



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

"EVALUACION DEL EFECTO PIGMENTANTE DE
CUATRO PRODUCTOS COMERCIALES A BASE DE
FLOR DE CEMPASUCHIL (*Tagetes erecta*) EN DIETAS
PARA POLLO DE ENGORDA"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

P R E S E N T A :

MARCO GAMEZ TAMARIZ

ASESORES: MVZ. MSc. ERNESTO AVILA GONZALEZ
MVZ MC. RENE MORALES LOPEZ

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PAGINACION DISCONTINUA



REPUBLICA NACIONAL
ESTADO DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Evaluación del efecto pigmentante de cuatro productos comerciales a base de flor de cempasúchil (Tagetes erecta) en dietas para pollo de engorda":

que presenta el pasante: Marco Gámez Tamariz
con número de cuenta: 09657145-1 para obtener el título de :
Médico Veterinario Zootecnista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 16 de Mayo de 2002

PRESIDENTE	<u>Dr. Ariel Ortíz Muñiz</u>	
VOCAL	<u>Msc. Ernesto Avila González</u>	
SECRETARIO	<u>O.B. Lilián Morfn Loyden</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>MVZ. Jesús Guevara Vivero</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>MVZ. Juan Alfonso Monroy Juárez</u>	

DEDICATORIAS

A mi Madre

Dolores, con todo mi cariño y amor.

A mi Padre

Ignacio, quien me enseñó que el camino para lograr cualquier objetivo en la vida es la disciplina, la honradez y el trabajo.

A mis Hermanos

Leonel, Holanda, Niza, Polina y Dalia, quienes me han apoyado en todo momento y con quienes cada vez existen lazos mas fuertes de unión.

A mi Abuela

Esperanza Herrera, por ser un ejemplo de la alegría y ganas de vivir.

A todos mis amigos, gracias.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por permitirme cursar mis estudios de Licenciatura.

Al Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia donde se realizó este trabajo experimental.

A mi asesores el Dr. Ernesto Ávila por su valiosa amistad, sencillez y apoyo en la realización de este trabajo experimental. Al Dr. Rene Morales López por sus conocimientos y consejos tan oportunos.

A todos mis profesores quienes contribuyeron a mi formación profesional. Al grupo de académicos del CEIEPA " Granja Veracruz" Dr. Ezequiel Sánchez, Dra. Elizabeth Posadas, Dr. Jaime Esquivel, Dr. Benjamín Fuente, Dr. Tomas Jines y Dr. Arturo Cortés.

A mis compañeros y amigos de la granja Rene Morales, Oscar Olivares, Arturo García, Roberto Santiago y Manuel Ornelas, con los que compartí muchas horas de trabajo, experiencias y diversión; gracias amigos.

A la Dra. Mónica Hidalgo que es parte muy importante en la realización de esta tesis.

Al Dr. Francisco Javier Tirado por haber apoyado con sus conocimientos y haber proporcionado los pigmentos para la realización de este trabajo.

Al Dr. Juan Carlos Bello de BAFS su colaboración en la lecturas de la pigmentación con el colorímetro de reflectancia.

Al Dr. Carlos Ávila Arriola por su valiosa amistad.

Finalmente a todas las personas que colaboraron directa o indirectamente en la realización de este objetivo y que he olvidado mencionar.

I. INDICE

RESUMEN.	1
1. INTRODUCCIÓN.	2
1.1 Marco contextual.	2
1.1.1 Perspectiva de la avicultura en México.	2
1.2 Marco conceptual.	4
1.2.1 Composición química de los carotenoides.	4
1.2.2 Proceso de obtención de los pigmentos.	6
1.2.3 Saponificación.	7
1.2.4 Isomerización. Geometría de los isómeros.	8
1.2.4.1 Isómeros ópticos.	9
1.2.5 Consumo de los productos avícolas pigmentados.	9
1.2.6 Pigmentación de los productos avícolas.	11
1.2.7 Color y teorías de la pigmentación.	12
1.2.8 Colorimetría de reflectancia.	13
1.2.9 Cantidad de xantofilas necesarias en la dieta.	15
1.2.10 Factores que afectan la pigmentación.	17
2.0 HIPÓTESIS.	22
3.0 OBJETIVO GENERAL.	22
4.0 MATERIALES Y MÉTODOS.	23
4.1 Localización del experimento.	23
4.2 Experimento.	23
4.3 Modelo Experimental.	26
5.0 RESULTADOS.	27
6.0 DISCUSIÓN.	32
7.0 CONCLUSIONES.	35
8.0 LITERATURA CITADA.	36

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS.

Cuadro 1	Clasificación de los carotenoides por su capacidad pigmentante.	41
Cuadro 2	Dietas experimentales utilizadas en las fases de iniciación y finalización.	42
Cuadro 3	Resultados de los parámetros productivos evaluados a los 21 días de experimentación.	43
Cuadro 4	Resultados de los parámetros productivos evaluados a los 49 días de experimentación de las aves.	43
Cuadro 5	Resultados de enrojecimiento evaluados <i>in vivo</i> y post sacrificio.	44
Cuadro 6	Resultados de amarillamiento medidos <i>in vivo</i> y post sacrificio.	44
Cuadro 7	Resumen de luminosidad, medidos <i>in vivo</i> y post sacrificio.	45
Cuadro 8	Consumo acumulado de xantofilas por tratamiento en las etapas en las etapas de producción.	45
Figura 1	Estructura química de dos carotenoides naturales.	46
Figura 2	Tabla tridimensional que muestra los valores del sistema CIELA B.	47
Figura 3	Niveles de amarillamiento y enrojecimiento alcanzados en la evaluación a los 21 días de edad de las aves.	48
Figura 4	Niveles de amarillamiento y enrojecimiento en la evaluación <i>in vivo</i> a los 49 días de edad de las aves.	48
Figura 5	Comportamiento del enrojecimiento durante las siete semanas de experimentación.	49
Figura 6	Comportamiento de las evaluaciones del amarillamiento durante las siete semanas de experimentación.	49
Figura 7	Comportamiento de las evaluaciones de luminosidad durante las siete semanas de experimentación.	50

RESUMEN

Marco Gámez Tamariz. EVALUACIÓN DEL EFECTO PIGMENTANTE DE CUATRO PRODUCTOS COMERCIALES A BASE DE FLOR DE CEMPASÚCHIL (*Tagetes erecta*) EN DIETAS PARA POLLO DE ENGORDA. Bajo la dirección de MSc. Ernesto Ávila González y MC. Rene Morales López.

Con el objeto de evaluar el efecto pigmentante de diferentes productos comerciales, sobre la piel de pollos de engorda. Se realizó un experimento con 510 pollos de engorda Ross de 1 día de edad, los cuales fueron alojados en una caseta convencional y distribuidos en un diseño completamente al azar, con 5 tratamientos de 3 réplicas con 34 aves cada una. Se formularon dietas sorgo + pasta de soya que fueron suplementadas a razón de 40ppm y 85ppm de xantofilas saponificadas de flor cempasúchil en la fase de iniciación y finalización respectivamente con los diferentes pigmentos a evaluar: T1 PRODEMEX, T2 ALCOSA, T3 BIOQUIMEX, T4 PIVEG y T5 Testigo (sin adición de pigmento comercial). Los resultados obtenidos en 49 días de experimentación no mostraron diferencias estadísticas entre tratamientos ($P > 0.05$), para los parámetros productivos. En el caso de la evaluación de la variable pigmentación, para enrojecimiento en la piel de las aves (*in-vivo*) los resultados obtenidos, presentaron diferencias estadísticas ($P < 0.05$; $T1=1.62^b$, $T2=0.79^c$, $T3=1.05^{bc}$, $T4=1.38^{bc}$ y $T5= 4.83^a$), siendo el tratamiento 5 el de mayor grado de enrojecimiento por la ausencia de xantofilas amarillas. Los resultados en la piel del pollo post-enhielado indicaron nuevamente valores menores ($P < 0.05$) de enrojecimiento con los diferentes productos comerciales ($T1=7.74^b$, $T2=6.67^b$, $T3=6.89^b$, $T4=7.27^b$ y $T5=8.48^a$), en relación a la dieta testigo (blanco). Para la variable amarillamiento *in vivo*, a 49 días de edad, el T2, T3 y T4 tuvieron mejores ($P < 0.05$) escalas en piel ($T1=26.76^b$, $T2=28.78^a$, $T3=26.94^b$, $T4=27.30^{ab}$ y $T5=4.25^c$). Para la variable piel enhielada post-sacrificio, los tratamientos con adición de pigmentos comerciales fueron similares en la tonalidad amarillo y resultaron mayores ($P < 0.05$) a la dieta testigo blanco ($T1=48.23^a$, $T2=51.47^a$, $T3=51.28^a$, $T4=51.27^a$, y $T5=17.35^b$). La adición a una dosis de 40 ppm de xantofilas amarillas en la fase de iniciación y 85 ppm para la fase de finalización de los diferentes productos pigmentantes comerciales, a partir de xantofilas saponificadas de flor cempasúchil, presentaron resultados biológicos similares en la pigmentación para la piel (*in-vivo* y postsacrificio) de pollos de engorda a los 49 días de edad, lo que indica un buen control de calidad en la elaboración de estos productos evaluados.

1.0 INTRODUCCIÓN.

1.1.0 Marco contextual.

1.1.1 Perspectiva de la avicultura en México.

La avicultura es una actividad altamente productiva, que por medio del aprovechamiento de razas de aves genéticamente especializadas, se encarga de cubrir una gran parte de las necesidades de proteína de origen animal que se requieren en México¹.

El pollo es la carne más consumida en nuestro país, su consumo per cápita anual es de 19.9 Kg. Este sector productivo junto con el del huevo participa con el 7.85% del PIB agropecuario y el 32.72% del PIB pecuario, además de generar 900 mil empleos, de los cuales 140 mil son directos y 760 mil son indirectos¹.

Los productos avícolas en México por lo general se prefieren con una tonalidad amarillo o amarillo naranja (yema del huevo, piel y patas del pollo de engorda). Las cantidades de pigmento que se requieren suplementar a los alimentos de las aves, representan un considerable costo para los productores².

Actualmente en México las principales fuentes naturales concentradas de xantofilas empleadas para la formulación de raciones en avicultura son carotenoides de flor de cempasúchil y frutos del género *Capsicum*³.

El avicultor cuenta, no sólo con las fuentes naturales de pigmento en los ingredientes como el maíz, alfalfa o la flor de cempasúchil, sino también cuenta con pigmentantes sintéticos disponibles comercialmente, aunque estos

presentan la desventaja de ser mas costosos y además corrientes naturistas están ejerciendo una presión cada vez mayor para que se empleen pigmentos de origen natural y no sintéticos en la avicultura ³.

Esto justifica la realización de estudios sobre la pigmentación a fin de obtener una mayor eficiencia pigmentante y poder disminuir los costos de producción de pollo y huevo pigmentado⁴. Con estos antecedentes se planteó el presente trabajo de investigación, cuya finalidad fue evaluar el efecto pigmentante en pollos de cuatro productos comerciales elaborados y de mayor consumo en México.

1.2.0 Marco conceptual.

1.2.1 Composición química de los carotenoides.

Los carotenoides son sustancias solubles en lípidos, de naturaleza terpenoide, que están formados por subunidades repetidas (ocho unidades) de una molécula de 5 carbonos denominada isopreno. En su mayoría son hidroxicarburos de 40 carbonos polinsaturados, con dos ciclos unidos por una cadena alifática de dobles enlaces conjugados ^{5,6}.

Los carotenoides se dividen en carotenos y xantofilas. Los carotenos están formados exclusivamente por átomos de carbono e hidrógeno, mientras que las xantofilas se consideran productos de la oxidación de los carotenos (contienen átomos de oxígeno); por lo tanto se les conoce como oxicarotenoides ^{5,7,8,9}.

El termino xantofila proviene de las palabras griegas; *xanthos* que significa amarillo y *phylon* que significa hoja, esto se debe a que las primeras moléculas se aislaron a partir de hojas de color amarillo colectadas en el otoño, en la actualidad el nombre xantofila se refiere a cualquier oxicarotenoide y estos pueden ser de colores distintos al amarillo ⁷.

Los carotenoides son una familia de compuestos terpénicos que por su estructura química absorben selectivamente parte del espectro de luz visible, por lo cual son denominados pigmentos. Son el grupo más numeroso en la naturaleza, sus funciones son muchas y muy variadas; como ejemplo está el papel que juegan en las reacciones fotoquímicas de las plantas, las funciones

fisiológicas como la actividad de vitamina "A" de algunos carotenoides y por la específica función antioxidante en el metabolismo de los animales ^{10, 11}.

Existen muchas clasificaciones de los carotenoides, pero una de las más utilizadas aparece en el cuadro 1.

Según Viliesid ¹¹. Los carotenoides los podemos encontrar en tres grandes grupos:

1. Los provenientes de extractos de flor de cempasúchil y frutos del género *Capsicum*.
2. Los que vienen contenidos en otro ingrediente que dan un valor adicional al ingrediente, como el gluten de maíz.
3. Y los carotenoides producidos industrialmente, análogos a los naturales; cantaxantina y apoester ¹².

En la actualidad los carotenoides comerciales que tienen más importancia para el color amarillo en la avicultura, son:

- La luteína, pigmento amarillo presente en la alfalfa, maíz amarillo, gluten de maíz amarillo, harina de alfalfa y flor de cempasúchil.
- La zeaxantina, molécula de color amarillo-naranja presente también en los productos antes mencionados.
- El etil-éster del ácido apocarotenico (apoester) molécula de origen sintético, de color amarillo ⁵.

Existen otros carotenoides como la cantaxantina, citranaxantina, capsantina (pigmentos rojos) que se depositan cuantitativamente en la yema

del huevo y la piel del pollo de engorda. Estos pigmentos son utilizados en la alimentación de las aves para complementar las fuentes de pigmento amarillo y lograr la coloración amarilla o amarilla-anaranjada ⁷.

1.2.2 Proceso de obtención de los pigmentos.

Las xantofilas de *Tagetes erecta* son obtenidas por un proceso de prensado, deshidratación y molienda de la flor de cempasúchil, posteriormente se realiza una extracción (con oleoresinas) y se saponifica el producto, para después estabilizarlo con antioxidantes sintéticos y unirlo a un vehículo inerte de forma finamente granular, lo que nos permite producir preparaciones comerciales de calidad constante ^{3,13}. Estos pigmentos se comercializan en forma líquida, como emulsiones de xantofilas en agua más un agente surfactante, o en forma de harina con el bagazo de la flor como vehículo ^{5,7}.

La composición de las xantofilas de *Tagetes* es de 80 a 90% de luteína, 5% zeaxantina y de un 5 a 15% de carotenoides como la violaxantina y la criptoxantina, estas dos últimas sin valor pigmentante para las aves ⁷.

El apoester, la cantaxantina y la citranaxantina son productos obtenidos por síntesis química y contienen 100 gramos de principio activo/Kg de producto comercial. Al ser productos obtenidos por síntesis tienen como principal ventaja contra los productos naturales: el proceso de elaboración siempre similar, mínimas variaciones, estabilidad de alrededor de un año, además de que el

vehículo utilizado en su fabricación (matriz de almidón y gelatina) permite una protección antioxidante muy eficaz ³.

1.2.3 Saponificación.

Los carotenoides para ser absorbidos por las aves necesitan estar en su forma libre, sin embargo en la gran mayoría de las xantofilas naturales se encuentran en forma esterificada (diésteres de ácido palmítico y mirístico) lo que disminuye su biodisponibilidad. El proceso de saponificación consiste en romper los enlaces éster y dejar las xantofilas libres ¹⁰.

Los productos saponificados tienen mayor eficiencia pigmentante, aunque su estabilidad es menor, razón por la cual deben ser protegidos mediante la adición de antioxidantes y un empaque al vacío ^{4,13}.

La saponificación mejora la digestibilidad de las xantofilas de *Tagetes*; tal mejoramiento se debe a que las aves jóvenes tienen una pobre habilidad (40 - 60%) para saponificar y absorber grasas en su intestino ^{10,12,14,15}.

Debido al bajo desarrollo del aparato digestivo del pollo de engorda, la cantidad de lipasas y bilis no es suficiente para degradar completamente las xantofilas de sus diésteres a sus formas libres ¹².

Fletcher *et al.* ¹⁶ evaluaron el efecto de la saponificación previa de la flor de compasúchil en la preparación de alimentos para pollos, concluyendo que la saponificación de las xantofilas mejora la capacidad de colorear la piel. Al evaluar el efecto de la saponificación en la coloración de la yema del huevo no

encontraron diferencias significativas con el producto sin saponificar, por lo que se asume que esto se debe que existen diferencias en los mecanismo de absorción y deposición de los pigmentos en los animales por efecto de la edad ⁷.

1.2.4 Isomerización. Geometría de los isómeros.

La capacidad pigmentante de una xantofila puede variar de acuerdo al arreglo estructural en que se encuentre su molécula. La misma estructura química que da característica de pigmentos a los carotenoides, es decir la cadena alifática de ligaduras dobles conjugadas (Figura 1), los hace altamente sensibles a la degradación (isomerización) por efectos del oxígeno, luz, calor, o como resultado del proceso de fabricación ⁶.

Por la configuración de enlaces dobles conjugados, los carotenoides presentan isometría *cis* / *trans*. Las estructuras *trans*, al ser isomerizadas, dan origen a estructuras *cis*. Las estructuras *trans* son consideradas los pigmentos más efectivos, además tienen más estabilidad. La proporción de estructuras *trans* varía de un 60 a un 90%, mientras que para los *cis* es de 10 a 30%; estas proporciones influyen la absorción de los carotenoides y alteran su eficiencia pigmentante ^{10,13,17,18,19}.

1.2.4.1 Isómeros ópticos.

Debido a que los carotenoides poseen dos carbonos asimétricos, estas moléculas presentan lo que se conoce como isometría óptica. La importancia de esto radica en que solamente el isómero RR se deposita cuantitativamente en la piel del pollo, mientras que los isómeros RS y SS no lo hacen. Por lo tanto la actividad óptica de estas moléculas a nivel de piel de pollo es nula ^{5,19,20}.

Al someter los extractos de *Tagetes* a una saponificación por un tiempo mayor al necesario, la luteína presente se transforma en zeaxantina; por lo que actualmente existen xantofilas de *Tagetes* con un contenido de zeaxantina del 30 al 60%. Hasta un 90% de esta nueva zeaxantina está constituida por isómeros RS y SS, por lo tanto la actividad pigmentante de los *Tagetes* altos en zeaxantina a nivel de piel de pollo de engorda es muy pobre ⁵.

1.2.5 El consumo de los productos avícolas pigmentados.

Un factor que tiene importancia económica para su comercialización, es la pigmentación de los productos avícolas, tanto en pollo como en huevo ⁷.

La coloración de la piel del pollo es un importante criterio en la selección y preferencia del consumidor ^{6,7,10,21}. Esta predilección de los consumidores por aves con una tonalidad amarilla-anaranjada, proviene de una tradición de relacionarlos con animales comúnmente denominados de rancho o también con animales sanos y bien alimentados ⁷.

El consumidor en México prefiere un pollo fresco, con apariencia de campo, que su color sea fuerte y definido (sensación de salud), la experiencia indica que el color es el elemento más importante en la preferencia del consumidor. De allí la preocupación de tener una buena pigmentación tanto en la piel del pollo como en la yema de huevo ^{5,7,10,22,23,24}. Desde el punto de vista nutritivo los pigmentos no son necesarios, ni se les conoce función fisiológica alguna; a pesar de que las xantofilas pertenezcan al grupo de los carotenoides, no son precursores de la vitamina "A". El motivo de su empleo en las dietas balanceadas, es exclusivamente para darle al pollo de engorda y a la yema de huevo la pigmentación que el consumidor demanda ^{5,7,23,24}.

El grado de pigmentación en el pollo y yemas de huevo va a estar ligado además, a los consumidores de una zona geográfica determinada y a la disponibilidad de los productos ¹¹. Los comerciantes y procesadores de aves exigen que los pollos estén bien pigmentados de la piel y los tarsos porque así los venden mejor en el mercado ⁷.

La demanda de pigmentación es muy variable entre países; así como, entre las mismas regiones de un mismo país, ejemplo de ello es la caprichosa cultura de consumo de un pollo muy pigmentado del Distrito Federal y los Estados del Centro de la República.

1.2.6 Pigmentación de los productos avícolas.

La explotación de las aves se realiza en confinamiento, por lo que, no tienen acceso a fuentes naturales (plantas de hojas verdes) de pigmentación, lo que motiva a que las dietas formuladas para aves en postura o pollos en engorda deban incluir ingredientes ricos en xantofilas^{5,7,8,21,23}.

Actualmente el pollo de engorda alcanza el peso deseado comercialmente entre las 6 y las 7 semanas de edad, y cada vez consumiendo menos alimento, por lo que se requieren niveles elevados de pigmentos en relación a hace algunos años⁵.

El proceso de pigmentación es un fenómeno acumulativo por medio del cual las xantofilas se asimilan a nivel intestinal, y siguiendo un gradiente de concentración en donde las formas libres son absorbidas rápidamente, son transportadas por la sangre, depositadas en el hígado, de allí se movilizan y se almacenan en el tejido graso, piel y tarsos de las aves, reflejando un determinado grado de coloración final^{7,18,25}.

Los carotenoides son absorbidos en diferentes secciones del intestino, así; la zeaxantina es absorbida principalmente en el ileon, la luteína en el duodeno y yeyuno¹⁶. Después de cruzar la barrera intestinal, los carotenoides presentes en el plasma generalmente se concentran en la fracción de la lipoproteína de alta densidad (apo A-1) que funciona como transportador de xantofilas hacia los órganos blanco. Después de la absorción los carotenoides

libres son rápidamente depositados en yemas, tejido subcutáneo, piel y tarsos en diferentes proporciones, principalmente en formas esterificadas^{7,10,16,19,20,26}.

La deposición de los pigmentos varía su localización en la superficie de la piel y junto con la textura, frescura subcutánea, translucidez y deposición de melanina, hacen que lograr la apariencia externa sea un proceso complejo²⁷.

1.2.7 Color y teorías de la pigmentación.

El color es una característica física de la materia. Cuando la luz choca contra una superficie, una parte es absorbida y la otra es emitida por la superficie como ondas de diferentes longitudes, dependiendo de la longitud de onda emitida, será el color percibido por el ojo. Un concepto interesante con respecto a la forma en que el ojo humano percibe los colores es la saturación. Así cuando en una área existe un exceso de partículas de un color determinado, por ejemplo amarillo, el ojo humano percibe un color diferente, el anaranjado. Esta forma característica del ojo humano para percibir el color debe ser tomada en cuenta al momento de planear las estrategias para pigmentar el pollo de engorda. Por ejemplo, se ha demostrado que 45 ppm de apoester (amarillo) dan el mismo color en la piel del pollo que usando 15 ppm de apoester + 4 ppm de cantaxantina (rojo). Desde el punto de vista de la eficiencia económica éstas opciones de pigmentación tienen un gran potencial. El incremento en la proporción de xantofilas rojas o naranjas a expensas de las amarillas puede aumentar la pigmentación^{5,7,28}.

1.2.8 Colorimetría de reflectancia.

Los métodos para evaluar la pigmentación de las yemas y la piel del pollo de engorda se dividen en indirectos y directos. Los indirectos son el método aprobado AOAC y HPLC los cuales se basan en la concentración y perfil de xantofilas contenidas en una muestra analizada como lo son; alimento, suero, piel de la pechuga, piel de los tarsos y yemas de huevo. Se consideran indirectos por que correlacionan el valor obtenido de la muestra con un determinado color observado en la piel o yemas, aunque esta correlación no dejará de ser siempre una estimación ²⁹.

Los métodos directos consisten en la evaluación de la piel del pollo o las yemas de huevo contra un color conocido, ejemplo el uso del abanico de ROCHE o mediante la colorimetría de reflectancia ^{5,7}.

La colorimetría de reflectancia es una medición matemática de la reflexión de un haz de luz de intensidad conocida, que ofrece una metodología sencilla y no requiere de preparación previa de la muestra, además de que puede utilizarse tanto en interiores como en el campo ³⁰. La colorimetría de reflectancia tiene la ventaja de ser un sistema numérico, de manera que estos datos describen el color, la intensidad y la brillantez de una muestra respectiva. Además elimina la subjetividad de las lecturas, tiene estándares de referencia, evita la fatiga de la persona que evalúa los resultados, y las diferencias de color, por mas pequeñas que, sean las registra el aparato pues tiene alta resolución ^{3,13}. Para tal fin actualmente se usa un fotocolorímetro portátil (CR-300) Minolta

el cual funciona dando tres valores numéricos que corresponden a un color determinado; a* es el eje de los rojos-verdes, b* el de los amarillos-azules y la luminosidad va de blanco al negro ^{13,28}, como se ilustra en la Figura 2.

La colorimetría de reflectancia se ha convertido en un instrumento muy importante para la industria avícola y de los pigmentos respectivamente, por la importancia de valorar el color de los productos avícolas de manera objetiva y práctica ⁵.

La colorimetría de reflectancia en la avicultura utiliza el sistema CIELAB que evalúa:

- L* Luminosidad: la cual va de cero, negro absoluto, hasta el 100 que corresponde al blanco absoluto. En el caso de la piel del pollo, el rango aceptable para esta variable es entre 64 a 72.
- a* Enrojecimiento, que oscila de -60 a +60, donde los valores con tendencia negativa corresponden a los colores verdes y los de tendencia positiva corresponden a los rojos. El valor mínimo para esta variable es 2.
- b* Amarillamiento y azulamiento, varían de -60 a +100; siendo los azules los valores negativos, mientras que los amarillos cifras positivas. Aquí el valor mínimo es el 41^{3,5}.

También existe una escala práctica para calificar los niveles de pigmentación, utilizada por productores de pollo de engorda, así como en los mercados donde se comercializa pollo y consta de 5 niveles⁵:

- Tarsos amarillos, piel pálida.
- Tarsos amarillo pálido, piel amarillo claro.
- Tarsos anaranjados, piel amarilla.
- Tarsos naranja intenso, piel anaranjada.
- Tarsos naranja intenso, piel naranja intenso.

Es importante mencionar que debido a que el ojo humano no puede detectar la diferencia de tonos de color entre las distintas combinaciones de amarillos y rojos, es posible obtener la misma aceptación en el color de la piel del pollo con diferentes cantidades de pigmento, tan solo es necesario que las lecturas de los amarillos en CR-300 sean de 42 o mayores, y el ojo humano no detectará la diferencia, por lo tanto las lecturas del colorímetro Minolta pueden ser de 42 hasta 50 o más y lo que observará el consumidor es un lote de pollos con un color agradable^{3,5,7}.

1.2.9 Cantidades de xantofilas necesarias en la dieta.

La decisión del contenido a utilizar depende en primer lugar del mercado al que este dirigida; en segundo lugar de la disponibilidad de pigmentos, y finalmente de su precio⁴.

El efecto de la fórmula pigmentante estará en función del consumo de xantofilas por el ave, de modo que una vez establecida la base de consumo esperado de xantofilas, hay que ajustar el tiempo y gramos durante el cual la aves estarán consumiendo la formula diseñada. Este total consumido se

distribuirá en una determinada superficie a colorear, por lo que existe entonces la obvia relación entre peso-tamaño del ave y la necesidad de xantofilas pigmentantes⁴.

Si se reduce el consumo de alimento deberá entonces hacerse el correspondiente ajuste en los niveles de carotenoides calculados a fin de mantener el consumo total de xantofilas¹⁴.

Podemos alcanzar un mismo color mediante la combinación de distintas xantofilas. Dependerá de su costo, disponibilidad, de la intensidad y tono del color deseado el número de posibles combinaciones. La combinación de diferentes xantofilas, particularmente si son del mismo color (amarillas) nos ayudaría amortiguando los efectos de una variación en la calidad de una de ellas^{4,7}. Como ejemplo la combinaciones de apoester y luteína producen resultados mas regulares. Sin embargo la búsqueda de fórmulas equivalentes es bastante compleja, ya que la relación de sustitución de xantofilas dependerá de la eficiencia de utilización de cada una de las xantofilas utilizadas¹³.

1.2.10 Factores que afectan la pigmentación.

El lograr una pigmentación adecuada en el pollo de engorda no depende únicamente de la concentración de pigmento en la dieta; de hecho, se puede decir que el éxito o fracaso de cualquier estrategia pigmentante es el resultado de la interacción de muchos factores como la estirpe del ave, su alimentación, su manejo, el tipo de carotenoides utilizados, la presencia de toxinas y su salud

en general, entre muchos otros que afectaran la pigmentación final ^{5,6,31}. A continuación se enlistan algunos de ellos:

- **Tipo de carotenoide ofrecido:** Es necesario conocer las diferentes eficiencias pigmentantes de los carotenoides, tanto naturales como sintéticos, así como su estabilidad y disponibilidad en el mercado, para poder elaborar fórmulas eficientes⁵. También tiene gran importancia la estabilización de los alimentos con antioxidantes y la suplementación adecuada de vitaminas.
- **Genética de la parvada:** Por lo general, las líneas comerciales de pollo de engorda tienen capacidad genética para pigmentar su piel de color amarillo como lo indica Harms *et al.* 1977³². Sin embargo no todas las líneas tienen la misma capacidad de fijación de pigmento^{2,6,7}.
- **Alimentación:** Consumo de alimento, conversión alimenticia, tiempo y dosis de suministro de pigmento, nivel energético, mezclado del alimento balanceado; tipo, cantidad y calidad de grasa o aceite, influenciarán la pigmentación final⁵.

Los ingredientes que se utilizan comúnmente en la elaboración de los alimentos balanceados pueden aumentar o disminuir la pigmentación de las aves según sea el caso, así por ejemplo el tipo de grasas o aceites utilizados influyen en la pigmentación⁷. Hamilton *et al.*³³ mencionan que el grado de saturación afecta directamente la utilización digestiva de las grasas. Cuanto más saturadas sean las grasas, mayor cantidad de sales biliares serán necesarias para su emulsificación y para la formación de micelas, pudiendo resultar en una reducción en la absorción de las mismas. Así los ácidos grasos insaturados

aumentan la absorción. Además el incremento en el porcentaje de grasa añadida a la dieta mejorará la absorción de los carotenoides³³. El contenido de grasa del alimento determinará en gran parte la absorción del pigmento. De acuerdo con Tyczkowski³⁴, la adición creciente de grasa a partir de un 2% en el alimento hasta un máximo de 6%, mejora la absorción de carotenoides pigmentantes. Cuando los niveles subieron aun más, los efectos fueron negativos, debido tal vez a un aumento en la velocidad de tránsito del alimento en el intestino.

Por otro lado, si estas grasas o aceites se encuentran en mal estado (rancias) pueden provocar efectos contrarios, ya que las xantofilas también se oxidan^{16,35,36}.

La grasa es el tejido donde se deposita la mayor parte de los pigmentos que darán el color a la piel del pollo. La relación energía - proteína tiene un impacto directo sobre el engrasamiento de la canal por lo que una canal mal engrasada también será una canal mal pigmentada, así como el engrasamiento excesivo producirá resultados erráticos debido al efecto de la dilución del pigmento en la grasa³⁷.

- **Planta procesadora:** Para obtener un desplumado óptimo del pollo sin que se afecte la presencia de carotenoides en la piel, se necesita una temperatura en el agua de escaldado de 52 °C, al sobrepasar esta temperatura o aumentar el tiempo de permanencia en los tanques se produce daño a la epidermis y arrastre del pigmento de la piel^{4,5,7}.

- **Estado de salud:** Cualquier enfermedad que afecte el consumo de alimento, lesione las superficies y/o mecanismos de absorción o los sistemas de transporte, alterará el grado de deposición de carotenoides y con ello el color deseado en las aves ^{5,6,7,15}.

La salud de la parvada es de gran importancia. Enfermedades entéricas causadas por Reovirus, micotoxinas y coccidias afectan considerablemente la absorción de los pigmentos a nivel intestinal e inclusive disminuyen a las ya depositadas en el organismo; otras enfermedades involucradas en la utilización de los carotenoides son, la Enfermedad de Newcastle y la Enfermedad Crónica Respiratoria que afectan al pollo de engorda^{4,7}.

a) Reovirus: La falla en el ave para utilizar el pigmento de la dieta da como resultado lo conocido como Síndrome de Ave Pálida y es causado por la mala absorción, hiperexcreción o por el deterioro del metabolismo de los carotenoides en los tejidos ³⁶. Este síndrome comúnmente es mal interpretado como sinónimo del síndrome de mala absorción ³⁷. Sin embargo, el síndrome de mala absorción puede ocurrir en ausencia de Síndrome de Ave Pálida.

El síndrome de mala absorción provocado en infecciones por Reovirus produce cambios inflamatorios severos en el páncreas, en donde hay bloqueo de los ductos pancreáticos y disminución de enzimas digestivas en el jugo pancreático, provocando una alteración de la digestión y absorción de

nutrientes. Hay reducción en la absorción de grasas (20 – 40%) y severa despigmentación³⁶.

b) Toxinas: En la pobre pigmentación también están presentes aflatoxinas y ocratoxinas. Durante la aflatoxicosis se produce una hipocarotinemía, la aflatoxina altera la esterificación de la luteína en el contenido intestinal, disminuye su absorción y transporte e incrementa el secuestro de luteína en el hígado debido a una baja disponibilidad de las formas esterificadas^{31,38,39,40}.

Las aflatoxinas están relacionadas con fallas en la producción de enzimas pancreáticas, lo que provocará una mala digestión de las grasas y con ello, una mayor excreción en las heces^{36,40}.

Las ocratoxinas producen Síndrome de Ave Pálida más severo que aquel causado por aflatoxinas. La ocratoxina causa diarrea y reduce la concentración de carotenoides en el contenido intestinal haciendo que el contenido sea más acuoso que lo normal. Disminuye la absorción y transporte de carotenoides en el suero y existe una marcada disminución en los carotenoides del hígado, distinto del marcado incremento causado por las aflatoxinas³⁶. Las micotoxinas también pueden afectar al consumo de alimento, por rechazo, como en el caso de T2 o toxinas del hongo *Fusarium*³⁶.

c) Coccidiosis: La coccidiosis es una enfermedad que afecta principalmente la utilización de nutrientes provocando retardo del crecimiento, reducción en la eficiencia alimenticia y despigmentación⁴.

Asimismo, la absorción de nutrientes estará reducida debida tanto al daño directo provocado por el parásito, como por el cambio de la arquitectura de la mucosa que origina; hiperplasia general de la mucosa, además de, disminución del largo y número de microvellosidades^{38,41}.

Infecciones por *E. Tenella* provocan hiperexcreción. *E. Acervulina* provoca mala absorción e hiperexcreción y *E. máxima* disminuye la absorción de luz intestinal hacia la sangre⁴². Se ha calculado que la coccidiosis subclínica produce un aumento del 2 al 8% en el índice de conversión alimenticia, una merma de 50-100 gramos en la ganancia de peso y una disminución del 6 al 20% en el nivel de carotenoides plasmáticos, lo que se asocia a una menor pigmentación de la piel del pollo de engorda^{5,31}.

2.0 HIPÓTESIS.

Los cuatro diferentes productos comerciales con base en xantofilas saponificadas de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*), más empleados en la avicultura no proporcionan el mismo nivel de pigmentación en la piel y los tarsos de los pollos de engorda.

3.0 OBJETIVO GENERAL.

El objetivo del presente estudio será determinar la eficiencia pigmentante de cuatro productos comerciales a base de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) elaborados y utilizados en México, con la finalidad de identificar qué producto ofrece una mejor pigmentación de la piel y los tarsos de los pollos de engorda.

4.0 MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1 Localización del experimento.

El presente trabajo se llevó a cabo en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), localizado en la Colonia Santiago Zapotitlán, Delegación Tláhuac, México D.F. a una altitud promedio de 2250 msnm. entre los paralelos 19° 17' 30" latitud Norte y longitud Oeste, entre 98° 57' 30" bajo un clima templado subhúmedo, con bajo grado de humedad. Siendo Enero el mes más frío y Mayo el mes más caluroso, con una temperatura media anual de 16 °C y una precipitación pluvial media de 600 a 800 mm⁴³.

4.2 Experimento.

El experimento se realizó en una caseta de ambiente natural, en 15 corrales con una medida de 2 x 2 metros y con cama de viruta. Donde se alojaron 510 pollitos mixtos de un día de edad de la estirpe Ross provenientes de una incubadora comercial. Las aves fueron distribuidas utilizando un diseño completamente al azar, en 5 tratamientos con 3 réplicas de 34 aves cada una.

Se formularon dietas experimentales para iniciación y finalización a base de sorgo + soya (Cuadro 2), que cumplen con los requerimientos de nutrientes que indica la NRC ⁴³ 1994 excepto en EM que fueron similares a los que se emplean

en el Valle de México; Estas dietas fueron suplementadas con los pigmentos que a continuación se describen en los tratamientos experimentales:

- Tratamiento 1 (PRODEMEX, Producto líquido; con 11 g/Kg de xantofilas amarillas de concentración).
- Tratamiento 2 (ALCOSA, Producto líquido; con 11 g/Kg de xantofilas amarillas de concentración).
- Tratamiento 3 (BIOQUIMEX, Producto líquido; con 11 g/Kg de xantofilas amarillas de concentración).
- Tratamiento 4 (PIVEG, Producto polvo; con 15 g/Kg de xantofilas amarillas de concentración).
- Tratamiento 5 Testigo blanco, (sin pigmento).

Cabe mencionar que para la fase de iniciación (0 a 21 días) se manejó un nivel de inclusión de 40 ppm de xantofilas* para cada tratamiento, de acuerdo a la concentración de xantofilas amarillas del producto de marca comercial correspondiente y para la fase de finalización (22 a 49 día de engorda) se manejaron con 85 ppm de xantofilas* en cada tratamiento respectivamente.

Para la crianza de los pollos cada corral estaba equipado con una charola de iniciación, un bebedero de vitrolero, un rodete y una criadora infrarroja por cada dos corrales. En la fase de finalización se contó con un bebedero automático tipo Plasson y un comedero de tolva de plástico.

* Comunicación personal del Dr. Javier Tirado A. de los niveles empleados a nivel comercial por la industria avícola en el Altiplano.

Se aplicó un calendario de vacunación que consistió en aplicar a los 10 días de edad una vacuna emulsionada (vía subcutánea) cepa B1, contra la enfermedad de Newcastle, junto con la vacuna ocular cepa La Sota. El agua y el alimento se suministraron *ad libitum*.

Las variables evaluadas fueron: ganancia de peso, conversión alimenticia, consumo de alimento y porcentaje de mortalidad, que eran calculadas por semana para realizar un resumen general al final del ciclo (49 días de edad).

Además se evaluó la pigmentación de la piel de las aves en la zona de la apófisis cariniforme del esternón a los 7, 14, 21, 28, 35, 42 y 49 días de edad en todas las aves de cada réplica. Además se realizó una lectura al momento de terminar el sacrificio (49 días de edad, 5 aves por réplica) en un rastro comercial en la línea de procesamiento del pollo y posteriormente (24 horas post sacrificio) de las canales enhieladas. La evaluación de la pigmentación^{27,28,45} se realizó con el colorímetro de reflectancia Minolta CR-300. El colorímetro de reflectancia proporciona valores en el sistema CIELA B de brillantez (L), enrojecimiento (a^*), y amarillamiento (b^*).

Las variables evaluadas fueron sometidas a un análisis de varianza en base a un diseño completamente al azar y cuando existieron diferencias estadísticas significativas entre las medias de los tratamientos, estas se sometieron a la prueba de Tukey:

4.3 Modelo Experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar de acuerdo al siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij}$$

Y_{ij} = Valor de la variable de respuesta: ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, % de mortalidad, grado de amarillamiento, enrojecimiento y luminosidad en la piel, correspondiente al i -ésimo tratamiento con adición de pigmento comercial.

μ = Media general poblacional para ganancia de peso; consumo de alimento; conversión alimenticia; % de mortalidad; grado de amarillamiento, enrojecimiento y luminosidad en la piel.

τ_i = Efecto del i -ésimo tratamiento en la adición de pigmento comercial en la alimentación.

E_{ij} = Error experimental, asociado a cada una de las observaciones.

5.0 RESULTADOS.

Los resultados promedio finales del presente trabajo de investigación se señalan a continuación:

Parámetros productivos.

En el caso de los parámetros productivos observados durante la fase experimental, los resultados obtenidos a los 21 días de edad de las aves (Cuadro 3) no indicaron diferencias estadísticas ($P > 0.05$) entre los diferentes tratamientos, para las variables: ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia y porcentaje de mortalidad.

Para el ciclo completo, 49 días de edad de las aves (Cuadro 4), los resultados de la ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia y porcentaje de mortalidad, tampoco mostraron diferencias estadísticas ($P > 0.05$) entre tratamientos. Observándose que todos los tratamientos mostraron un comportamiento similar.

a* Enrojecimiento.

Los resultados de enrojecimiento obtenidos en la piel de las aves después de 21 días de recibir los diferentes pigmentos comerciales en el alimento, se presentan en el Cuadro 5. Observándose que se presentaron diferencias estadísticas ($P < 0.05$), siendo el tratamiento 5 el valor más alto (8.26a),

seguido del tratamiento 1 con (6.34b), los demás tratamientos mostraron un comportamiento similar entre ellos.

En el caso de la medición del enrojecimiento a los 49 días de edad de las aves (Cuadro 5), también existieron diferencias estadísticas ($P < 0.05$), se puede hacer notar que los valores mas bajos fueron para el tratamientos 2. Los tratamientos que presentaron los valores mas altos fueron el 1, 3 y 4; pero se mantuvieron inferiores al tratamiento 5.

La medición del enrojecimiento después del sacrificio y enfriamiento mediante enhielado, fue realizada en un rastro comercial, con el uso de un colorímetro de reflectancia Minolta CR 300®. Los resultados para piel indicaron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre tratamientos, mostrando que los tratamientos 1, 2, 3 y 4 fueron menores con respecto al tratamiento 5 (sin pigmento). En el caso de la medición en tarsos también se presentaron diferencias estadísticas ($P < 0.05$), los tratamientos 1, 2, 3 y 4 fueron similares entre ellos y el tratamiento 5 (testigo) mostró el valor mas bajo.

b* Amarillamiento.

Los resultados para amarillamiento obtenido en la 3ª semana de adición de pigmento en el alimento (Cuadro 6) fueron los siguientes: Los tratamientos con mejor nivel de amarillamiento ($P < 0.05$) fueron el 2, 3 y 4. El tratamiento que le siguió fue el 1 y finalmente el tratamiento 5 (Sin pigmento) con un valor muy bajo.

En la evaluación realizada a los 49 días de experimentación *in-vivo* con el uso del colorímetro de reflectancia Minolta CR 300® existieron diferencias estadísticas ($P < 0.05$), siendo los tratamientos 2 y 4, superiores al 3 y al 1. El tratamiento 5 continuó con un amarillamiento muy bajo.

Las mediciones del amarillamiento final en piel y tarsos después de enhielados realizada en el rastro (Cuadro 5), indicaron diferencias estadísticas de ($P < 0.05$) entre los tratamientos, siendo para piel similares entre tratamientos los con pigmento, mientras que, el tratamiento testigo presento un valor muy bajo. En la evaluación para tarsos los tratamientos con pigmento comercial fueron muy superiores al tratamiento 5 (testigo).

L Luminosidad.

Para el caso de la luminosidad (Cuadro 7), los resultados en la evaluación a los 21 días de edad de las aves, indicaron diferencias estadísticas ($P < 0.05$). El tratamiento con resultados más altos en luminosidad fue el 1. Los tratamientos que le siguieron fueron el 2,3,4,5, respectivamente. La luminosidad evaluada *in vivo* a los 49 días de experimentación en piel mostró diferencias ($P < 0.05$) aunque, estas solo fueron del tratamiento 5 (testigo) con respecto a los tratamientos con pigmentos comerciales.

La evaluación de luminosidad postsacrificio en piel con el uso del colorímetro de reflectancia Minolta CR 300® indicó diferencias estadísticas ($P < 0.05$), el tratamiento con valores mas altos fue el 5, seguido del 3 y 4; los

tratamientos con valores mas bajos fueron el 2 y el 1 respectivamente. En el caso de la evaluación en tarsos también existieron diferencias ($P < 0.05$), el tratamiento 5 fue el que presento los valores mas altos con respecto a los tratamientos con pigmento comercial.

Comportamiento de la pigmentación.

El comportamiento de las evaluaciones de la pigmentación realizadas semanalmente (Figuras 3 y 4) en el presente experimento y tomando en cuenta las variables; a^* - enrojecimiento, b^* - amarillamiento y L- luminosidad del Sistema CIELA B, ejemplifican el proceso acumulativo de pigmentos en la piel del pollo. Se puede observar que los valores de pigmentación elevados en la variable b^* - amarillos, coinciden siempre con los valores bajos en a^* rojos.

La Figura 5 muestra los valores del enrojecimiento de la piel, notándose como el color rojo disminuye progresivamente en los tratamientos con pigmento y como el tratamiento 5 siempre presento los valores mas altos en esta variable.

La Figura 6 muestra como el amarillamiento en piel tuvo un comportamiento similar entre los tratamientos y fue incrementándose semanalmente, sin embargo, este comportamiento no lo mostró el tratamiento 5 (sin pigmento) que siempre presento valores muy bajos. La Figura 7 ilustra un comportamiento similar entre los tratamientos con pigmento y el tratamiento 5 (sin pigmento).

Xantofilas consumidas.

Los resultados del consumo de xantofilas por tratamiento (Cuadro 8) fueron los siguientes. El consumo evaluado a los días 21 y 49 de experimentación, no indican diferencias estadísticas ($P > 0.05$) entre los tratamientos sometidos a evaluación.

6.0 DISCUSIÓN.

Los parámetros productivos, ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia y porcentaje de mortalidad, no mostraron ninguna diferencia estadística significativa a la adición de los diferentes productos pigmentantes. Los resultados obtenidos en el presente trabajo concuerdan con lo reportado en la literatura por Fernández⁵ y Ávila⁷, quienes mencionan que los pigmentos con base en flor de cempasúchil adicionados a las dietas de aves comerciales, no proporcionan ningún nutriente extra, lo cual no influye en el comportamiento productivo de los pollos de engorda.

La evaluación del amarillamiento realizada in vivo a los 49 días de experimentación, indicó mejor pigmentación en la piel ($P > 0.05$) en los tratamientos 2 (ALCOSA) y 4 (PIVEG), respecto a los tratamiento 1 y 3.

El amarillamiento en piel medido después del sacrificio y del enhielado fue igual con los cuatro productos pigmentantes. En el caso de las evaluaciones en tarsos los mejores tratamientos fueron el 2 y 1. Henken¹⁰, menciona que la calidad y eficiencia pigmentante de un pigmento comercial, dependerá de diversos factores implicados en su elaboración: a) grado de saponificación del extracto, un buen proceso de saponificación mejora la digestibilidad de las xantofilas de *Tagetes* y proporciona mayor eficiencia en la utilización por el pollo de engorda; b) Proporción Luteína : Zeaxantina : otros carotenoides de un extracto está determinada por el proceso de elaboración del pigmento; c)

Relación de estructuras *cis* / *trans*, ya que las formas *trans* son más eficientes para pigmentar la piel que la formas *cis*. Se podría asumir que los cuatro productos, presentan un buen control de calidad en los procesos de elaboración, por lo cual su eficiencia pigmentante fue similar, sin embargo esta suposición no fue comprobada en este trabajo.

La pigmentación en la piel después del procesamiento en rastro y enhielado, es evaluada por empresas avícolas y por productoras de pigmentos, quienes la consideran de gran importancia, ya que se trata de la presentación que llegara al consumidor. Los resultados de la variable b^* amarillamiento en la piel del pollo enhielado con el uso de extractos de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) obtenidos en este estudio, fueron similares entre los cuatro productos comerciales utilizados. Los valores fueron aceptables de acuerdo a lo reportado por Tirado³ y Fernández⁵, quienes por medio de colorimetría de reflectancia marcan como mínimo un valor de 41 en la escala de amarillamiento y de 2 en el enrojecimiento para considerar al pollo un producto aceptable y con buena pigmentación^{3,5}.

Cabe indicar que la dieta sin pigmento (tratamiento 5) que se ofreció a los pollos durante el experimento, presentó valores de enrojecimiento en piel (21 - 49 días y enhielada respectivamente) mayores a los obtenidos por los tratamientos 1, 2, 3 y 4 que contenían pigmento. Estos resultados son similares a los obtenidos por Piracés⁴, quien menciona que cuando no utilizamos pigmentos en la dieta, el enrojecimiento de la piel del pollo puede dar valores

mas altos, esto como resultado de la relación que existe entre los glóbulos rojos de la sangre y la ausencia de xantofila amarillas.

7.0 CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos y bajo las condiciones experimentales empleadas se puede concluir que:

- Los cuatro pigmentos a base de flor de cempasúchil fueron una excelente fuente de xantofilas para la pigmentación de los pollos. Los productos adicionados a una dosis de 40 ppm en la etapa de iniciación y 85 ppm para la fase de finalización, presentaron muy buenos resultados de pigmentación de la piel del pollo de engorda al día 49 de edad en la evaluación *in-vivo* y postsacrificio. Lo que indicó un buen control de calidad en la elaboración de estos productos.
- La pigmentación obtenida en la piel de los pollos posterior a su sacrificio, resultó en un rango de amarillamiento de 48.23 a 51.47 y de enrojecimiento de 6.67 a 7.74. Lográndose valores superiores a los recomendados en la piel del pollo para un producto con buena calidad de pigmentación.

8.0 LITERATURA CITADA.

1. Compendio de Indicadores Económicos del Sector Avícola 2000 – 2001. Unión Nacional de Avicultores. México, 2001.
2. Middendorf DF, Childs GS, Cravens WW. *A rapid bioassay for the comparison of xantopyll availability from various sources.* Poultry Sci 1980; 59; 1442-1454.
3. Tirado FJ. *Pigmentos y pigmentación.* X Ciclo de Conferencias Internacionales Sobre Avicultura, AMENA: 1991; 181-197.
4. Piracés SF, Cortés CR. *Factores que afectan la pigmentación de pollo de carne.* Productos ROCHE. X Ciclo de Conferencias Internacionales Sobre Avicultura, AMENA: 1991; 103-127.
5. Fernández S. *Pigmentación en Avicultura.* Industrias Roche, Diplomado en Producción Avícola, UNAM. 2001;150-157.
6. Septien FJ. *Los pigmentos en la industria de los alimentos balanceados.* Industrias Alcosa, Diplomado en Producción Avícola, UNAM. 1994.
7. Ávila GE. *Pigmentantes en la avicultura.* en: *Anabólicos y Aditivos en la Producción Pecuaria.* Sistema de Educación Continua en Producción Animal en México, AC. 1990: 239-250.

8. Marusich W, Bauernfeind JC. *Oxicarotenoids in poultry feeds*. In: Carotenoids as colorants and Vitamin A Precursors. Academic Press, Inc. New York, NY. 1981: 319-462.
9. Scott ML, Nesheim MC, Young RJ. *Nutrition of the chicken*. 3ª edición. Editorial ML Scott & Associates. Ithaca Iowa, NY 1982.
10. Henken H. *Chemical and physiological behavior of feed carotenoids and their effects on pigmentation*. Poultry Sci 1992; 71; 711- 717.
11. Viliesid F. *Sobre la naturaleza de los pigmentos carotenoides*. Boletín técnico N° 1. Industrias Alcosa, 1999.
12. Viliesid F, Nivon BC. *Sobre la composición de los pigmentos naturales de uso avícola*. 1990. XV Convención Anual ANECA: 119-128.
13. ROCHE. *Poultry Pigmentation Dossier*. 1990.
14. Tyczkowski JK, Hamilton PB. *Absorption, Transport, and Deposition in Chickens of Lutein diester, a carotenoid Extracted from Marigold (*Tagetes erecta*) Petals*. Marketing and products. Poultry Sci 1986: 85; 1526-1531.
15. Hamilton PB. *Improved deposition of oxicarotenoids in Egg yolks by dietary cottonseed oil*. Poultry Sci 1990; 69: 354-359.
16. Perez-Vendrell AM, Hernandez JM, Llaurado L, Schierle J, Brufau J. *Influence of source and ratio of xanthophyll pigments on broiler chicken pigmentation and performance*. Poultry Sci 2001; 80: 320-326.
17. Tyczkowski JK, Scheaffer JL, Parknust C, Hamilton PB. *Oxolutein a metabolite of lutein in chicken*. Poultry Sci 1986: 65; 2135-2141.

18. Septi3n FJ. *Los pigmentos en la industria de los alimentos balanceados*. Industrias Alcosa.
19. Fletcher DL, Papa CM, Tirado FX. *The effect of saponification on the broiler coloring capability of marigold extracts*. Poultry Sci 1986; 65; 1708-1714.
20. Lehninger LA. *L3pidos, lipoprote3nas y membranas*. en: Bioqu3mica de Lehninger, Omega: 1995.
21. Mayes AP. *L3pidos de importancia fisiol3gica*. en: Bioqu3mica de Harper. Manual Moderno: 1992.
22. Cuca GM, 3vila GE, Pr3 MA. *Pigmentantes*. en: Alimentaci3n de las aves. Universidad Aut3noma de Chapingo. 1996: 84-88.
23. Sunde ML. *The Scientific way to pigment poultry products, introduction to the symposium¹* Poultry Sci 1992: 71; 709-710.
24. Williams WD. *Origin and impact of color on consumer preference for food*. Poultry Sci 1992: 71; 744-746.
25. Herrick GM. *Repletion and depletion of pigmentation in broiler skin and shanks*. Poultry Sci 1971; 50: 1467-1475.
26. Vicente SJL. *Aspectos b3sicos sobre la pigmentaci3n en la industria av3cola*. Diplomado en: Producci3n Av3cola, UNAM: 2001; 145-149.
27. Fletcher DL. *Methodology for Achieving Pigment specifications*. Poultry Sci 1992: 71; 733-743.
28. Janky DM. *The use of the Minolta, reflectance chromometer 11TM for pigmentation evaluations of broiler skanks*. Poultry. Sci 1985; 65; 491-496.

29. Cortés CR, Leal MJ. *La medición de la intensidad del color de la piel del pollo de engorda*. Tec. Avipec 1997: 109; 38-39
30. Becerril GMJ. *Pigmentación con luteína y capsantina en pollos de engorda y huevo*. I, II, III. Tec. Avipec 1988-1989; N° 10,11,12.
31. Tyczkowski JK, Schaeffer LJ, Hamilton PB. *Measurement of malaabsorption of carotenoids in chickens with Pale-Bird Syndrome¹* Poultry Sci 1991; 70: 2275-2279.
32. Harms RH, Fry JL, McPherson BN. *Evidence of differences in pigmentation among strains and acrosses of broilers*. Poultry Sci 1977: 56; 86-90
33. Hamilton BP. *The use of high-performance liquid chromatography for studying pigmentation*. Poultry Sci 1992: 71; 718-724.
34. Tyczkowski JK. *Influence of dietary lipids on pigmentation of young chicken*. Poultry Sci 1989: 68; 1246-1254.
35. Wiseman J. *Nutrition and carcass fat*. Poultry Inter 1988: 27; 12-14.
36. Hamilton BP. *Pale bird syndrome*. Proceedings Maryland Nutrition Conference. 1984: 33-42.
37. Osborne DJ, Huff WE, Hamilton PB, Burmeister HR. *Comparison of Ochratoxin, aflatoxin, and T-2 toxin for their effects on selected parameters related to digestion and evidence for specific metabolism of carotenoids in chickens*. Poultry Sci 1982: 61; 1646-1652.

38. Ruff DM, Fuller LH. *Some mechanisms of reduction of carotenoid levels in chickens infected with E. acervulina or E. tenella.* Journal Nutrition 1975. Volúmen 105. Págs. 1447-1456.
39. Schaeffer J, Tyczkowski JK, Hamilton PB. *Alterations in carotenoid metabolism during ochratoxicosis in young broiler chickens.* Poultry Sci 1987; 66; 318-324.
40. Schaeffer J, Tyczkowski JK, Riviere JE, Hamilton PB. *Aflatoxin-impaired ability to accumulate oxycarotenoid pigments during restoration in young chickens.* Poultry Sci 1988; 67; 619-625.
41. Allen PC. *Biochemical aspects of the carotenoid malabsorption during coccidiosis in chickens.* Vth International Coccidiosis conference. 1989; 17-20.
42. Britton G. *Carotenoids.* Methods in plant Biochemistry 1991; 7; 473-518.
43. García ME. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Copen.* Instituto de Geografía, UNAM. 1973.
44. National Research Council, 1994. *Nutrient Requirements of Poultry.* National Academy Press. 1994.
45. Minolta. *Fundamentals of colour seminar. Precise color communication* Minolta. 1993.

CUADROS.

Cuadro 1. Clasificación de los carotenoides por su capacidad pigmentante.

PRECURSORES DE VIT. A	NO PIGMENTAN	α -CAROTENO β -CAROTENO
	PIGMENTAN	CRIPTOXANTINA β -APO-8'-CAROTENAL, AMARILLO ESTER ETÍLICO DEL ÁCIDO β -8 APOCAROTENOICO (SINTÉTICO) AMARILLO
NO PRECURSORES DE VIT. A	NO PIGMENTAN	VIOLAXANTINA NEOXANTINA
	PIGMENTAN	LUTEÍNA, AMARILLO ZEAXANTINA (SINTÉTICO) NARANJA CANTAXANTINA (SINTÉTICO) ROJO CAPSANTINA ROJO CITRANAXANTINA (SINTÉTICO) ROJO

Cuadro 2.

Diets experimentales que fueron utilizadas en las fases de iniciación y finalización.

<i>Ingredientes Kg</i>	<i>Iniciación</i>	<i>Finalización</i>
Sorgo	584.97	657.56
Pasta de soya	344.12	264.98
Aceite vegetal	20.86	27.12
Calcio (Ca CO ₃)	17.39	17.05
Ortofosfato	15.96	11.57
Pigmento.**	3.62	7.72
Sal	3.85	3.87
Pmz. Vits.*	2.50	2.50
DL-Metionina	2.63	1.59
Pmz. Mins.*	1.00	2.50
Antifungal	0.50	0.50
L-Treonina	0.32	0.88
Bacitracina	0.50	0.50
Colina 60 %	0.40	0.50
Coccidiostato	0.50	0.50
Antioxidante	0.11	0.10
L-Lisina - HCL	0.73	1.98

Aportes nutricionales calculados:

E.M. Kcal/kg	2950	3050
Proteína %	21.00	18.00
Calcio %	1.00	0.90
Fosforo disp. %	0.45	0.35
Lisina %	1.10	1.00
Metionina %	0.57	0.43
Met+Cistina %	0.90	0.72
Treonina %	0.80	0.74

* Proporciona por Tonelada de alimento: Vitamina A (12,000,000 UI), Vitamina D3 (2,500,000 UI), Vitamina E (15,000UI), Vitamina K (2.0 g), Vitamina B1 (2.25g), Vitamina B2 (7.5g), Vitamina B6 (3.5 g), Vitamina B12 (20 mg), Acido Fólico (1.5g), Biotina (125mg), Ac. Pantoténico (12.5g), Niacina (45g), Hierro (50g), Zinc(50g), Manganeseo (110g), Cobre (12g), Yodo (0.30g), Selenio (200mg), Cobalto (0.20g).

**Pigmento comercial adicionado desde el primer día de edad. (Variable la cantidad según la fuente utilizada).

Cuadro 3

Resultados de los parámetros productivos evaluados 21 días de experimentación.

TRATAMIENTO	Ganancia de peso (g)	Consumo de alimento (g)	Conversión alimenticia	% de mortalidad
1. PRODEMEX	540 NS	800 NS	1.43 NS	1.96 NS
2. ALCOSA	570 NS	790 NS	1.39 NS	2.97 NS
3. BIOQUIMEX	570 NS	840 NS	1.45 NS	1.01 NS
4. PIVEG	570 NS	820 NS	1.44 NS	1.96 NS
5. BLANCO	540 NS	820 NS	1.51 NS	1.01 NS

NS; No se encontraron diferencias estadísticas ($P > 0.05$)

Cuadro 4

Resultados de los parámetros productivos evaluados 49 días de edad de las aves.

TRATAMIENTO	Ganancia de peso (g)	Consumo de alimento (g)	Conversión alimenticia	% de mortalidad
1. PRODEMEX	2388.0 NS	4740.0 NS	1.99 NS	2.88 NS
2. ALCOSA	2460.0 NS	4600.0 NS	1.87 NS	7.90 NS
3. BIOQUIMEX	2470.0 NS	4890.0 NS	1.98 NS	4.10 NS
4. PIVEG	2340.0 NS	4690.0 NS	2.00 NS	4.90 NS
5. BLANCO	2420.0 NS	4650.0 NS	1.92 NS	5.05 NS

NS; No se encontraron diferencias estadísticas ($P > 0.05$)

Cuadro 5

Resultados de enrojecimiento evaluados <i>in vivo</i> y postsacrificio.				
TRATAMIENTO	Piel			Tarsos
	21 días	49 días	Enhielada	Enhielados
1. PRODEMEX	6.34b	1.62b	7.74b	4.33a
2. ALCOSA	5.48c	0.79c	6.67b	5.43a
3. BIOQUIMEX	5.39c	1.05bc	6.89b	4.80a
4. PIVEG	5.35c	1.38bc	7.27b	5.60a
5. BLANCO	8.26a	4.83a	8.48a	-0.15b

Valores con distintas letras son diferentes ($P < 0.05$)

Cuadro 6

Resultados de amarillamiento medidos <i>in vivo</i> y postsacrificio.				
TRATAMIENTO	Piel			Tarsos
	21 días	0-49 días	Enhielada	Enhielados
1. PRODEMEX	12.83b	26.76b	48.23a	73.60ab
2. ALCOSA	14.45a	28.78a	51.47a	77.70a
3. BIOQUIMEX	14.10ab	26.94b	51.28a	72.69b
4. PIVEG	13.65ab	27.30ab	51.27a	71.80b
5. BLANCO	2.28c	4.25c	17.35b	27.15c

Valores con distintas letras son diferentes ($P > 0.05$)

Cuadro 7

Resumen de Luminosidad, medidos <i>in vivo</i> y postsacrificio.				
TRATAMIENTO	Piel			Tarsos
	21 días	0-49 días	Enhielada	Enhielados
1. PRODEMEX	60.52a	63.47b	68.12b	72.02b
2. ALCOSA	58.45b	63.52b	68.70b	72.17b
3. BIOQUIMEX	58.22b	63.87b	70.70ab	72.05b
4. PIVEG	59.21b	63.85b	70.20ab	71.61b
5. BLANCO	59.22b	65.22a	74.77a	77.60a

Valores con distintas letras son diferentes ($P < 0.05$)

Cuadro 8

Consumo acumulado de xantofilas por tratamiento en las etapas de producción (mg)			
TRATAMIENTO	0-21 días	22- 49 días	0-49 días
1. PRODEMEX	32.00 NS	334.86 NS	366.86 NS
2. ALCOSA	31.60 NS	323.36 NS	354.96 NS
3. BIOQUIMEX	33.60 NS	344.87 NS	378.47 NS
4. PIVEG	32.80 NS	328.66 NS	361.46 NS
5. BLANCO	0.0	0.0	0.0

NS; No se encontraron diferencias estadísticas ($P > 0.05$)

FIGURAS

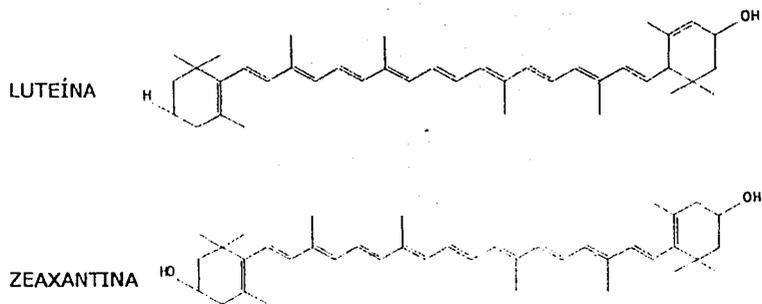


Figura 1. Estructura química de dos carotenoides naturales.

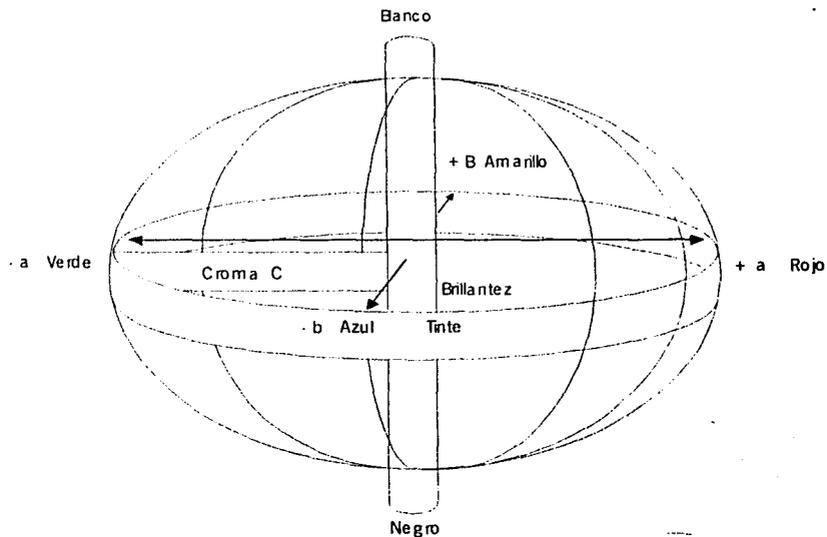


Figura 2. Tabla tridimensional que muestra los valores del sistema CIELA B.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

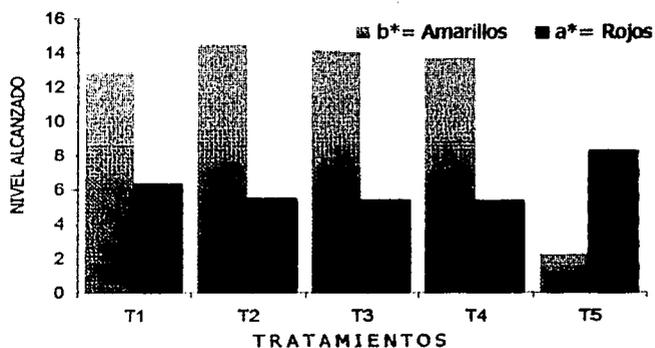


Figura 3. Niveles de amarillamiento y enrojecimiento alcanzados en la evaluación a los 21 días de edad de las aves.

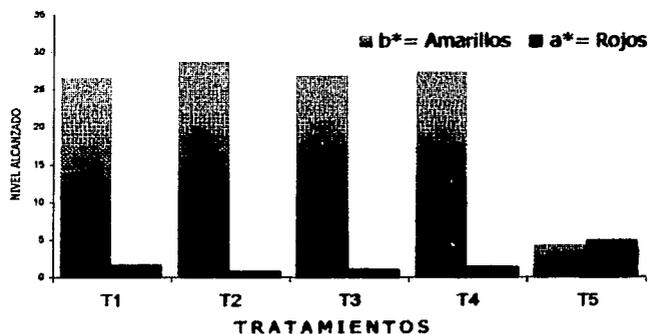


Figura 4. Niveles de amarillamiento y enrojecimiento en la evaluación *in vivo* a los 49 días de edad de las aves.

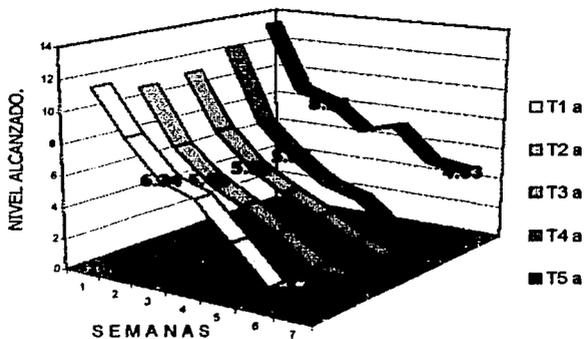


Figura 5. Comportamiento del enrojecimiento durante las siete semanas de experimentación.

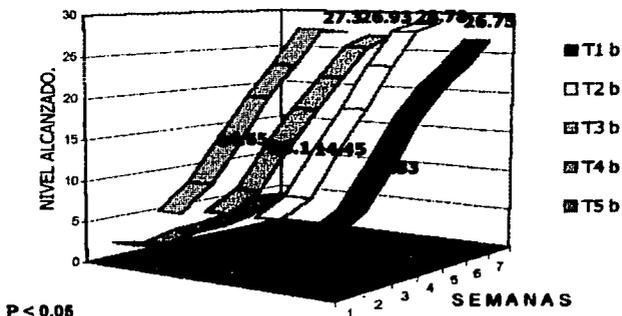


Figura 6. Comportamiento de las evaluaciones del amarillamiento durante las siete semanas de experimentación.

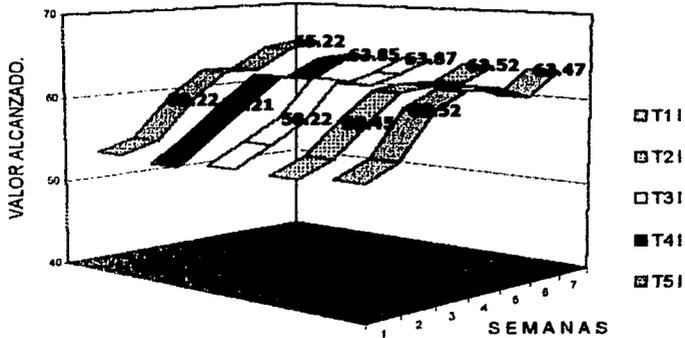


Figura 7. Comportamiento de las evaluaciones de luminosidad durante las siete semanas de experimentación.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**