



## Evaluación de dos aceites acidulados de soya en la producción y calidad de huevo en gallinas Bovans



Jennifer Pérez Martínez<sup>a\*</sup>

Juan Manuel Cuca García<sup>a</sup>

Gustavo Ramírez Valverde<sup>a</sup>

Silvia Carrillo Domínguez<sup>b</sup>

Arturo Pro Martínez<sup>a</sup>

Ernesto Ávila González<sup>c</sup>

Eliseo Sosa Montes<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, 56230, Texcoco, Estado de México. México.

<sup>b</sup> Instituto de Nutrición Salvador Zubirán. CDMX, México.

<sup>c</sup> Universidad Nacional Autónoma de México. CDMX. México.

<sup>d</sup> Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco de Mora, México.

\*Autor de Correspondencia: [jeanbodin\\_@hotmail.com](mailto:jeanbodin_@hotmail.com)

### Resumen:

En la alimentación de gallinas en postura se utiliza el aceite crudo de soya (ACS), pero debido a que éste compite con la alimentación humana su precio es alto, por lo cual se evaluaron dos aceites acidulados de soya (AAS), los cuales son más económicos. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de los AAS en la producción de gallinas Bovans, calidad de huevo, composición lipídica y costo de un kilo de huevo. Se determinó la energía metabolizable (EM) y composición de lípidos de los acidulados. Se utilizaron 240 gallinas en seis tratamientos, con cinco repeticiones, con ocho gallinas cada una. En las

dietas se incluyeron ACS y dos acidulados (AAST y AASY), a dos niveles (2% y 4%). Las variables productivas fueron alimento consumido, porcentaje de postura, peso del huevo, masa del huevo, conversión alimenticia; en calidad de huevo se midió altura de albumina, unidades Haugh (UH), color de yema y grosor de cascarón. Se determinó la composición lipídica del huevo y su costo. Al sustituir el ACS por los AAS no se afectó la producción de las aves ( $P>0.05$ ). En calidad de huevo, los AAS mejoraron las UH ( $P<0.05$ ); la concentración de ácidos grasos del huevo se modificó según la composición del aceite en la dieta de las gallinas ( $P<0.05$ ), mientras que el nivel de aceite influyó en el contenido de algunos ácidos grasos. Finalmente los AAS disminuyeron el costo de un kilo de huevo ( $P<0.05$ ) en comparación del ACS.

**Palabras clave:** Soya, Energía, Ácidos grasos, Huevo, Costos.

Recibido: 06/02/2017

Aceptado: 18/06/2018

## Introducción

Para cubrir los requerimientos de energía en el ave, se adicionan a la dieta componentes concentrados, como grasas y aceites<sup>(1)</sup>; los ingredientes energéticos para gallinas de postura son un factor económico importante en el precio del alimento. En la alimentación de las aves se utiliza el aceite crudo de soya (ACS) por su alto contenido de energía y concentración de ácidos grasos insaturados<sup>(2,3)</sup>, los cuales son más digestibles para el ave, que los ácidos grasos saturados (AGS)<sup>(4)</sup>. Sin embargo, el precio del ACS es elevado, ya que compite con la alimentación humana, por lo que otra fuente barata de ácidos grasos es el aceite acidulado de soya (AAS), subproducto del proceso de refinación del aceite vegetal; este aceite contiene ácidos grasos libres (58.6 %)<sup>(1)</sup>, fosfolípidos, ingredientes químicos no saponificables, compuestos de oxidación, carotenoides y xantofilas<sup>(5,6,7)</sup>. El uso del AAS en la avicultura podría ser limitado, ya que el contenido de ácidos grasos es variable<sup>(8)</sup> según el método de refinamiento y las condiciones de almacenamiento<sup>(5)</sup>, lo que puede ser el factor más importante para modificar el peso de huevo (PH) y la concentración de lípidos presentes en el huevo<sup>(9)</sup>, además de que su valor de energía metabolizable (EM) es menor que el del ACS, lo que depende del contenido de ácidos grasos libres<sup>(10)</sup>. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue utilizar dos AAS de diferente lugar de procedencia en sustitución del ACS a dos niveles (2% y 4%), para determinar el efecto en la producción, calidad de huevo, composición lipídica del huevo y los costos de producción de un kilo de huevo en gallinas Bovans White.

## Material y métodos

### Determinación de energía metabolizable verdadera (EMV)

Se analizó la EMV de los aceites empleados siguiendo la metodología descrita por Sibbald<sup>(11)</sup> (Cuadro 1). Se utilizaron 24 gallos de la estirpe Bovans White de 33 semanas de edad con un peso promedio por ave de  $2.06 \pm 0.06$  kg, distribuidos aleatoriamente en tres tratamientos, con ocho gallos por tratamiento, donde cada gallo fue una repetición. Los aceites, debido a sus características físicas, se mezclaron con sorgo molido en una proporción 90:10, ya que el suministro del aceite puro produce regurgitación en el ave<sup>(12)</sup>; además, su naturaleza líquida no permite la determinación directa de la EM<sup>(13)</sup>. Por tanto, simultáneamente se determinó la EM del sorgo con seis gallos.

**Cuadro 1:** Energía metabolizable verdadera de los aceites

Aceites	Kcal <sup>-1</sup> kg
Aceite crudo de soya (ACS)	8337
Aceite acidulado de soya T (AAST)	8296
Aceite acidulado de soya Y(AASY)	8528

Para determinar la energía de origen metabólico y endógeno, los gallos se dejaron descansar durante 5 días. Se mantuvieron en ayuno por 24 h. Se recolectaron las deyecciones totales de material endógeno y metabólico de cada gallo, de tal manera que la porción endógena que se empleó para los cálculos fue del mismo gallo<sup>(14)</sup>. La energía bruta (EB) de los ingredientes y de las excretas obtenidas se determinó por duplicado en una bomba calorimétrica isoperibólica Parr 1266, modelo Moline, Illinois, USA.

### Variables productivas y calidad de huevo

Se utilizaron 240 gallinas Bovans White, de 30 semanas de edad, las cuales se distribuyeron en seis tratamientos con cinco repeticiones con ocho aves por repetición; se alojaron dos gallinas por jaula de 30 x 45 cm, con comederos lineales y bebederos

automáticos en una caseta convencional. La iluminación se ajustó a 16 h luz día<sup>-1</sup>, con luz artificial. El trabajo experimental tuvo una duración de 16 semanas.

Las dietas fueron isoenergéticas con base en sorgo - pasta de soya (Cuadro 2), y se cubrieron los requerimientos nutrimentales para gallinas ponedoras NRC<sup>(15)</sup> y Cuca *et al*<sup>(16)</sup>; para que éstas fueran isoenergéticas se varió la inclusión del sorgo, de la pasta de soya y de arena (esterilizada en autoclave). Se evaluaron tres aceites, aceite crudo de soya (ACS), aceite acidulado de soya T (AAST) y aceite acidulado de soya Y (AASY), con dos niveles de inclusión, 2% y 4%; los tratamientos quedaron de la siguiente manera: ACS a 2%; ACS a 4%; AAST a 2%; AAST a 4%; AASY a 2% y AASY a 4%. Las aves se vacunaron durante su crianza contra newcastle, viruela, gumboro, bronquitis, encefalomiелitis y coriza infecciosa. El agua y alimento se ofrecieron *ad libitum*.

**Cuadro 2:** Composición y análisis calculado de las dietas

Ingrediente (%)	ACS		AAST		AASY	
	2%	4%	2%	4%	2%	4%
Nivel de aceite	2%	4%	2%	4%	2%	4%
Sorgo (8.3% PC)	63.49	57.45	64.08	58.63	64.08	58.63
Pasta soya (45.8% PC)	22.32	22.97	22.26	22.84	22.26	22.85
Arena	0.52	3.89	0	2.84	0	2.84
DL- metionina (99%) <sup>1</sup>	0.32	0.33	0.32	0.33	0.32	0.33
Treonina (98.5%) <sup>1</sup>	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
CaCO <sub>3</sub> (38%) <sup>2</sup>	10.05	10.04	10.06	10.04	10.06	10.04
Fosfato dicálcico (18/21) <sup>3</sup>	0.49	0.53	0.49	0.52	0.49	0.52
Vitaminas y minerales <sup>4</sup>	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Pigmento	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Sal	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Alimento (\$ kg <sup>-1</sup> ) <sup>5</sup>	5.02	5.19	4.95	5.06	4.91	4.98
<b>Análisis calculado</b>						
EM, Kcal <sup>-1</sup> kg	2800	2800	2800	2800	2800	2800
Proteína cruda, %	15.53	15.23	15.55	15.37	15.55	15.37
Calcio, %	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Fósforo disponible, %	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Lisina, %	0.83	0.83	0.82	0.83	0.82	0.83
Metionina + Cistina, %	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
Triptófano, %	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Treonina, %	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
Ácido linoleico, %	1.88	2.90	1.42	1.98	0.94	1.02

<sup>1</sup>Porcentaje de purificación.

<sup>2</sup>38%= calcio.

<sup>3</sup>18%= fosforo y 21%= calcio.

<sup>4</sup>Aporta por kilo de alimento: vit A, 9000 UI; vit D<sub>3</sub>, 2,500 UI; vit E, 20 UI; vit K, 3.0 mg; vit B<sub>2</sub>, 8.0 mg; vit B<sub>12</sub>, 0.015 mg; ácido pantoténico, 10 mg; ácido nicótico, 60 mg; niacina, 40 mg; ácido fólico, 0.5 mg;

colina, 300 mg; D-biotina, 0.055 mg; tiamina, 2.0 mg; hierro, 65.0 mg; zinc, 100 mg; manganeso, 100 mg; cobre, 9.0 mg; selenio, 0.3 mg; yodo, 0.9 mg.

<sup>5</sup>FND= Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero. Precios en el mercado 26 de agosto de 2016 en México<sup>(17)</sup>.

ACS= aceite crudo de soya; AAST= aceite acidulado de soya T; AASY= aceite acidulado de soya Y; EM= energía metabolizable; PC= proteína cruda.

Las variables productivas evaluadas semanalmente fueron: alimento consumido (AC, g/ave/día), porcentaje de postura (PP, %), peso de huevo (PH, g/d), conversión alimenticia (CA), masa de huevo (MH, g). Para medir la calidad del huevo, se tomaron de cada tratamiento 20 huevos (cuatro por repetición), al inicio y a las 4, 8 y 12 semanas del experimento, se midió: altura de albúmina (AA), unidades Haugh (UH), color de yema (CY) utilizando el equipo Egg Multi Tester (QCM System, Technical Services y Supplies, Dunnington, Reino Unido), el cual mide la coloración de la yema con base al abanico de DSM para yema y grosor de cascarón (GC), para lo cual se utilizó un tornillo micrométrico.

### Análisis de ácidos grasos

En los aceites se analizó el perfil de ácidos grasos (Cuadro 3) mediante la técnica lípidos totales AOAC<sup>(18)</sup>. En el huevo se determinó la composición de ácidos grasos; para ello se utilizaron los mismos huevos que se emplearon para medir calidad de huevo, estos se mezclaron manualmente con una batidora para formar un “pool”. La extracción de lípidos se realizó mediante la técnica lípidos totales AOAC<sup>(19)</sup> método 923.07, con un cromatógrafo de gases Varian, modelo 3380 CX con columna DB23 (30m x 0.25 mm di) con automuestreador CP8400 y un detector de ionización de flama (FID)(USA).

**Cuadro 3:** Perfil de ácidos grasos de los aceites y las dietas experimentales (%)

	ACS	AAST	AASY	ACS		AAST		AASY	
Ácidos grasos	(%)			2%	4%	2%	4%	2%	4%
Mirístico (C14:0)	0.11	0.47	2.78	0.19	0.19	0.20	0.21	0.25	0.30
Palmítico (C16:0)	11.74	11.47	18.22	0.57	0.80	0.57	0.80	0.70	1.06
Esteárico (C18:0)	4.17	3.34	19.88	0.81	0.90	0.80	0.86	1.13	1.53
Palmitoléico (C16:1)	0.18	0.33	1.53	0.15	0.16	0.16	0.16	0.18	0.21
Oléico (C18:1)	22.3	43.67	38.88	3.44	3.88	3.86	4.74	3.77	4.55
Linoléico (C18:2)	51.09	28.01	3.95	1.88	2.90	1.42	1.98	0.94	1.02
$\alpha$ -linoléico (C18: $\omega$ 3)	7.52	6.59	0.23	0.37	0.52	0.35	0.48	0.22	0.23
Araquídico (C20:0)	0.32	ND	0.51	0.09	0.09	0.08	0.08	0.09	0.10
EPA (C20:5 $\omega$ 3)	.36	ND	ND	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Otros ácidos grasos	0.86	0.94	3.09	0.02	0.03	0.02	0.04	0.06	0.12

Total saturados (%)	16.50	16.97	42.49	0.33	0.66	0.34	0.68	0.85	1.70
Total monoinsaturados (%)	23.67	47.17	49.54	0.47	0.95	0.94	1.89	0.99	1.98
Total poliinsaturados (%)	58.97	34.92	4.88	1.18	2.36	0.70	1.40	0.10	0.20

ACS= aceite crudo de soya; AAST= aceite acidulado de soya T; AASY= aceite acidulado de soya Y.

### Costo por kilogramo de huevo

De las dietas se obtuvo su costo, para lo cual se multiplicó el precio de los ingredientes por la cantidad de cada componente de éstas. Para determinar el costo de un kilo de huevo por concepto de alimentación se utilizó la CA de cada tratamiento y se multiplicó por el costo del alimento. El precio de los ingredientes se presenta a continuación (kilo), sorgo, \$3.58; pasta de soya, \$7.96; ACS, \$16.00; AAST, \$12.00; AASY, \$10.00; DL-metionina, \$70.00; treonina, \$30.00; CaCO<sub>3</sub>, \$1.50; fosfato dicalcio, \$16.00; vitaminas, \$75.00; minerales, \$20.00; sal, \$3.50 y pigmento, \$30.00.

### Análisis estadístico

Los datos de las variables estudiadas, se analizaron en un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 3 X 2, considerando los tipos de aceites (ACS, AAST y AASY) y los niveles (2% y 4%) con cinco repeticiones por tratamiento. Se manejó el procedimiento MIXED de SAS. Las diferencias entre medias de tratamientos se compararon con la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ), usando SAS<sup>(20)</sup>.

### Resultados y discusión

Los resultados de las variables productivas AC, PP, PH, MH y CA, se muestran el Cuadro 4; donde se observa que no se encontraron diferencias ( $P > 0.05$ ) por efecto de los diferentes aceites y niveles. Este resultado coincide con Göçmen *et al*<sup>(21)</sup>, quienes encontraron que al adicionar aceite acidulado de girasol no se modificó la producción, lo que se relaciona con el contenido de energía y proteína de las dietas, las cuales eran

isoenergéticas e isoproteicas. Otros autores<sup>(22,23)</sup> demostraron que la inclusión de diferentes aceites en la dieta de las gallinas no modifica las variables productivas.

**Cuadro 4:** Influencia de los aceites acidulados sobre las variables productivas durante 16 semanas de experimentación en gallinas Bovans White

Aceite	AC g/ave/día	PP (%)	PH (g)	MH (g)	CA
ACS	103.04	94.66	59.66	56.41	1.82
AAST	102.54	95.35	59.36	56.60	1.81
AASY	101.91	93.83	59.08	55.35	1.82
EE	0.63	0.88	0.25	0.54	0.01
Niveles (%)					
2	95.04	95.04	59.20	56.20	1.83
4	94.10	94.1	59.53	56.03	1.82
EE	0.72	0.21	0.44	0.52	0.01

AC= alimento consumido; PP= porcentaje de postura; PH= peso de huevo; MH= masa de huevo; CA= conversión alimenticia: kg de alimento / kg de huevo.

ACS= aceite crudo de soya; AAST= aceite acidulado T; AASY= aceite acidulado Y.

EE= error estándar de la media.

( $P>0.05$ ).

Respecto a la variable AC no se afectó, porque las dietas tenían el mismo contenido de energía y se sabe que las aves ajustan su consumo de alimento según la concentración energética de la dieta, ya que comen para cubrir sus requerimientos energéticos<sup>(24,25)</sup>.

Lesson y Summers<sup>(1)</sup> indican que el PP está controlado por el contenido de energía en el alimento de las aves, y el contenido de 2,800 kcal/kg en las dietas, llevó a que éste fuera similar en las diferentes dietas de la presente investigación.

El PH no se alteró al incluir en la dieta de las aves los AAS, en concordancia con otro estudio<sup>(26)</sup>, en el que se reporta que el PH no aumentó al sustituir el ACS (3.5%) por el AAS en 25%, 50%, 75% y 100%.

Bouvarel *et al*<sup>(27)</sup> mencionan que la adición de aceites causa el aumento de energía en la dieta y con ello se incrementa el PH, lo que se atribuye a los ácidos grasos, específicamente al ácido linoléico (AL)<sup>(28,29)</sup>. En este estudio, el contenido de AL en la dieta fue de 0.94 a 2.9 % (Cuadro 2), lo que no influyó en el PH, en concordancia con otros autores<sup>(30)</sup> quienes utilizaron AL de 0.7 a 2.1 % e informan que el PH no se alteró.

Lesson y Summers<sup>(1)</sup> señalaron que la MH se afecta por el consumo de EM en la dieta; en el presente experimento las dietas tenían el mismo contenido de energía, lo que llevó a que no se modificara la MH.

La CA no se modificó ya que esta variable está relacionada con el AC y el PH y éstas tampoco se afectaron por la inclusión de los aceites y los niveles de estos, lo que concuerda con lo señalado con anterioridad<sup>(26)</sup> donde no reportan modificaciones en esta variable.

### Calidad de huevo

En el Cuadro 5 se encuentran los resultados de calidad de huevo, donde se observa que las UH aumentaron al incluir el AAST y AASY ( $P<0.05$ ), pero no por los niveles, a diferencia de otra investigación<sup>(21)</sup> donde se sustituyó ACS (2.6 %) por acidulado de girasol (25, 50, 75 y 100 %) y encontraron que las UH tienden a disminuir al aumentar este aceite; sin embargo, en otra investigación al utilizar AAS en la dieta de gallinas las UH no se afectaron<sup>(26)</sup>. Por efecto de aceite (ACS, AAST y AAST) o nivel de estos (2% y 4%) no se modificaron las variables de AA y GC ( $P>0.05$ ) en concordancia con otros estudios<sup>(21,26)</sup> en los que se reporta no haber encontrado diferencias en la AA y GC.

**Cuadro 5:** Influencia de los aceites acidulados en las variables de calidad de huevo en gallinas alimentadas durante 16 semanas

Aceite	UH	AA (mm)	GC (mm)	CY (Roche)
ACS	65.65c	5.02	0.36	7.17b
AAST	68.82ab	5.24	0.36	7.81a
AASY	68.97a	5.29	0.35	7.07b
EE	0.76	0.09	0.04	0.05
Niveles (%)				
2	67.89	5.15	3.5	7.30
4	67.73	5.22	0.36	7.40
EE	0.62	0.07	0.03	0.04

UH= unidades Haugh; AA= altura de albúmina; GC= grosor de cascarón; CY= color de yema abanico DSM.

ACS= aceite crudo de soya; AAST= aceite acidulado T; AASY= aceite acidulado Y.

EE= error estándar de la media.

<sup>abc</sup> Los valores en las columnas con letras diferentes difieren significativamente ( $P<0.05$ ).

El CY se modificó por el tipo de aceite que se utilizó ( $P<0.05$ ), pero no por el nivel de estos; el AAST favoreció la pigmentación de la yema, mientras que en los tratamientos con ACS y AASY no modificó el color de yema (Cuadro 5), ya que éste depende del contenido de xantofilas del grano del cual proceden, además del proceso de obtención de los acidulados, ya que éstas se pueden eliminar durante el blanqueado de los AAS (6). Göçmen *et al*<sup>(21)</sup> encontraron que el color de yema se mejoró al sustituir el ACS por el



aceite acidulado de girasol, lo que dependió de la cantidad de tocoferoles que tenían los aceites. En pollo de engorda Pardo *et al*<sup>(31)</sup> indicaron que los AAS son importantes como una fuente de pigmento natural. Sin embargo, en otro estudio<sup>(32)</sup> no se reportan diferencias en la pigmentación de la piel en pollos al utilizar ACS y AA de girasol.

### Composición lipídica en huevo

Los resultados de la evaluación lipídica del huevo se presentan en el Cuadro 6, donde se observa que el contenido lipídico de algunos AG se afectó por el tipo de aceite ( $P<0.05$ ). Respecto a los AGS, la inclusión de AASY aumentó la concentración de C14:0 y C16:0 ( $P<0.05$ ) en el huevo, y disminuyeron con la adición del AAST (14% y 2%) y ACS (25% y 3%), ya que estos se depositaron en el huevo según la concentración de cada aceite (Cuadro 3). Sin embargo, los acidulados no modificaron la composición del huevo del C18:0. Los niveles de aceites no afectaron la inclusión del C14:0 y C18:0, mientras que el C16:0 ( $P<0.05$ ) aumentó con el nivel de 4%. Lo que no concuerda con Pardo *et al*<sup>(26)</sup> quienes reportaron que en el huevo los AGS (C14:0, C16:0 y C18:0) no fueron diferentes entre tratamientos al incluir AAS. En el huevo, el que algunos AG se depositen más que otros no es muy clara aun, sin embargo, se sabe que algunos de estos son mejor metabolizados que otros, además de que el contenido elevado de AGS disminuye cuando se añade a la dieta aceites con menor contenido de estos ácidos<sup>(33)</sup>.

**Cuadro 6:** Efecto de diferentes aceites acidulados y su nivel de inclusión en la dieta de gallinas Bovans, sobre la composición de ácidos grasos en huevo

	ΣAGS			ΣAGM					ΣAGP						ΣAGS	ΣAGM	ΣAGP <sub>3</sub>	ΣAGP <sub>6</sub>	n-6:n-3
	14:0	16:0	18:0	16:1	18:1	18:3 ALA α3	20:5E PA 3	22:6D HA 3	22:5D PA 3	18:2 LA 6	18:3 ALA γ6	20:4 ARA 6							
ACS	0.33b	25.12b	8.57	2.63b	38.92c	0.74a	0.04	0.93a	0.15a	16.70a	0.24a	1.71b	34.09	41.50	1.87a	18.49a	13.83a		
AAST	0.38b	25.33ab	7.84	2.76b	41.50b	0.57b	0.07	0.84a	0.11b	12.60b	0.23ab	1.79b	32.13	42.74	1.57b	13.85b	12.58b		
AASY	0.44a	25.84a	8.24	3.38a	44.32a	0.29c	0.06	0.60b	0.08c	10.05b	0.10c	1.97a	32.80	45.14	1.00c	11.36c	12.55b		
EE	0.01	0.31	0.22	0.06	0.77	0.02	0.03	0.03	0.06	0.55	0.02	0.06	0.88	1.34	0.08	0.40	0.51		
Nivel%																			
2	0.37	25.07b	8.23	3.20a	41.80	0.46b	0.06	0.75	0.10b	12.72	0.19	1.89	33.27	43.73	1.38b	14.08b	13.04		
4	0.39	25.89a	8.20	2.65b	41.36	0.60a	0.05	0.83	0.12a	13.51	0.19	1.76	32.75	42.52	1.58a	15.03a	12.93		
EE	0.01	0.29	0.24	0.04	0.72	0.02	0.02	0.03	0.05	0.58	0.01	0.05	0.70	1.07	0.04	0.32	0.27		

AGS= ácidos grasos saturados; AGM= ácidos grasos monoinsaturados; AGP= ácidos grasos poliinsaturados.

ACS= aceite crudo de soya; AAST= aceite acidulado T; AASY= aceite acidulado Y; αALA= ácido α linolénico; EPA= ácido eicosapentaenoico; DHA= ácido docosahexaenoico; DPA= ácido docosapentaenoico; LA= ácido linoleico; γALA= ácido γ linolénico; ARA= ácido araquidónico.

EE= error estándar de la media.

abc Los valores en las columnas con letras diferentes difieren significativamente ( $P<0.05$ ).

La inclusión del AASY incrementó la concentración de los AGM (ácidos grasos monoinsaturados) C16:1 y C18:1 ( $P<0.05$ ), la adición del AAST disminuyó 18 y 6 % respectivamente estos ácidos, mientras que el ACS los redujo en 22 y 12 %, lo que se debe a la influencia que tiene la concentración de los aceites. El contenido del AGM C16:1 fue mayor cuando el nivel que se añadió a la dieta fue 2% ( $P<0.05$ ), mientras que el C18:1 no se modificó por efecto de los niveles. En otra investigación<sup>(26)</sup> no se encontraron diferencias en la composición lipídica del huevo para los ácidos C16:1 y C18:1 al sustituir ACS por AAS en proporciones de 25, 50, 75 y 100.

El contenido del AGP (ácido graso poliinsaturado) C18:3  $\omega$ 3, fue mayor ( $P<0.05$ ) cuando se incluyó a la dieta ACS y éste disminuyó al adicionar el AAST (23 %) y AASY (61 %), ya que los AGP de la yema están influenciados por los del alimento, especialmente el C18:3  $\omega$ 3<sup>(34,35,36)</sup>; en lo que respecta a los niveles, con el 4% de aceite aumentó ( $P<0.05$ ) el ácido C18:3  $\omega$ 3, siendo estos resultados consistentes con los reportados por Ceylan *et al*<sup>(23)</sup> quienes demostraron que al incluir 3% de aceite, el ácido C18:3  $\omega$ 3 aumentó en relación a cuando se usó al 1.5%.

El ácido EPA (eicosapentaenoico) no se modificó ( $P>0.05$ ) por la adición de los diferentes aceites o por los niveles, sin embargo el AG DHA (docosahexaenoico) y DPA (docosapentaenoico) tendieron a aumentar en el huevo ( $P<0.05$ ) cuando se añadió a la dieta ACS y AAST y se redujo con el AASY, lo que se debe a que el ACS y AAST contenían altos niveles de C18:3  $\omega$ 3 (Cuadro 3), y este ácido vía enzimas desaturasas y elongasas se transformó en el ácido EPA y posteriormente en el ácido DHA y DPA<sup>(37,38)</sup>. Por otra parte, el nivel de los aceites no influyó en la composición del DHA ( $P>0.05$ ) pero sí en el DPA ( $P<0.05$ ), el cual fue mayor cuando aumentó el aceite (4%).

Los resultados muestran que el ACS aumentó la concentración ( $P<0.05$ ) del AGP C18:2  $\omega$ 6 respecto al AAST y AASY en 25 % y 40 % respectivamente, lo que se atribuye al contenido de este ácido en los aceites; el nivel de aceite no modificó ( $P>0.05$ ) el contenido del C18:2  $\omega$ 6. La adición del ACS y AAST redujo ( $P<0.05$ ) el ácido C20:4  $\omega$ 6 en el huevo y éste fue más alto cuando se adicionó a la dieta AASY, lo que pudo deberse a que este aceite contenía 0.23 % de C18:3  $\omega$ 3 mientras que el ACS y AAST concentraban este ácido en 7.52 y 6.59 % respectivamente (Cuadro 3) sabiéndose que altas concentraciones de C18:3  $\omega$ 3 limitan la síntesis del ácido C20:4  $\omega$ 6, ya que ambos ácidos utilizan la enzima  $\Delta$ -desaturasa<sup>(39)</sup> debido a la competencia entre los n-3 y n-6 de las mismas enzimas para su biosíntesis<sup>(34,40)</sup>.

Los diferentes aceites y niveles no afectaron el total de AGS y AGM ( $P>0.05$ ) en el huevo, sin embargo los AGP n-3 y n6 tendieron a disminuir ( $P<0.05$ ) cuando se suplementó en la dieta AAST (16 y 27 %) y AASY (47 y 38 %) respectivamente. Así también al aumentar el nivel de aceite se incrementó ( $P<0.05$ ) el contenido de AGP n-3 y n6 (Cuadro 6).

Los ácidos grasos n-6 y n3 son importantes en la alimentación humana y mantener una proporción n-6/n-3 de 4:1<sup>(41,42)</sup> es vital, ya que se sabe que los n-3 durante la gestación son componentes estructurales del cerebro y la retina, y ayudan al crecimiento y desarrollo normal del infante<sup>(43)</sup>, mientras que altas cantidades de n-6 promueven enfermedades cardiovasculares, por lo cual un equilibrio adecuado de n-6/n-3 disminuye y previene la obesidad<sup>(44)</sup>, lo que se puede lograr en el huevo cuando se adicionan a la dieta aceites ricos en n-3 como el de linaza<sup>(33)</sup>. Con la adición de los acidulados la relación n-6/n-3 fue menor en el huevo ( $P<0.05$ ), ya que aunque estos huevos tenían un contenido menor de n-3, también era menor la cantidad de n-6 en relación a los huevos con ACS. Los niveles adicionados no influyeron en la relación n6-/n3. Pardio *et al*<sup>(26)</sup> no encontraron diferencias en el contenido de n-6/n-3 al adicionar ACS (11.90) y aceite AAS (13.75).

### Costo por kilogramo de huevo

El costo de un kilo de huevo se muestra en el Cuadro 7, observándose que cuando se incluyeron los AAS en la dieta de las aves el costo del huevo disminuyó significativamente ( $P<0.05$ ; 2.68 y 2.03 % respectivamente), respecto a cuando se agregó al alimento el ACS. Por otra parte, el nivel de aceite que se utilizó produjo diferencias significativas ( $P<0.05$ ) al aumentar el precio un 1.8 % con el nivel más alto de aceite (4%).

**Cuadro 7:** Costo de producción de un kg de huevo, por concepto de alimentación

Aceite	Costo de un kilo de huevo
ACS	9.32a
AAST	9.07b
AASY	9.13b
EE	0.07
<hr/>	
Niveles (%)	
2	9.09b
4	9.26a
EE	0.04

ACS= aceite crudo de soya; AAST= aceite acidulado de soya T;

AASY= aceite acidulado de soya Y.

EE= error estándar de la media.

ab Los valores en las columnas con letras diferentes difieren significativamente ( $P<0.05$ ).

### Conclusiones e implicaciones

Se concluye que los aceites acidulados de soya contienen diferentes concentraciones de ácidos grasos y energía metabolizable; sin embargo, al formular dietas para gallinas, son una alternativa como fuente de energía metabolizable en sustitución del aceite crudo de soya, al no afectar las variables productivas y mejorar en calidad del huevo (unidades Haugh). El tipo de aceite y el nivel en el que estos se incluyan en la dieta modifica el perfil de ácidos grasos del huevo. La inclusión de los aceites acidulados a la dieta de las aves disminuye el costo de producción de un kilo de huevo por concepto de alimentación.

### **Agradecimientos**

Esta investigación fue financiada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

### **Literatura citada:**

1. Leeson S, Summers JD. Commercial Poultry Nutrition. 3th ed. Ontario Canada: University Books; 2005.
2. Pesti G, Bakalli R, Qiao M, Sterling K. 2002. A Comparison of eight grades of fat as broiler feed ingredients. *Poult Sci* 2002;81:382-390.
3. Omid M, Rahimi S, Ali M. Modification of egg yolk fatty acids profile by using different oil sources. *Vet Res Forum* 2015;6(2):137-141.
4. Sklan D. Digestion and absorption of lipids in chicks feed triglycerides of free fatty acids: Synthesis of monoglyceridos in the intestine. *Poult Sci* 1979;58:885-889.
5. Dumont MJ, Narine SS. Soapstock and deodorizer distillates from North American vegetable oils: Review on their characterization, extraction and utilization. *Food Res Int* 2007;40:957-974.
6. Dumont MJ, Narine SS. Characterization of soapstock and deodorizer distillates of vegetable oils using gas chromatography. *Lipid Tech* 2008;20(6):136-138.
7. Kessler A, Lubisco D, Vieira M, Ribeiro A, Penz A. Fatty-acid composition of free-choice starter broiler diets. *Br Poult Sci* 2009;11:31-38.
8. Haasa MJ, Bloomer S, Scotta K. Simple, high-efficiency synthesis of fatty acid methyl esters from soapstock. *J Am Oil Chem Soc* 2000;77(4):373-379.

9. Ribeiro BC, Lara LJ, Baião NC, Lopez CA, Fiuza MA, Cançado SV, Silva GM. Effect of linoleic acid level in the diets on the weight, composition and eclodibility of broiler breeders eggs. *Arq Bras Med Vet Zootec* 2007;59(3):789-796.
10. Haas MJ. Improving the economics of biodiesel production through the use low value lipids as feedstocks: vegetable oil soapstock. *Fuel Process Technol* 2005;86:1087-1096.
11. Sibbald IR. The T.M.E. system of feed evaluation: methodology, feed composition data and bibliography. *Thech Bull* 1986-4E, Res Brach Agric. Canada 1986.
12. Sibbald IR. A bioassay for true metabolizable energy in feeding stuffs. *Poult Sci* 1976;55:303-308.
13. Wiseman J, Salvador F. The influence of free fatty acid content and degree of saturation on the apparent metabolizable energy value of fats fed to broilers. *Poult Sci* 1991;70:573-582.
14. Bustillo PR, Cuca GM, Cervantes MR, Pro MA. Determinación de la calidad nutritiva de pastas de soya y soya integral mediante pruebas de laboratorio y biológicas en pollos de engorda y gallos Leghorn. *Agrociencia* 1991;1(3):57-70.
15. NRC. National Research Council. The nutrient requirements of poultry. 9th ed. Washington, DC, USA: National Academy Press; 1994.
16. Cuca GM, Pró MA, Ávila GE. Alimentación de las aves. México: Universidad Autónoma Chapingo; 2009.
17. FNDARFP. (Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario Rural, Forestal y Pesquero). 2016. Precio de Sorgo y Pasta de soya. <http://www.financierarural.gob.mx/informaciónsectorrural/Precios%20Lateral/PreciosNacionales.pdf>. Consultado 20 Oct, 2016.
18. AOAC. Official methods of analysis. 17<sup>th</sup> ed. Association of Official Analytical Chemists Inc., Arlington. Va. USA. 2000.
19. AOAC. Official methods of analysis. 18<sup>th</sup> ed. Association of Official Analytical Chemists Inc., Arlington. Va. USA. 2002.
20. SAS Institute. Statistical Analysis System. The SAS system for Windows release 8.0. USA; 1999.
21. Göçmen R, Kanbur G, Cufadar Y. Yumurta Tavuğu Rasyonlarına Soya Yağı, Ayçiçek Asit Yağı ve Kombinasyonlarının İlavesinin Performans, Yumurta Kalitesi ve Yumurta Sarısı Yağ Asidi Kompozisyonuna Etkileri. *Tavuk Araşt Enstit Müdürl* 2015;12(1):16-19.

22. Lelis G, Silva M, Tavernari F, Albino L, Rostagno H. Performance of layers fed diets containing different oils. *Braz J Poultry Sci* 2009;11(4):235-240.
23. Ceylan N, Ciftçi I, Mızrak C, Kahraman Z, Efil H. Influence of different dietary oil sources on performance and fatty acid profile of egg yolk in laying hens. *J Anim Feed Sci* 2011;20:71–83.
24. Veldkamp T, Kwakkel RP, Ferket PR, Verstegen WA. Growth responses to dietary energy and lysine at high and low ambient temperature in male turkeys. *Poult Sci* 2005;84:273-282.
25. Pérez-Bonilla A, Novoa S, García J, Mohiti-Asli M, Frikha M, Mateos G. Effects of energy concentration of the diet on productive performance and egg quality of brown egg-laying hens differing in initial body weight. *Poult Sci* 2012;91:3156-3166.
26. Pardío V, Landín L, Waliszewski K, Pérez F, Díaz L, Hernández B. The effect of soybean soapstock on the quality parameters and fatty acid composition of the hen egg yolk. *Poult Sci* 2005;84:148-157.
27. Bouvarel I, Nys Y, Panheleux M, Lescoat P. Comment l'alimentation des poules influence la quite des oeufs. *INRA. Product Anim* 2010;23:167-182.
28. Whitehead C, Bowman A, Griffin H. The effects of dietary fat and bird age on the weights of eggs and egg components in the laying hens. *Br Poult Sci* 1991;32:565-574.
29. Wiseman J. Full fat soya, oils and fats in poultry nutrition. *Am Soybean Assoc. Bruselas, Bélgica*, 1994.
30. Pérez-Bonilla A, Frikha M, Mirzaie S, García J, Mateos G. Effects of the main cereal and type of fat of the diet on productive performance and egg quality of brown-egg laying hens from 22 to 54 weeks of age. *Poult Sci* 2011;90: 2801-2810.
31. Pardío V, Landín L, Waliszewski K, Badillo C, Pérez F. The effect of acidified soapstocks on feed conversion and broiler skin pigmentation. *Poult Sci* 2001;80:1236-1239.
32. Pekel A, Demirel G, Midilli M, Yalcintan H, Ekiz B, Alp M. Comparison of broiler meat quality when fed diets supplemented with neutralized sunflower soapstock or soybean oil. *Poult Sci* 2012;91:2361-2369.
33. Souza J, Costa F, Queiroga R, Silva J, Schuler A, Goulart C. Fatty Acid Profile of Eggs of Semi-Heavy Layers Fed Feeds containing Linseed Oil. *Braz J Poult Sci* 2008;10(1):37-44.

34. Mazalli M, Faria D, Salvador D, Ito D. A comparison of the feeding value of different sources of fats for laying hens: 2. Lipid, cholesterol and vitamin E profiles of egg yolk. *J Appl Poult Res* 2004;13:280-290.
35. Celebi S, Macit M. The effects of sources of supplemental fat on performance, egg quality, and fatty acid composition of egg yolk in laying hens. *J Sci Food Agr* 2008;88:2382-2387.
36. Ranil C, Novinda A, Williams H, Jayasena V. Omega-3 fatty acid profile of eggs from laying hens fed diets supplemented with chia, fish oil, and flaxseed. *J Food Sci* 2015; 80:180-187.
37. Goyens P, Spilker M, Zock P, Katan M, Mensink R. Conversion of  $\alpha$ -linolenic acid in humans is influenced by the absolute amounts of  $\alpha$ -linolenic acid and linoleic acid in the diet and not by their ratio. *Am J Clin Nutr* 2006;84:44-53.
38. Nain S, Renema R, Korver D, Zuidhof M. Characterization of the n-3 polyunsaturated fatty acid enrichment in laying hens fed an extruded flax enrichment source. *Poult Sci* 2012;91:1720-1732.
39. Cachaldora P, García-Rebollar P, Álvarez C, Méndez J, de Blas JC. Effect of conjugated linoleic acid, high-oleic sunflower oil and fish oil dietary supplementation on laying hen egg quality. *Span J Agric Res* 2005;3(1):74-82.
40. da Silva W, Elias A, Aricetti J, Sakamoto M, Murakami A, Gomes S, J. Visentainer J, de Souza N, Matsushita M. Quail egg yolk (*Coturnix coturnix japonica*) enriched with omega-3 fatty acids. *Food Sci Technol* 2009;42:660-663.
41. Wood J, Enser M, Scollan N, Gulati S, Richardson I, Nute G. The effects of ruminally protected dietary lipid on the lipid composition and quality of beef muscle. *Proc 47th Int Cong Meat Sci Technol*. Warszawa: Meat and Fat Research Institute. 2001:Vol 1:186-187.
42. Simopoulos AP. The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. *Exp Biol Med* 2008;233:674-688.
43. Connor WE, Lowensohn R, Hatcher L. Increased docosahexaenoic acid levels in human newborn infants by administration of sardines and fish oil during pregnancy. *Lipids* 1996;31:S183-S187.
44. Simopoulos AP. An increase in the Omega-6/Omega-3 fatty acid ratio increases the risk for obesity. *Nutrients* 2016;8:1-17.