:1816-1818.
30. Rance, K. A., G. M. McEntee, & R. M. McDevitt. 2002. Genetic and phenotypic relationships between and within support and demand tissues in a single line of broiler chicken. *Br. Poult. Sci.* 43:518-527.
31. Reid, W. M., and Johnson J. 1970. Pathogenicity of *Eimeria acervulina* in light and heavy coccidial infections. *Avian Dis.* 14:166-177.

32. Ruff, M. D., and, H. L. Fuller. 1975. Some mechanisms of reduction of carotenoid levels in chickens infected with *Eimeria acervulina* or *E. tenella*. *J. Nutr.* 105:1447-56.
33. Sharma, V. D., and M. A. Fernando. 1975. Effect of *Eimeria acervulina* infection on nutrient retention with special reference to fat malabsorption in chickens. *Can. J. Comp. Med.* 39:146-154.
34. Sirri, F., M. Petracci, M. Bianchi, and A. Meluzzi. 2010. Survey of skin pigmentation of yellow-skinned broiler chickens. *Poult. Sci.* 89:1556-1561.
35. Tyczkowski, J. K., and P. B. Hamilton. 1986. Absorption, transport and deposition in chickens of lutein diester, a carotenoid extracted from Marigold (*Tagetes erecta*). *Poult. Sci.* 65:1526-1531.
36. Tyczkowski, J. K., and P. B. Hamilton. 1991. Altered metabolism of carotenoids during pale-bird syndrome in chickens infected with *Eimeria acervulina*. *Poult. Sci.* 70:2074-2081.

