

Influencia de harinas de yuca y de batata sobre pigmentación, contenido de carotenoides en la yema y desempeño productivo de aves en postura

César Augusto Posada T.,¹ Zoot. MSc.; Arnobio López G.,² Ph.D.; Hernán Ceballos L.,³ Ph.D.

RECIBIDO: FEBRERO 15 DE 2006. ACEOTADO: JUNIO 06 DE 2006

¹ Estudiante de Maestría Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.

² Profesor Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.

³ Líder del Programa de Genética de Yuca. CIAT. Cali – Colombia.

RESUMEN

Se evaluaron ocho dietas iso-energéticas (2.9 Kcal/g) e iso-proteicas (14.5% CP) [(Sin pigmento comercial (t1); pigmento comercial (t2); harina de yuca al 15% (t3); harina de yuca al 30% (t4); harina de batata al 15% (t5); harina de batata al 30% (t6); harina de yuca más harina de batata al 15% cada una (t7) y harina de yuca más harina de batata al 25% cada una (t8)] en un diseño completamente al azar utilizando cuatro réplicas de tres gallinas cada una durante siete periodos experimentales. La concentración de carotenos totales (espectrofotometría UV-visible) presentó diferencias ($P < 0.01$) entre las dietas. La pigmentación (Abanico Roche) y la concentración de carotenos en huevos provenientes de dietas con harinas de yuca y de batata no presentaron diferencias ($P > 0.05$); sí lo hicieron con las dietas testigo ($P < 0.01$). La dieta con pigmento comercial demostró la más alta pigmentación y concentración de carotenoides en yema de huevo. No se observaron diferencias ($P > 0.05$) entre yemas provenientes de dieta sin pigmento y de dietas con harina de yuca y de batata. Luteína, β -caroteno, α -caroteno, 9-cis- β -caroteno fueron los más importantes carotenoides encontrados en dietas y en yemas de huevo (HPLC). Cantaxantina solo se encontró en el testigo con pigmento comercial. La concentración fue del 65% del perfil de carotenoides. Luteína fue el principal carotenoide encontrado en yemas mientras que β -caroteno fue mayor en las dietas. Las yemas provenientes de dietas con harina de yuca y harina de batata al 15% tuvieron los más altos Equivalentes Retinol de provitamina A. El tipo y componentes del huevo no demostraron diferencias ($P > 0.05$). El desempeño productivo tuvo diferencias ($P < 0.01$).

Palabras clave: *Manihot esculenta*, *Ipomoea batatas*, Carotenoides, yemas de huevo, vitamina A, harinas.

SUMMARY

Utilization effect of cassava (*Manihot esculenta*) and potatoe (*Ipomoea batatas*) on pigmentation, carotenoids and on egg yolk and performance yield hens. Eight diets (T1: without pigment, T2: commercial pigment, T3: cassava meal 15%, T4: cassava meal 30%, T5: sweet potato meal 15%, T6: sweet potato meal 30%, T7: cassava and sweet potato meal 15% each, T8: cassava and sweet potato meal 25% each) in a randomized design using four replicates of three hens each during seven experimental periods were evaluated. Diets were iso-energetics (2.9 kcal/g) and iso-proteins (14.5% CP). Carotenoid concentrations (UV-visible chromatography) had differences ($P < 0.01$) among diets. Pigmentation (Fan Roche) and carotenoid concentration in egg yolks to come from cassava and sweet potato diets did not show differences ($P > 0.05$). A comparison with egg yolk to come from test diets significant differences ($P < 0.01$) were detected. Diet with commercial pigment showed the highest pigmentation and carotenoid concentration in egg yolk. The other hand, there saw not differences ($P > 0.05$). A comparison with egg yolk to come from test diets significant differences ($P < 0.01$) were detected. Diet with commercial pigment showed the highest pigmentation and carotenoid concentration in egg yolk. The other hand, there saw not differences ($P > 0.05$) between egg yolk to come from diet without pigment and cassava and sweet potato diets. Lutein, β -carotene, α -carotene, and 9-cis- β -carotene were the most important carotenoids found in diets and egg yolk (HPLC). Cantaxanthin was found in egg yolk and diet with commercial pigment only. Its concentration reached to 65% in profile carotenoids. Lutein was the main carotenoid in egg yolk, while β -carotene was the highest in all diets. Egg yolk that come from cassava and sweet potato 15% diet, showed the highest Retinol

Equivalent provitamin A. Type and component egg, don't showed differences (P>0.05). There were differences (P<0.01) in yield performance.

key words: *Manihot esculenta*, *Ipomoea batatas*, Carotenoids, egg yolk, vitamin A, meals.

INTRODUCCIÓN

En calidad de huevo la pigmentación es una característica importante para el consumidor. Como posibles fuentes naturales de xantofilas en pigmentación de yema de huevo se han evaluado *Tithonia diversifolia* Hemsl, *Tagetes erecta*; *Cynodon dactylon*; *Leucaena leucocephala*; material foliar de *Manihot esculenta*, *Gliricidia sepium* y *Amaranthus sp.*, *Ipomoea batatas* (Medina y Carreño, 1999; Restrepo, 2005).

Dentro del genoma de yuca del CIAT existen genes para producir raíces de pigmentación anaranjada, no deseables para el mercado fresco, pero que ofrecen ventajas para uso avícola (Ceballos, 2002). El contenido de carotenos totales en raíz de yuca oscila entre (0.13 y 0.92 µg/ M. F. (Bolaños, 2001), en la variedad AM 320-140 el mejoramiento genético ha elevado este valor a 1.0 µg/ de M. F. (Calle,* 2004, datos sin publicar).

La raíces de algunas variedades de batata presentan altos contenidos de carotenos totales (Woolfe, 1992). La pigmentación varía entre blanco, crema y amarillo (Hernández *et al.*, 2003). La variedad Tainun-66 presenta contenidos de carotenos totales de 54.20 µg/g (datos sin publicar Clayuca, 2004).

Con la investigación se espera realizar aportes en la búsqueda de recursos genéticos de yuca y de batata con uso potencial en la alimentación de aves.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo se desarrolló en el Centro Latinoamericano de Especies Menores (CLEM) del SENA (Tuluá, departamento del Valle del Cauca, 1000 msnm, 25°C, precipitación anual de 1000 mm, humedad relativa del 74%). Las pruebas de laboratorio se desarrollaron en el CIAT y en la Universidad Nacional de Colombia en Palmira. Se utilizaron 96 gallinas de postura de la línea Isa Brown con una edad inicial de 37 semanas y una edad final de 44 semanas con un peso promedio de 1800 g. Se utilizaron jaulas tipo estándar de 30 cm de frente x 50 cm de fondo x 45 cm de alto con capacidad para 3 gallinas. Las dietas fueron isoprotéicas (14.5%) e isoenergéticas (2900 kcal/kg) formuladas con base en los requerimientos nutricionales para ponedoras semipesadas según las Tablas brasileras de Rostagno, 2000 (Tablas 1 y 2). El ensayo comprendió dos periodos de acostumbramiento a la dieta y 7 periodos experimentales de una semana cada uno, entre el 19 de septiembre y 6 de noviembre de 2005.

Tabla 1. Composición porcentual de ingredientes en dietas experimentales

| Ingredientes | Tratamientos ¹ | | | | | | | |
|-------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 |
| | Sp | P | HY | HY | HB | HB | 15 | 25 |
| | com | 15 | 30 | 15 | 30 | 15 | 30 | HYHB |
| Sorgo | 68 | 68 | 51 | 32 | 51 | 32.98 | 33 | 9.87 |
| Torta de soya | 9.5 | 9.5 | 10.1 | 11.75 | 8.7 | 10.87 | 12.3 | 13 |
| Soya integral tostada | 11.4 | 11.4 | 13.6 | 14.67 | 14.8 | 14.67 | 13.4 | 16 |
| H. de raíz de yuca | 0 | 0 | 15 | 30 | 0 | 0 | 15 | 25 |
| H. de raíz de batata | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 30 | 15 | 25 |
| Fosfato bicálcico | 1.0 | 1.0 | 0.95 | 0.90 | 0.90 | 0.78 | 0.84 | 0.74 |
| Carbonato de calcio | 7.65 | 7.65 | 8.37 | 8.25 | 8.45 | 8.50 | 8.35 | 8.37 |
| Sal | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| Premezcla | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Carotile amarillo | 0 | 0.015 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Carotile rojo | 0 | 0.03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DL-metionina | 0.212 | 0.212 | 0.228 | 0.258 | 0.226 | 0.260 | 0.250 | 0.293 |
| Acetite vegetal de soya | 0 | 0 | 0 | 0.98 | 0.27 | 1.54 | 1.3 | 1.32 |
| Relleno | 1.82 | 1.78 | 0.36 | 0.79 | 0.26 | 0.0 | 0.16 | 0.0 |
| DL-Lisina | 0.019 | 0.019 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

¹ sp: sin pigmento; peom: pigmento comercial; y15: dieta 15% harina de yuca; y30: dieta 30% harina de yuca; b15: dieta 15% harina de batata; b30: dieta 30% harC

Tabla 2. Análisis calculado de las dietas experimentales

| Ingredientes | Tratamientos ¹ | | | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 |
| | Sp | P | HY | HY | HB | HB | 15 | 25 |
| | com | 15 | 30 | 15 | 30 | HYHB | HYHB | |
| Energía Metabolizable (Kcal/kg) | 2901 | 2901 | 2899 | 2900 | 2900 | 2899 | 2900 | 2900 |
| Proteína, (%) | 14.5 | 14.5 | 14.57 | 14.54 | 14.54 | 14.53 | 14.5 | 14.6 |
| Lisina, (%) | 0.721 | 0.721 | 0.746 | 0.785 | 0.732 | 0.758 | 0.77 | 0.812 |
| Metionina, (%) | 0.42 | 0.42 | 0.43 | 0.452 | 0.426 | 0.422 | 0.45 | 0.482 |
| Met + cistina (%) | 0.617 | 0.617 | 0.639 | 0.672 | 0.626 | 0.647 | 0.658 | 0.697 |
| Calcio, (%) | 3.65 | 3.65 | 3.65 | 3.66 | 3.66 | 3.65 | 3.64 | 3.66 |
| Fósforo disponible (%) | 0.341 | 0.341 | 0.341 | 0.341 | 0.341 | 0.34 | 0.34 | 0.341 |
| Grasa, (%) | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.7 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.5 |
| Fibra cruda, (%) | 3.0 | 3.0 | 3.1 | 3.1 | 3.4 | 3.7 | 3.4 | 3.6 |

¹ sp: sin pigmento; peom: 30% har

Se empleó un diseño experimental Completamente al Azar con ocho tratamientos (dos testigos: sin pigmento y con pigmento comercial; seis experimentales con 15% o 30% harina de yuca, o de batata, 15% harina de yuca más 15% harina de batata, 25% harina de yuca más 25% harina de batata) cada uno con cuatro repeticiones. Las variables analizadas fueron: consumo de alimento (g/ave/día); producción de huevos (%); conversión por docena de huevos producida; conversión por kg de huevo producido; tipo de huevo producido; pigmentación de la yema de huevo (abanico colorimétrico de Roche de 15 puntos en la escala); carotenoides totales en dieta (ug/g MS) mediante espectrofotometría de Ultravioleta Visible metodología CIAT con equipo espectrofotómetro Hewlett Packard serie 1050 (bomba cuaternario, automuestra, detector múltiple de onda), extracción de éter y acetona (1:1). Carotenoides totales en yema de huevo (ug/g MS) mediante Espectrofotometría de ultravioleta visible, metodología CIAT; eficiencia de utilización de carotenoides en yema de huevo. Peso de yema (g). Perfil de carotenoides en dietas y en yemas mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) y agua, columna YMC-C30 HPLC (250 mm, ID: 4.6 mm).

El análisis estadístico fue CAA, seis comparaciones entre niveles de harina de yuca (T1 vs. T3); entre niveles de harina de batata (T5 vs. T6); entre fuentes (T3 + T4 vs. T5 + T6); entre combinaciones de harinas (T7 vs. T8); entre el mayor nivel de inclusión en dieta y pigmentante comercial (T2 vs. T8). La información se procesó con el paquete estadístico de SAS (2005).

El modelo estadístico utilizado fue:

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

En el cual:

Y_{ij} = Variable de respuesta con el tratamiento i , la respuesta j .

μ = media general.

T_i = efecto de tratamiento i .

E_{ij} = Efecto del error experimental.

Cuando hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) para una o más variables se utilizó el nuevo test de rangos múltiples de Duncan (Steel y Torrie, 1980) para la separación de las medias.

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de la harina de yuca y de batata sobre la pigmentación, depósito de carotenoides totales y eficiencia de utilización en yema de huevo

Se presentaron diferencias significativas ($P < 0.01$) en las variables de pigmentación, depósito de carotenoides totales en dieta y en yema, excepto en el peso de yema (Tabla 3). Las harinas de yuca, de batata y la combinación de ellas produjeron pigmentación más baja que el testigo con pigmento comercial y mejor que el testigo negativo.

Tabla 3. Efecto del tipo de fuente pigmentante y los niveles empleados en la pigmentación, depósito de carotenoides totales y su eficiencia de utilización en yema de huevo de gallinas semipesadas de postura (37 a 44 semanas de edad)

| Variables | Fuentes pigmentantes | | | | | | | | DS ¹ | |
|---|----------------------|--------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------|--------------------|
| | Sin pigmento | Pigmento comercial | Harina de yuca | | Harina de batata | | Harina de yuca + harina de batata | | | |
| | 0 (-) | 0 (-) | 15% | 30% | 15% | 30% | 15% + 15% | 25% + 25% | | |
| No. de aves | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | \bar{X} |
| Pigmentación en yema (Roche) | 1.5 ^a | 14.5 ^b | 5.9 ^b | 5.4 ^b | 5.2 ^b | 5.7 ^b | 5.7 ^b | 5.7 ^b | 6.2 | 3.6 ^{**} |
| Carotenoides totales en dieta (ng/g MS) | 4.5 ^a | 7.2 ^a | 8.2 ^a | 13.1 ^b | 8.2 ^a | 12.7 ^b | 14.0 ^b | 13.0 ^b | 10.1 | 3.58 ^{**} |
| Carotenoides totales en yema (ng/g MS) | 2.9 ^a | 49.2 ^b | 4.2 ^a | 3.9 ^a | 3.3 ^a | 5.3 ^a | 5.3 ^a | 4.3 ^a | 9.8 | 15.9 ^{**} |
| Eficiencia de utilización en yema (%) | 64 ^a | 68 ^a | 51 ^a | 59 ^a | 40 ^a | 42 ^a | 58 ^a | 35 ^a | 123 | 227 ^{**} |
| Peso yema (g) | 15 ^a | 14 ^a | 14 ^a | 14 ^a | 14 ^a | 15 ^a | 14 ^a | 15 ^a | 14.2 | 0.40 ^{ns} |

¹DS: Desviación estándar. Valores medios con diferente letra en la misma fila, ^a difieren significativamente ($P < 0.05$), ^{**} altamente significativo ($P < 0.01$), ^{ns} no significativo, según Steel y Torrie (1980).

La pigmentación en yema de huevo no presentó diferencias ($P < 0.05$) entre las fuentes pigmentantes evaluadas (Tabla 4), el promedio obtenido fue de 5.5 puntos en la escala colorimétrica de Roche. Estas fuentes pigmentantes aportan cerca del 68% de la pigmentación exigida por el consumidor colombiano estimada entre 8-10 puntos (Marusich y Bauernfeind, 1981). Entre los niveles empleados no se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la pigmentación de yema, y en general, la pigmentación observada entre los niveles se estableció en 5.6 +/- 0.1 puntos. El contenido de carotenoides totales en yema presentó comportamiento similar a la pigmentación de yema de huevo. No se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el contenido de carotenoides totales en yema de huevo entre las fuentes pigmentantes (Tabla 4), la mezcla de harina de yuca más harina de batata produjo el mayor contenido de carotenoides totales. Posiblemente el elevado contenido de aceite de soja utilizado en estos tratamientos facilita la digestión, absorción y metabolismo de los carotenoides y su deposición en yema de huevo (Leeson y Zubair, 2004; Surai *et al.*, 2001, 2005).

Tabla 4. Efecto de la fuente pigmentante sobre la pigmentación, el depósito de carotenoides totales y su eficiencia de utilización en yema de huevo de gallinas semipesadas de postura (37 a 44 semanas de edad)

| Variables | Fuentes pigmentantes | | | \bar{X} | DS ¹ |
|--------------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------|-----------------|
| | Harina de yuca | Harina de batata | Harina de yuca + Harina de batata | | |
| No. de aves | 24 | 24 | 24 | | ns |
| Pigmentación yema (Roche) | 5.6 ^a | 5.4 ^a | 5.7 ^a | 5.6 | ** |
| Carotenoides totales dieta (ng/g MS) | 10.6 ^b | 10.4 ^b | 13.5 ^b | 11.5 | ns |
| Carotenoides totales yema (ng/g MS) | 4.0 ^a | 4.3 ^a | 4.8 ^a | 4.4 | ns |
| Eficiencia de utilización (%) | 40.5 ^a | 41 ^a | 71 ^b | 51 | ns |
| Peso yema (g) | 14.3 ^a | 14.5 ^a | 14.5 ^a | 14 | ns |

¹DS: Desviación estándar. Valores medios con diferente letra en la misma fila, ^a difieren significativamente ($P < 0.05$), ^{**} altamente significativo ($P < 0.01$), ^{ns} no significativo, según Steel y Torrie (1980).

El contenido de carotenoides totales en yema no presentó diferencias ($P < 0.05$) entre niveles (Tabla 5). El nivel de 15 + 15% de harina de yuca más harina de batata presentó el promedio más alto, mientras que el nivel de 15% presentó los más bajos contenidos de carotenoides totales. La cantidad de carotenoides totales encontrados en las yemas de harina de batata al 30% de inclusión y fuente harina de yuca más harina de batata al 15 + 15% de inclusión puede deberse a los mejores contenidos de grasa en la dieta. Este comportamiento se refleja en la pigmentación alcanzada en yema.

Tabla 5. Efecto del nivel sobre la pigmentación en el depósito de carotenoides totales y su eficiencia de utilización en yema de huevo de gallinas semipesadas de postura (37 a 44 semanas de edad)

| Variables | Fuentes pigmentantes | | | | \bar{X} | DS ¹ |
|--------------------------------------|----------------------|-------------------|------------------|------------------|-----------|-----------------|
| | 15 | 30 | 15+15 | 25+25 | | |
| No. de aves | 24 | 24 | 12 | 12 | | ns |
| Pigmentación yema (Roche) | 5.5 ^a | 5.5 ^a | 5.7 ^a | 5.7 | 5.6 | ** |
| Carotenoides totales dieta (ng/g MS) | 8.2 ^b | 13 ^b | 14 ^a | 13 ^b | 9 | ns |
| Carotenoides totales yema (ng/g MS) | 3.7 ^a | 4.6 ^a | 5.3 ^a | 4.3 ^a | 4.5 | ns |
| Eficiencia de utilización (%) | 45.5 ^a | 36 ^a | 38 ^a | 33 ^a | 38 | ns |
| Peso yema (g) | 14.3 ^a | 14.5 ^a | 14 ^a | 15 ^a | 14 | ns |

¹DS: Desviación estándar. Valores medios con diferente letra en la misma fila, ^a difieren significativamente ($P < 0.05$), ^{**} altamente significativo ($P < 0.01$), ^{ns} no significativo, según Steel y Torrie (1980).

La eficiencia de retención de carotenoides en yemas fue mayor en el tratamiento con pigmento comercial debido a la incorporación en gránulos de los carotenoides comerciales a la dieta impidiendo una distribución uniforme en la dieta.

Aunque fue mayor el contenido de carotenoides totales con la mezcla de harinas, la mejor eficiencia de utilización se encontró con harina de batata que probablemente contiene más carotenos que oxicarotenoides o pigmentantes. Las aves de la mezcla harina de yuca más harina de batata en donde se presentó la más baja eficiencia de retención, pueden estar destinando carotenoides totales a funciones biológicas diferentes pueden estar presentando deficiencias en algunos requerimientos.

El nivel de 15% de harina de yuca y harina de batata al 30% alcanzaron la más alta eficiencia en la utilización de carotenoides totales en yema de huevo atribuible a: 1) características de la dieta como contenido y perfil de carotenoides o contenido y tipo de grasa, 2) selectividad en la absorción intestinal por algunos carotenoides, y 3) la utilización de carotenoides en funciones biológicas diferentes de la retención en yema (Surai y Speake, 1998).

La mezcla de harina de yuca y batata al 15% se puede recomendar para lograr buen grado de pigmentación y contenido de carotenoides totales en yema. En pollos de engorde Gil y Buitrago (2002) encontraron que los grupos de dietas basadas en harina de raíces se caracterizaron por pobre pigmentación en patas, mientras que no se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la pigmentación de yema con reemplazos hasta de 20% de harina de yuca por maíz amarillo.

Es posible usar harina de yuca de la variedad MCOL-2436 y harina de batata de la variedad Tainun-66 como fuentes pigmentantes en la yema de huevo. El contenido de grasa en la dieta puede estar afectando la eficiencia de utilización de carotenoides totales en yema de huevo y algunos de ellos pueden ser utilizados en otras funciones biológicas.

El perfil de carotenoides (HPLC) demostró que luteína fue el oxicarotenoide más importante en los tratamientos con harinas de yuca y batata. El β -caroteno fue el más importante debido quizás a los mecanismos de absorción y deposición en yema en aves de postura (Tabla 6).

Tabla 6. Perfil de carotenoides en yemas (ug/g de MS)

| Carotenoides | Sp | Tratamientos ¹ | | | | | | | |
|--------------------------|------|---------------------------|------|------|------|------|-------|-------|------|
| | | P com | Y 15 | Y 30 | B 15 | B 30 | Yb 15 | Yb 25 | X |
| Luteína | 1.18 | 0.97 | 1.53 | 1.32 | 1.28 | 1.38 | 2.61 | 1.61 | 1.48 |
| A-caroteno | 0.21 | 0.21 | 0.19 | 0.17 | 0.19 | 0.26 | 0.20 | 0.11 | 0.19 |
| B-caroteno | 0.28 | 0.26 | 0.14 | 0.44 | 0.37 | 0.36 | 0.81 | 0.35 | 0.37 |
| 9-cis- β -caroteno | 0.0 | 0.04 | 0.07 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.01 |
| Zeaxantina | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 |
| Cantaxantina | 0.0 | 17.18 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.1 |

¹ sp: sin pigmento; pcom: 30% har

La cantaxantina se ha utilizado comercialmente para producir pigmentación en carne de peces, crustáceos y yemas de huevo. Su utilización está restringida en algunos países para la alimentación de animales y puede desplazar la absorción y deposición de luteína en la mácula ocular y generar problemas de visión con el tiempo en seres humanos (Krinsky *et al.*, 2003). Comercialmente se puede encontrar en Colombia como Lucantin red al 10% de concentración. La formulación comercial con base a gelatinas de mono y polisacáridos permite una fácil dispersión en medio acuoso (BASF, 2004). Es absorbido rápidamente por el intestino en las aves, transportado por el torrente sanguíneo y depositado en la yema del huevo reduciendo la deposición de otros carotenoides. La Unión Europea redujo a partir del 1 de diciembre de 2003 el nivel autorizado de 80 mg de cantaxantina por kg de alimento a 25 mg/kg para salmones y pollos, y a 8 mg/kg para gallinas ponedoras (Montaner, 2003).

La luteína tiene una importante función en la protección de la mácula y de la retina en la reducción del riesgo contra la degeneración macular relacionada con la edad (Bone *et al.*, 1985; Yeum *et al.*, 1995; Hammond *et al.*, 1998; Krinsky, 1994). Consumir alimentos ricos en luteína (Hammond *et al.*, 1997; Jonson *et al.*, 2000) o la ingestión suplementada de luteína (Landrum *et al.*, 1997) incrementa la intensidad de pigmentación macular y la salud visual en adultos mayores. Las yemas con mayores contenidos de luteína provinieron del tratamiento de la combinación harinas de yuca y batata al 15%.

El α -caroteno, el más importante precursor de vitamina A en la dieta, se encontró en mayores cantidades en yemas de la mezcla de harinas de yuca y batata al 15% (Tabla 7).

Tabla 7. Contenido de carotenoides precursores de vitamina A expresados en $\mu\text{g/g}$ de MS y expresados en equivalentes retinol

| Carotenoides | Tratamientos ¹ | | | | | | | |
|---|---------------------------|-------|-------|------|------|------|-------|------|
| | sp | P | Y | Y | B | b | Yb | yb |
| | com | 15 | 30 | 15 | 30 | 15 | 25 | |
| α -caroteno | 0.21 | 0.21 | 0.19 | 0.17 | 0.19 | 0.26 | 0.20 | 0.11 |
| β -caroteno | 0.28 | 0.26 | 0.14 | 0.44 | 0.37 | 0.36 | 0.81 | 0.35 |
| 9-cis- β -caroteno | 0.0 | 0.04 | 0.07 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Peso yema MS | 7.1 | 7.7 | 7.8 | 6.2 | 7 | 6.8 | 7.4 | 7.5 |
| Total carotenos precursores vitamina A | | | | | | | | |
| α -caroteno | 1.5 | 1.6 | 1.5 | 1.0 | 1.3 | 1.7 | 1.5 | 0.8 |
| β -caroteno | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 2.7 | 2.6 | 2.4 | 6.0 | 2.6 |
| 9-cis- β -caroteno | 0 | 0.3 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total en equivalentes retinol | | | | | | | | |
| α -caroteno | 0.125 | 0.125 | 0.125 | 0.08 | 0.10 | 0.14 | 0.125 | 0.06 |
| β -caroteno | 0.33 | 0.33 | 0.16 | 0.45 | 0.43 | 0.4 | 1 | 0.43 |
| 9-cis- β -caroteno | 0 | 0.02 | 0.04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total ER | 0.45 | 0.47 | 0.32 | 0.53 | 0.53 | 0.54 | 1.12 | 0.49 |

¹ sp: sin pigmento; com: 30% harina de batata, 15% dieta 15% harina de batata más 15% harina de yuca; 25yb: dieta 25% harina de batata más 25% harina de yuca.

La eficiencia de conversión (contenido total de cada caroteno X Equivalente Retinol (ER)); 1 ER = 6 μg de α -caroteno, ó 12 μg de otros carotenos (McLaren y Friggs, 2002), se encontró más alta en la mezcla de harinas de yuca y batata. La ruptura enzimática de la matriz alimenticia podría estar influyendo en la biodisponibilidad de α -caroteno (Castenmiller *et al.*, 1999) y los mayores contenidos de grasa incorporados en la dieta podrían estar afectando de manera importante el contenido ER en yema de huevo.

Efecto de los niveles de yuca y de batata en el desempeño productivo de aves de postura

Los consumos de alimento más bajos se presentaron en la mezcla de harina de yuca y batata al 15%, harina de yuca al 30% y en la mezcla de harinas de yuca y batata al 25% (Tabla 8). Dado que se utilizaron dietas isoenergéticas e isoproteicas es posible que la harina de yuca y de batata utilizadas constituyan fuentes energéticas de excelente calidad. Entre las fuentes, los consumos más bajos se alcanzaron con las dietas que contenían harina de yuca (Tabla 8), coincidiendo con los resultados obtenidos por Vargas y Villegas (2005) en pollos de engorde donde se observaron menores consumos en dietas a base de harina de yuca comparada con harina de batata.

Tabla 8 Efecto del tipo de fuente pigmentante y los niveles empleados en el desempeño productivo de gallinas semipesadas de postura (37 a 44 semanas de edad)

| Variables | Fuentes pigmentantes | | | | | | | | | | DS ¹ |
|---------------------------------|----------------------|------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-----------------------------------|-------|-----------------|
| | Sin pigmento | | Pigmento comercial | | Harina de yuca | | Harina de batata | | Harina de yuca + Harina de batata | | |
| | 0 (-) | 0 (-) | 15% | 30% | 15% | 30% | 15% + 15% | 25% + 25% | X | | |
| No. de aves | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | |
| Consumo de alimento (g/ave/día) | 106 ^a | 109 ^a | 105 ^{ab} | 99 ^b | 105 ^{ab} | 106 ^{ab} | 98 ^b | 99 ^b | 103 | 4.1* | |
| Producción de huevos (%) | 69 ^{ab} | 76 ^a | 75 ^a | 64 ^b | 72 ^{ab} | 61 ^b | 63 ^b | 51 ^c | 66 | 8.4** | |
| Peso promedio huevo (g) | 59 ^a | 58 ^a | 58 ^a | 58 ^a | 58 ^a | 60 ^a | 58 ^a | 60 ^a | 59 | 2.8** | |
| Conversión por docena de huevo | 1.9 ^{bc} | 1.7 ^c | 1.7 ^c | 1.8 ^{bc} | 1.8 ^{bc} | 2.3 ^b | 2.0 ^{bc} | 2.8 ^a | 1.9 | 0.4** | |
| Conversión por kg de huevo | 2.7 ^{bc} | 2.4 ^c | 2.5 ^c | 2.6 ^{bc} | 2.7 ^{bc} | 3.2 ^b | 2.8 ^{bc} | 3.6 ^a | 2.8 | 0.4** | |
| Tipo de huevo producido (%) | | | | | | | | | | | |
| AAA | 21 ^a | 13 ^a | 18 ^a | 20 ^a | 13 ^a | 24 ^a | 17 ^a | 16 ^a | 18 | 3.8** | |
| AA | 31 ^b | 32 ^b | 38 ^b | 31 ^b | 32 ^b | 34 ^{ab} | 32 ^b | 34 ^b | 33 | 2.3** | |
| A | 32 ^a | 33 ^a | 25 ^a | 28 ^a | 33 ^a | 30 ^a | 34 ^a | 38 ^a | 32 | 3.9** | |
| B | 15 ^a | 21 ^a | 18 ^a | 20 ^a | 20 ^a | 11 ^a | 15 ^a | 11 ^a | 16 | 4.0** | |
| C | 1 ^a | 1 ^a | 1 ^a | 1 ^a | 2 ^a | 1 ^a | 2 ^a | 1 ^a | 1.2 | 0.4** | |

¹ DS: Desviación estándar. Valores medios con diferente letra en la misma fila, * difieren significativamente (P<0.05), ** altamente significativo (P<0.01), ^{ab} no significativo.

Entre los niveles, los consumos más bajos se lograron con las combinaciones de harina de yuca y batata al 15% y 25% (Tabla 8). Estos tratamientos contenían mayores cantidades de grasa proveniente de aceite de soja lo que pudo resultar en mayor concentración energética, lo que conduce a que las aves llenen rápidamente sus requerimientos resultando en bajos consumos de alimento. La producción de huevos presentó diferencias altamente significativas (P<0.01) entre los tratamientos. Niveles superiores de 30% o más de harina de yuca y/o harina de batata afectaron la producción de huevos. Comparando las fuentes pigmentantes los mejores porcentajes de postura se encontraron con harina de yuca, mientras que harina de batata mejoró peso y tipo de huevo. Probablemente este comportamiento se deba a la presencia de factores antinutricionales como compuestos cianogénicos en yuca y factor antitripsina en batata.

CONCLUSIONES

Las fuentes pigmentantes evaluadas tienen capacidad pigmentante y aportan carotenos precursores de vitamina A en yema de huevo.

La harina de yuca mejoró el rendimiento productivo mientras que la harina de batata mejoró tipo de huevo. La mezcla de harinas de yuca y batata al 15% podría ser la mejor opción en la utilización de estas fuentes pigmentantes en aves de postura.

El testigo de pigmento comercial presentó la más alta pigmentación en yema debido a sus elevados contenidos de cantaxantina reduciendo la presencia de otros carotenoides.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Colombia, Consorcio Latinoamericano para la Utilización de la Yuca en América Latina y el Caribe-Clayuca, Centro Internacional de Agricultura Tropical-Ciat, y Centro Latinoamericano de Especies Menores-Clem.

BIBLIOGRAFÍA

Basf. 2004. Products for the feed industry. Animal nutrition. Technical information.

Bone, R. A.; Landrum, J. T.; Tarsis, S. L. 1985. Preliminary identification of the human macular pigment. *Vis Res* 25: 1531 – 1535, 1985.

Castenmiller J.J., West C.E., Linssen J.P., van het Hof K.H. and Voragen A.G. 1999. The food matrix of spinach is a limiting factor in determining the bioavailability of beta-carotene and to a lesser extent of lutein in humans. *J Nutr* 129: 349-355.

Ceballos, H. 2002. La yuca en Colombia y el mundo: Nuevas perspectivas para un cultivo milenario. *En: La yuca en el tercer milenio*. CIAT, Clayuca, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Fenavi. Mayo, 2002.

Gil, J. L.; Buitrago, J. A. 2002. La yuca en la alimentación animal. *En: La yuca en el tercer milenio*. Compilación: CIAT, Clayuca, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Fenavi. Mayo, 2002.

Krinsky, N. I.; Landrum, J. T.; Bone, R. A. 2003. Biologic mechanisms of the protective role of lutein and zeaxanthin in the eye. *Annu Rev Nutr* 23 : 171-201. 2003.

Krinsky, N. I. 1994. The biological properties of carotenoids. *Pure Appl Chem.*, Vol. 66, No. 5, pp. 1003-1010, 1994.

Leeson, S.; Zubair, A. K. 2004. Digestion in poultry I: proteins and fats. Department of animal and Poultry Science, University of Guelph. Guelph, Ontario, Canadá. (On line: <http://www.novusint.com/Public/Library/DocViewer.asp?ID=361>). Access data: 3, dic, 2005

Marusich, W. L.; Bauernfeind, J. C. 1981. Oxicarotenoids in poultry feeds. In: Carotenoids as colorants and vitamin A precursors. Chapter 3. United States Department of Agriculture.

McLaren, D.; Frigg, M. 2002. Guía de Sign and Life sobre la vitamina A en los estados de salud y enfermedad. 2ª ed. Suiza.

Medina, M. L.; Carreño, R. J. 1999. Evaluación del material foliar de rayo de sol como posible fuente de xantofilas. *Agron Trop* 49(4): 373-390. 1999.

Montaner, J. 2003. Colores prohibidos: Cantaxantina. Sociedad y consumo. on line: http://www.consumaseguridad.com/web/es/sociedad_y_consumo/2003/02/25/5271.php Acceso: 3 de enero 2006.

Restrepo R. Alejandra. M. 2005. Evaluación de la harina de hojas de botón de oro (*Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray) en la alimentación de gallinas en periodo de postura. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín.

Surai, P. F.; Speake, B. K. and Sparks. 2005. Carotenoids and chick embryo development. Avian Science Research Centre, Auchincruive, Ayr, KA6 5HW, Scotland, UK

Surai P. F.; Bortolotti, G. R.; Fidgett, A. L.; Blount, J. D.; y Speake B. K. 2001. Effects of piscivory on the fatty acids profiles and antioxidants of avian yolk: studies on eggs of the gannet, skua, pelican and cormorant. *J Zool* (Lond) 255:305-312.

Surai, P. F.; Speake, B K. 1998. Distribution of carotenoids from the yolk to the tissues of the chick embryo. *J Nut Biochem* 9, 645 – 651.

Steel, G. D. R.; Torrie, H. J. 1980. Principles and procedures of statistics: A biometrial approach. 2nd ed. McGraw-Hill.

Vargas, L. C.; Villegas, Y. M. 2005. Evaluación del uso de la harina de batata (*Ipomoea batatas* Lam) y de harina de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en dietas para pollos de engorde de 1 a 42 días de edad. Universidad Nacional de Colombia. Clayuca. CIAT.

Woolfe, J. A. 1992 Sweet potato an untapped food resource. Cambridge University Press. 1992.