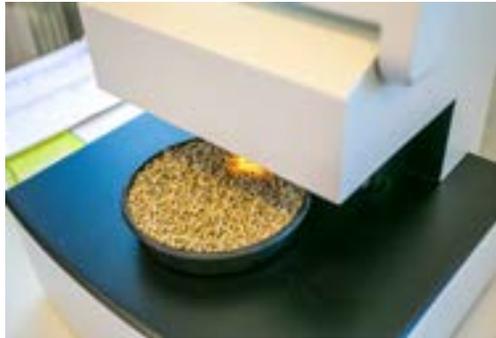
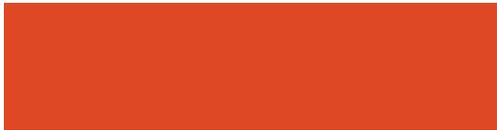




Fabricación de
Alimentos Balanceados de Calidad con
Aceite de Soya Crudo Desgomado de los
 Estados Unidos: Ventajas, Beneficios y Aplicaciones



USSEC
 U.S. SOYBEAN EXPORT COUNCIL

ASA
 American Soybean Association
 International
 Marketing

USB
 UNITED SOYBEAN BOARD



FABRICACIÓN DE ALIMENTOS BALANCEADOS DE CALIDAD CON ACEITE DE SOYA CRUDO DESGOMADO DE LOS ESTADOS UNIDOS: VENTAJAS, BENEFICIOS Y APLICACIONES



16305 Swingley Ridge Road
Suite 200
Chesterfield, MO 63017-USA
phone: 636.449.6400
fax: 636.449.1293
www.ussec.org



7 **Prólogo**

9 **Capítulo 01**
Perspectiva de la Producción de Aceite de Soya en los Estados Unidos

15 **Capítulo 02**
Las Ventajas de Utilizar Aceite de Soya Desgomado de Estados Unidos en las Dietas de Cerdos y Aves

29 **Capítulo 03**
Evaluando la Calidad de Grasas y Aceites Usados en Alimentos Balanceados

43 **Capítulo 04**
Consecuencias de Alimentar Lípidos Oxidados a Aves y Cerdos

53 **Capítulo 05**
Efectos al Alimentar Cerdos con Aceite de Soya Oxidado y Antioxidantes

67 **Capítulo 06**
Cómo Proteger la Calidad del Aceite de Soya de Estados Unidos

85 **Capítulo 07**
Papel del Aceite de Soya Estadounidense en la Manufactura de Alimentos de Alta Calidad

95 **Capítulo 08**
Aplicaciones del Aceite de Soya de los Estados Unidos en Dietas para Cerdos

119 **Capítulo 09**
Aplicaciones del Aceite de Soya de Estados Unidos en Dietas para Pollo de Engorde

139 **Capítulo 10**
Aplicaciones del Aceite de Soya de los Estados Unidos en Dietas para Gallinas de Postura

149 **Capítulo 11**
Beneficios para la Salud en Cerdos y Aves al Usar Aceite de Soya de los Estados Unidos de Alta Calidad

157 **Capítulo 12**
Efecto de los Aditivos sobre la Utilización de Energía del Aceite de Soya Estadounidense en Dietas para Cerdos y Aves

171 **Capítulo 13**
Valor Energético del Aceite Acidulado de Soya en Dietas para Cerdos y Aves

181 **La Ventaja de la Soya de los Estados Unidos**



QUERIDOS AMIGOS,

Quisiera expresar mi mayor gratitud por su interés en los programas del Consejo de Exportación de Soya de los Estados Unidos (USSEC). En USSEC, nos esforzamos por proporcionar soluciones comerciales de clase mundial para que nuestros clientes crezcan y prosperen. Su éxito es nuestro éxito.

USSEC colabora con expertos en diferentes áreas, quienes proporcionan investigaciones de vanguardia, datos sobre nutrición actualizados y prácticas de consultoría sofisticadas. Es en ese sentido, que nos enorgullece presentarles este manual sobre el uso de aceite de soya de los Estados Unidos en la fabricación de alimentos balanceados. Su autor, el Dr. Gerald (Jerry) Shurson es líder mundial en oxidación de lípidos y características nutricionales del aceite de soya, siendo un honor para nosotros que forme parte del equipo de consultores de USSEC, desarrollando esta importante herramienta.

La harina de soya derivada de granos de soya estadounidenses tiene claras ventajas nutricionales en términos de perfil de aminoácidos, energía metabolizable y otros nutrientes esenciales. Ahora, nos complace informar que el aceite de soya derivado de la soya estadounidense también tiene beneficios nutricionales únicos para complementar sus raciones.

Si bien nadie puede predecir el futuro, algo que la crisis del coronavirus nos ha enseñado a todos es que debemos manejar el riesgo. El riesgo se presenta en miles de formas y el estar dispuestos a considerar el uso de diversos ingredientes es una estrategia que permite atenuarlo en la cadena de suministro. El objetivo de este manual es ser un recurso integral y útil para la evaluación nutricional del aceite de soya estadounidense.

Esperamos que piensen en USSEC como un aliado estratégico, donde siempre estamos listos para colaborar con sus negocios y brindarles soluciones óptimas. Si tienen preguntas o comentarios, estaremos encantados de ayudarles.

Confiamos en que encontrarán útil este manual y estamos convencidos de que experimentarán con la adopción de algunas de las recomendaciones descritas en el mismo.

Les saluda, cordialmente,



KEVIN ROEPKE
DIRECTOR REGIONAL — LAS AMÉRICAS
CONSEJO DE EXPORTACIÓN DE SOYA
DE LOS ESTADOS UNIDOS

PRÓLOGO

El aceite de soya desgomado de Estados Unidos es una fuente de energía de alto valor que se utiliza en las dietas de cerdos y aves para mejorar la eficiencia calórica de la producción de carne de cerdo, aves y huevo. Se produce en grandes cantidades con una calidad constante, lo que hace que sea una de las fuentes de lípidos suplementarios preferida por los nutriólogos de todo el mundo.

El aceite de soya desgomado de Estados Unidos también aporta numerosos beneficios adicionales que no se encuentran en otras grasas y aceites alimentarios. Posee la extraordinaria característica de ser la única fuente de lípidos que contiene altas concentraciones de ácidos grasos esenciales dietéticos: ácido linoleico y linolénico. Mejora la palatabilidad de la dieta y reduce de manera significativa los niveles de polvo en las fábricas de alimentos balanceados e instalaciones comerciales porcinas y avícolas. También se ha demostrado que el aceite de soya de Estados Unidos reduce los efectos adversos del estrés calórico en el rendimiento de los cerdos y aves de corral, además de minimizar potencialmente la disminución del índice de crecimiento en pollos de engorde cuando consumen dietas contaminadas con aflatoxinas. Se ha demostrado que las dietas para cerdos en crecimiento y finalización que contienen aceite de soya aumentan el contenido de ácidos grasos omega-6 en la carne, lo cual se considera una forma más saludable de ácidos grasos para los humanos, en comparación con los ácidos grasos saturados. Efectos similares se producen en la composición de los ácidos grasos de huevos de gallinas ponedoras alimentadas con aceite de soya.

El aceite de soya de Estados Unidos es la fuente de lípidos más ampliamente investigada en las dietas para animales, en comparación con cualquier otra grasa o aceite. Por lo tanto, existe una gran cantidad de información disponible en la literatura científica que se ha resumido en este Manual de Aceite de Soya de Estados Unidos, el cual debe utilizarse para optimizar el valor nutricional y económico del aceite de soya de Estados Unidos en las dietas para cerdos, pollos de engorde y gallinas ponedoras.

Este Manual fue escrito por el Dr. Gerald (Jerry) Shurson, Profesor de Nutrición Animal del Departamento de Ciencias Animales de la Universidad de Minnesota. El profesor Shurson es reconocido mundialmente por las investigaciones que su equipo ha realizado sobre la evaluación del valor nutricional de las grasas y aceites en las dietas para cerdos y aves de corral, así como los efectos de la oxidación de lípidos en la salud y el rendimiento animal. Apreciamos y reconocemos ampliamente la coautoría e invaluables contribuciones del Sr. Jeremiah Lechman, Director de Nutrición - Porcinos y Aves de Corral - de J & R Livestock Consultants, Ltd., Winnipeg, MB, Canadá, en la elaboración del Capítulo 6 de este Manual y el desarrollo de la Guía y Lista de Aseguramiento de la Calidad del Aceite de Soya Crudo de Estados Unidos del Anexo del Capítulo 7.

Capítulo



01

**Perspectiva de la Producción de Aceite
de Soya en los Estados Unidos**

INTRODUCCIÓN

El frijol de soya es producido en una gran cantidad de países alrededor del mundo, y sirve como una excelente fuente de aceite y de proteína para consumo humano y animal. Los Estados Unidos son el productor líder de frijol de soya a nivel global, con alrededor de 36% del total de la producción de frijol de soya a nivel mundial. La producción de soya de los Estados Unidos ha ido incrementándose de manera consistente a lo largo de los últimos 20 años debido a la creciente demanda por pasta de soya como una fuente de proteína de alta calidad en alimentos para animales. Sin embargo, el incremento en la producción de soya en los Estados Unidos también a llevado a un incremento en la producción de aceite de soya para uso en alimentación humana y animal, con un poco más de 11 millones de toneladas de aceite de soya producido en 2018 (USDA 2019).

De manera similar, la producción global de aceites vegetales se ha incrementado dramáticamente a lo largo últimos 20 años. El aceite de palma es el aceite predominante producido en el mundo, y representa alrededor de 35% de la producción total, seguido del aceite de soya (26%), aceite de canola (15%) y aceite de girasol (9%; Kerr et al., 2015). El 15% restante de la producción de aceite vegetal en el mundo incluye: aceite de palmiste, aceite de semilla de algodón, aceite de cacahuete, aceite de coco, aceite de oliva y aceite de maíz (Kerr et al., 2015). Además, la industria de las semillas oleaginosas produce lecitina, jabón, aceites ácidos y destilados de ácidos grasos que son también utilizados de manera directa o mediante un proceso posterior y mezclándolos con otros lípidos en alimentos para animales (Kerr et al., 2015). Además, los subproductos de la industria de alimentos como la grasa de restaurantes, las grasas secas, los mono y diglicéridos y los emulsificantes son también utilizados como fuentes de energía en alimentos para animales, pero en menor grados que los aceites vegetales. La producción y el uso de grasas animales para ser usadas en alimentos para animales también ha crecido con el tiempo, pero menos comparado con los aceites vegetales. Las grasas animales comunes en la industria de alimentos incluyen el sebo comestible y no comestible (aproximadamente el 57% de las grasas extraídas en los Estados Unidos), grasa amarilla (19%), manteca y grasa blanca de primera calidad (12%), y grasa de pollo (10%; Kerr et al., 2015). Finalmente, las grasas animales a menudo son mezcladas con aceites vegetales para producir diversas mezclas animales-vegetales que también son usados como fuente de energía en alimentos para ganado y aves.

De todas las posibles fuentes de lípidos que pueden ser utilizadas en dietas de cerdos y aves, el aceite de soya es el más ampliamente utilizado y la fuente de lípidos más extensivamente investigada para su uso en dietas para cerdos y aves alrededor del mundo. Aunque el aceite de soya estadounidense es producido principalmente para consumo humano, grandes cantidades de aceite de soya crudo y desgomado son producidos para su uso en alimentos para cerdos y aves en el mercado doméstico y de exportación. Canadá y América Latina representan el 61% del total de exportaciones de aceite de soya (2018 Fotos del mercado de USSEC). El aceite de soya estadounidense se ha convertido en la fuente preferida de aceite para ser usado en dietas de cerdos y aves ya que es producido en grandes cantidades anualmente asegurando un abastecimiento abundante y consistente. El aceite de soya estadounidense también contiene más energía metabolizable para cerdos y aves en comparación con cualquier otra fuente de lípidos usada comúnmente y su calidad y composición son más consistentes que la mayoría de las grasas y aceites para consumo animal en el mercado. Esto es extremadamente importante, porque los nutricionistas confían en la calidad constante y predecible; además, del aporte nutricional de los ingredientes usados en la fabricación de dietas de precisión, asegurando los valores energéticos adecuados, pudiéndolas capturar el mayor beneficio económico.

PRODUCCIÓN DE ACEITE DE SOYA NORTEAMERICANA

El frijol de soya es una importante semilla oleaginosa tanto nutricionalmente como económicamente hablando, ya que contienen grandes cantidades de proteína (48% y aceite 21%). El procesado de la soya resulta en la

producción de alrededor de 5.0 kg de aceite crudo, 20.1 kg de pasta de soya y alrededor de 1.5 kg de cascarilla de soya por cada bushel (27.2 kg) procesado (Hammond, 2005). El aceite de soya puede ser extraído por medio de un proceso mecánico ó por extracción con solventes. La extracción mecánica del aceite involucra el uso de expulsores, que son presas de tornillos continuos accionadas eléctricamente. En contraste, la extracción por solventes es el método más comúnmente usado para producir aceite de soya en los Estados Unidos, representando el 98% del frijol de soya procesado (Hammond, et al., 2005). Sin embargo, la extracción por solventes requiere más inversión de capital e instalaciones a mayor escala en comparación con los expulsores. Típicamente, las instalaciones para la extracción por solventes son capaces de procesar 2,500 a 5,000 toneladas de soya por día. Por lo tanto, es importante comprender el proceso de la extracción por solventes en la producción de aceite de soya estadounidense, crudo, desgomado para uso en alimentación de cerdos y aves.

COSECHA Y ALMACENAMIENTO DE SOYA

Los productores de soya estadounidense cosechan el frijol soya cuando se alcanza el contenido de humedad del 13% por medio de secado natural en los campos previo a la cosecha. El lograr este contenido de humedad es importante por dos razones: 1) menor humedad puede ser causa de fracturas durante el manejo y 2) los niveles elevados de humedad pueden causar crecimiento de hongos o daño por calor. En cualquier caso, es importante prevenir este tipo de daños para lograr un grado elevado y buen precio, así como optimizar la cantidad y calidad de aceite durante el procesamiento. La soya se almacena típicamente en silos de metal o concreto en las granjas o en elevadores locales hasta que sean transportadas a las plantas procesadoras.

LIMPIEZA, PRE-ACONDICIONAMIENTO Y RUPTURA

Una vez que el frijol de soya es transportado de la granja a la planta procesadora, son sometidos a un proceso de limpieza para remover el material extraño (ej. Tallos, vainas, semillas rotas, tierra y piedras) usando las cribas cernidoras y aspiradoras (**Figura 1**). A continuación, se pre- acondiciona la soya por medio de calentamiento y secado hasta llegar a un contenido de humedad de aproximadamente del 9.5% (Hammond et al., 2005). Esto mejora la eficiencia para remover las cáscaras que se logra al romper las semillas en pedazos más pequeños con molino de rodillos corrugados, seguido de una aspiración de las cáscaras del resto de la semilla (“carne”). Afortunadamente, las cáscaras de soya son relativamente fáciles de remover en comparación con otras semillas oleaginosas. Las cáscaras de soya son removidas porque contienen menos del 1% de aceite, incrementan la proteína y reducen el contenido de fibra de la pasta de soya y reduce el volumen del material que será procesado posteriormente para reducir costos y mejorar la eficiencia en la extracción de aceite. Las cáscaras aspiradas pueden ser forzadas a través de tablas de gravedad y separar aún más cualquier partícula remanente de “carne”.

ACONDICIONADO, HOJUELADO, EXPANSIÓN Y EXTRACCIÓN CON SOLVENTES

Los frijoles de soya, ya limpios y descascarillados son subsecuentemente acondicionados por medio de calentamiento a 74°C para suavizar la semilla, previo al hojuelado (0.25 mm) por medio de un molino de rodillos suaves (Figura 1; Hammond et al., 2005). Es importante lograr un apropiado quebrado y acondicionado ya que esto causa la ruptura celular deseada para una eficiente extracción de aceite y minimizar la cantidad de partículas finas que interfieren con la óptima producción de hojuelas y extracción de aceite (Hammond et al., 2005). La meta es producir membranas altamente distorsionadas alrededor del aceite en células y paredes celulares para que el aceite pueda ser fácilmente extraído. Alternativamente, el uso de expansores incrementa la distorsión celular y produce pellets más densos (collets) para permitir una extracción de aceite más fácil en comparación con las hojuelas (Hammond et al., 2005). El grado de uso de los expansores para el procesado de hojuelas varía entre las instalaciones de procesado y puede ir desde un tercio de todas las hojuelas expandidas mejorando la calidad del aceite inactivando las fosfolipasas que causan que los fosfolípidos no sean hidratables (Hammond et al., 2005).

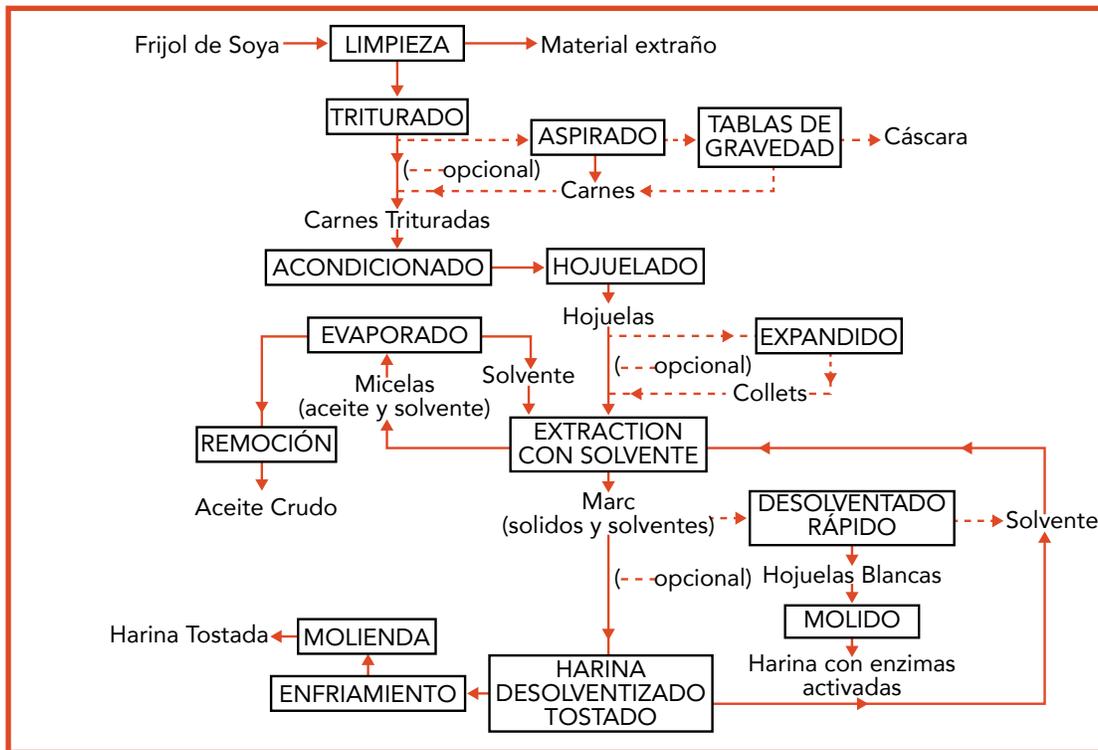


Figura 1. Proceso de extracción de aceite de soya con solventes (Hammond et al., 2005)

Las hojuelas o collets son transportadas por varios tipos de equipos de extracción (cadena, canasta, cama-superficial, cama-profunda), donde el solvente pasa continuamente a contracorriente para transportar los sólidos por 30 a 45 minutos en seis o más etapas (Hammond et al., 2005).

La extracción ocurre por percolación más que por inmersión al permitir que el solvente fluya por gravedad a través del equipo de extracción. El solvente está conformado por una mezcla de isómeros de hexano (45% a 70% de n-hexano) obtenido de un destilado de petróleo, y tiene una temperatura de ebullición en el rango de 65°C a 71°C. El aceite de mejor calidad, que es bajo en componentes sin triacilglicerol es extraído primero y a medida que la extracción continúa, el aceite de menor calidad continúa incrementando las concentraciones de fosfátidos, ácidos grasos libres y se produce un pigmento (Hammond et al., 2005).

EVAPORACIÓN, RECUPERACIÓN DEL SOLVENTE Y PELADO

El extracto rico en aceite (micela), conteniendo 20 a 30% de aceite, es transferido al equipo de recuperación de solvente (Figura 1; Hammond et al., 2005). La recuperación del solvente consiste en un evaporador de dos etapas y un removedor de aceite. Después de salir del evaporador de la primera etapa, el contenido de aceite aumenta a aproximadamente 65% a 70% de aceite, y luego de ser calentado con vapores del desolventizador tostador y pasar por el evaporador de segunda etapa, la concentración de aceite se incrementa de 90% a 95% (Hammond et al., 2005). El vapor de inyección de vapor, temperatura elevada y vacío son utilizados en el removedor de aceite para remover el solvente a una concentración menor al 0.2% en el aceite de soya (Hammond et al., 2005). La temperatura en el removedor de aceite no deberá exceder los 115°C para prevenir el quemado del aceite y causar un oscurecimiento de color (Hammond et al., 2005). Todo el solvente evaporado es reciclado de vuelta en el extractor y el aceite es transferido a una secadora de vacío para remover cualquier condensado de vapor que haya quedado del removedor (Hammond et al., 2005). El aceite crudo de soya es posteriormente enfriado y llevado al almacén. Una

del aceite crudo de soya es transportado a las refinerías para su procesamiento posterior en aceite de soya refinado para consumo humano (**Figura 2**).

ALMACENAMIENTO

El aceite de soya crudo puede ser almacenado por períodos largos en tanques grandes que hayan sido previamente enfriados a temperatura ambiente, que tengan limitada exposición al aire y que tengan un bajo contenido de humedad. Los antioxidantes naturales (ej. Tocoferoles, trienoles, fosfátidos) presentes en el aceite de soya proveen al aceite de protección significativa a la oxidación. Sin embargo, se pueden formar depósitos de fosfátidos en la base de los tanques de almacenaje y en el equipo de transporte usado para el envío del aceite crudo de soya (Hammond, et al., 2005). Las características químicas del aceite de soya

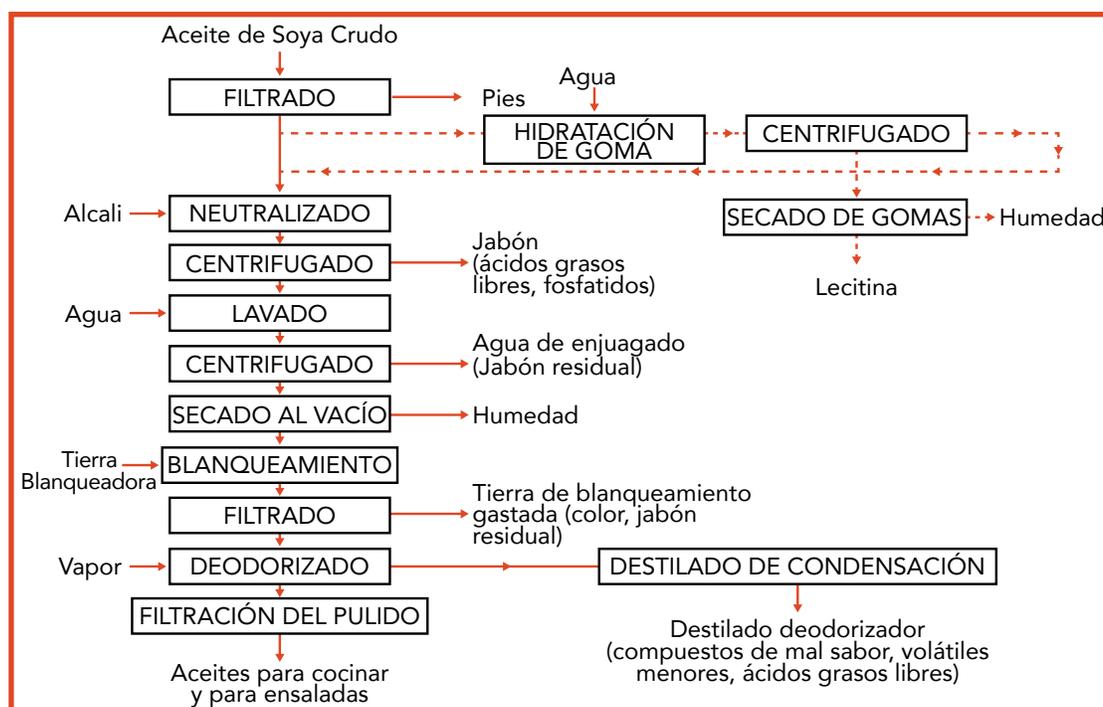


Figura 2. Procesos convencionales para la refinación de aceite de soya (Hammond et al., 2005)

extraído por solventes se muestran en la **Tabla 1**, que indica una muy elevada calidad debido al bajo contenido de humedad, ácidos grasos libres y fósforo. El bajo valor de peróxido y la elevada estabilidad por el Método de Oxígeno Activo (AOM; AOCS Method CD. 12-57) indican que ocurre una oxidación mínima durante el proceso de extracción de aceite.

Algunas plantas de procesamiento de soya desgoman el aceite de soya para producir fosfátidos y comercializarlos en forma de lecitina previo a su envío a refinerías para su procesamiento posterior (Hammond, et al., 2005). Como resultado, se produce un aceite de soya crudo y desgomado y es comercializado con grado para consumo animal. Sin embargo, debido a que hay un mercado limitado para la lecitina de soya, las gomas son de manera seguida, adicionadas nuevamente a la harina en la tostadora para evaporar el agua y mejorar el contenido de energía metabolizable de la pasta de soya.

Tabla 1. Características químicas del aceite de soya norteamericana producido por extracción con solventes (adaptado de Hammond et al., 2005)

Medida	Concentración
Humedad, %	0.08
Ácidos Grasos Libres, %	0.31
Fósforo, ppm	277
Tocoferoles, ppm	1,365
Valor de peróxido, mEq/kg	0.96
Estabilidad de AOM, h	39.8

PASTA DE SOYA

Las hojuelas o collets a las que se ha extraído el aceite son transferidas a un des-solventador-tostador para un procesamiento posterior (**Figura 1**). Se usan el vapor de agua y succión al vacío para remover el vapor del solvente durante el proceso de condensación y el solvente condensado es reciclado de regreso al extractor después de que se remueve el agua del hexano (Hammond et al., 2005). Posteriormente, la pasta fluye a través de una serie de charolas de un desolventizador tostador. El tostado (calentamiento) es necesario para inactivar los inhibidores de proteasa (ej. Inhibidores de tripsina), que pueden afectar negativamente el desempeño en crecimiento del animal. La pasta es subsecuentemente secada hasta un contenido de humedad de 12%, enfriada, molida en un molino de martillos para producir un tamaño de partícula uniforme y transferirlos al almacenamiento. La pasta de soya descascarillada resultante contiene alrededor de 48% de proteína y un contenido de grasa residual de aproximadamente 1.5%. Algunas instalaciones de procesamiento de soya agregan de vuelta algunas cáscaras de soya a la harina (pasta) antes de ser molida, resultando en un contenido de proteína cruda del 44% al 46%. Algunas procesadoras también producen hojuelas blancas de soya por medio de un desolventizador rápido en lugar de un desolventizador tostador para incrementar la solubilidad de la proteína (Hammond et al., 2005). Las hojuelas blancas son utilizadas para producir aislados de soya (> 90% de proteína cruda) y concentrados de proteína de soya (65% de proteína cruda) para alimentos humanos y algunos alimentos especializados para consumo animal.

RESUMEN

Los Estados Unidos es globalmente el productor líder de frijol soya, con cerca del 36% del total de producción de frijol soya a nivel mundial, con más de 11 millones de toneladas de aceite de soya producido anualmente. El aceite de soya ocupa el segundo lugar entre los aceites vegetales, que representa el 26% del total de producción de aceites. El procesamiento de la soya tiene como resultado la producción de alrededor de 5.0 kg de aceite crudo, 20.1 kg de pasta de soya, y cerca de 1.5 kg de cáscaras de soya por cada bushel (27.7 kg) procesado. La extracción con solvente es el método más comúnmente utilizado para producir aceite de soya en los Estados Unidos, representando más del 98% del frijol soya procesado. Típicamente las instalaciones para la extracción por solventes para la soya son capaces de procesar 2,500 a 5,000 toneladas métricas de frijol soya por día. Una cantidad significativa de aceite de soya crudo, desgomado es producido para uso local en alimentos para cerdos y aves y también es exportado a muchos países alrededor del mundo.

REFERENCIAS

- Hammond, E.G., L.A. Johnson, C. Su, T. Wang, and P.J. White. 2005. Soybean Oil. In: Bailey's Industrial Oil and Fat Products, 6th edition, Ed. F. Shahidi, John Wiley & Sons, Inc. pp. 577-653.
- Kerr, B.J., T.A. Kellner, and G.C. Shurson. 2015. Characteristics of lipids and their feeding value in swine diets. *J. Anim. Sci. Biotech.* 6:30.
- USSEC. 2018. Market Snapshots. <https://ussec.org/wp-content/uploads/2018/01/20180222-Market-Snapshots-FINAL.pdf>



Capítulo

02

**Las Ventajas de Utilizar Aceite de Soya
Desgomado de Estados Unidos en las
Dietas de Cerdos y Aves**

INTRODUCCIÓN

Durante muchos años, el aceite de soya de Estados Unidos ha sido la fuente preferida de lípidos para usarse en las dietas de cerdos y aves en todo el mundo; el cual ha sido ampliamente utilizado como un punto de referencia para evaluar y comparar el valor nutricional de diversas calidades de grasas y aceites alimenticios en el mercado global. El aceite de soya ha servido como una “regla de oro” debido a sus muchos atributos benéficos y a las mínimas limitantes para ser usado en las dietas de cerdos y aves. Esto se ha descubierto gracias a las extensivas investigaciones llevadas a cabo y publicadas por líderes en salud animal y científicos avícolas de todo el mundo. Por lo tanto, el propósito de este capítulo es destacar las múltiples ventajas de utilizar el aceite de soya desgomado en las dietas de aves y cerdos a lo que se hace referencia en diversos capítulos en este manual, donde se describen más detalles y resúmenes de hallazgos claves de la literatura científica.

ABASTECIMIENTO ABUNDANTE Y CONSTANTE

La producción de aceite de soya en los Estados Unidos se ha incrementado de forma sostenida durante los últimos 20 años, de alrededor de 8 millones de toneladas en 1999 a más de 11 millones de toneladas en 2019. Aunque una gran parte del aceite de soya producido en Estados Unidos se refina para alcanzar un grado alimentario para consumo humano, existen cantidades significativas de aceite de soya disponibles constantemente para uso doméstico, aunque también se exporta a diversos países para consumo animal. Es importante contar con un abastecimiento abundante y constante de cualquier ingrediente alimenticio; debido a que, una vez que un usuario final decide comprometerse a usar un ingrediente alimenticio, necesita tener la seguridad de que siempre lo tendrá disponible para evitar invertir el tiempo y el esfuerzo que se requieren para alterar su almacenamiento y manejo en la planta de alimentos, así como ajustar las formulaciones de la dieta al cambiar a una fuente alterna de grasa o de aceite. De manera histórica, la mayoría de los principales países importadores de aceite de soya de los Estados Unidos se localizan en América Latina, debido a que gran parte de los compradores en estos países han reconocido el alto valor que conserva el aceite de soya de Estados Unidos por un largo lapso de tiempo. Por lo anterior, se espera que en el futuro continúe habiendo una mayor demanda de aceite de soya desgomado de Estados Unidos para consumo animal y refinado para consumo humano.

TIENE UN PRECIO COMPETITIVO

El aceite de soya desgomado es una de las fuentes más digestibles y altas en energía metabolizable en el mercado global de ingredientes alimenticios. Como resultado, gran parte del alto valor económico de añadir aceite de soya de Estados Unidos a las dietas de cerdos y aves se deriva de una mejora en la conversión alimenticia que resulta de su alto contenido de energía metabolizable, y el “efecto extra calórico” que se observa comúnmente cuando se agrega a las dietas, tanto de aves como de cerdos. Aunque, por lo general, el aceite de soya desgomado de Estados Unidos no es el aceite o la grasa de menor precio (precio/tonelada) en el mercado de ingredientes de alimentos para consumo animal, su precio es competitivo si se le compara con otras grasas y aceites utilizados en este tipo de alimentos. Los usuarios que han tenido éxito al usar el aceite de soya desgomado de Estados Unidos reconocen que su verdadero valor económico y nutricional no está determinado precisamente con base en su precio por kilo o tonelada de aceite. Es más preciso usar el precio por Mcal de energía metabolizable, y también considerar los muchos otros beneficios de valor agregado nutricional y de salud que el aceite de soya desgomado de Estados Unidos proporciona cuando se usa en las dietas de cerdos y aves. Por lo tanto, el verdadero valor económico del aceite de soya desgomado de Estados Unidos está determinado por el valor económico que se obtiene al mejorar la eficiencia y costo de producción de cerdos, aves y huevo y no por el precio/kg de aceite, cuando se añade a las dietas de cerdos y aves.

Para muchos fabricantes de alimentos para animales en todo el mundo, el personal responsable de la compra (adquisición) de los ingredientes para el alimento de animales se enfoca en obtener el mejor precio por tonelada, pero por lo general tiene un conocimiento limitado de su valor nutricional y de como lo utilizarán los nutriólogos cuando formulen las dietas para los animales. A esto en ocasiones se le llama la “desconexión entre el precio y el valor”, donde la consistencia del valor nutricional y económico de algunos ingredientes para alimentos animales (es decir aceite de soya desgomado de Estados Unidos) es mayor que el precio pagado, y mayor que el precio de las grasas y aceites competitivos en el mercado. A las personas que tienen la responsabilidad

de las adquisiciones y los precios de los ingredientes para alimentos de los animales, se les alienta a trabajar con sus nutriólogos, quienes toman las decisiones sobre la formulación de los alimentos para animales dentro de su empresa, a fin de que puedan comprender de mejor manera los beneficios y limitaciones de las diversas grasas y aceites al momento de su adquisición. Lo más importante, es que antes de comprar ingredientes para alimentos de animales tales como el aceite de soya desgomado de Estados Unidos, pidan a los nutriólogos que lleven a cabo un “precio sombra” o precio de referencia para determinar el precio máximo que lo hará más económico y así comprarlo y usarlo en diversas formulaciones de dietas. Varios estudios publicados y resúmenes han demostrado que el aceite de soya desgomado de Estados Unidos de alta calidad, tiene el máximo contenido de energía metabolizable para cerdos y aves en comparación con otras grasas y aceites comunes en el mercado. Esto es importante, porque los lípidos se compran y usan en dietas para animales debido a su alto contenido de energía digestible y metabolizable (calorías), que proporcionan un “efecto extra calórico” en las dietas de cerdos y aves en comparación con otras fuentes de energía en la dieta. Aunque puede ser difícil cuantificar el valor económico de muchas otras características de “valor agregado” del aceite de soya de Estados Unidos, deberán considerarse como parte del proceso global en la toma de decisiones. Estas características de valor agregado se describen posteriormente en este capítulo con más detalle. Por lo tanto, las buenas decisiones de compra para grasas y aceites alimenticios deberán basarse, al menos en el precio/Mcal de energía metabolizable, y de preferencia basadas en una mejor cantidad, eficiencia, y costo de producción de cerdos, aves y huevo, pero no deberán basarse en el precio/kg de aceite.

ESPECIFICACIONES COMERCIALES BIEN INSTITUIDAS Y APLICABLES

La USDA (2013) ha definido los requerimientos físicos del aceite de soya desgomado crudo de los Estados Unidos como: “debe de ser aceite de soya puro, producido a partir de un aceite de soya crudo de buena calidad, al cual se le han retirado la mayoría de las gomas presentes de forma natural, mediante la hidratación y separación mecánica o física. Deberá ser de igual calidad al aceite de soya producido para consumo doméstico.” Sin embargo, la calidad y el contenido de nutrientes varía para todos los ingredientes de los alimentos para consumo animal, incluyendo el aceite de soya crudo desgomado. Para minimizar el riesgo de comprar ingredientes para los alimentos que no cumplan con las expectativas, con frecuencia se utilizan las especificaciones comerciales de muchos productos básicos producidos y comercializados de forma global, incluyendo el aceite de soya crudo y desgomado. Las especificaciones comerciales generalmente se definen según los valores mínimos o máximos de los indicadores medibles de calidad de tipos específicos de ingredientes alimenticios; para lo cual se utilizan métodos analíticos estandarizados a nivel internacional. Para el aceite de soya desgomado de Estados Unidos, estas especificaciones incluyen un máximo de materia no saponificable, un contenido máximo de ácidos grasos libres (FFA por sus siglas en inglés); contenido máximo de humedad, materias volátiles, e impurezas insolubles; un punto mínimo de ignición; y un contenido máximo de fósforo (Tabla 1). Estas especificaciones comerciales son utilizadas como garantía del contrato para asegurarse que la calidad de aceite que se esté comprando cumpla con dichos estándares. Sin embargo, es importante notar que, aunque estas especificaciones pueden ser útiles como indicadores de calidad, no proporcionan información alguna sobre el contenido de energía metabolizable, ni el grado de oxidación excepto por un estándar máximo de < 0.75% ácidos grasos libres. Por lo tanto, a los compradores de aceite de soya desgomado de Estados Unidos se les alienta a que pidan a sus proveedores, indicadores nutricionales y de calidad adicionales de acuerdo con la fuente que esté usando.

Tabla 1. Concentraciones máximas y mínimas de indicadores de calidad del aceite de soya crudo desgomado de Estados Unidos y métodos analíticos aprobados (adaptado de la USDA, 2013)

**AOCS: Sociedad Americana de Aceites Químicos por sus siglas en inglés

Analito	Máximo	Mínimo	Método AOCS
Materia no saponificable, %	1.5	-	Ca 6a-40
Ácidos grasos libres (como oleico), %	0.75	-	Ca 5a-40
Humedad, materia volátil, impurezas insolubles, %	0.3	-	M & V Ca 2c-25
Punto de ignición, °C	-	121	Cc 9c-95
Fósforo, %	0.02	-	Ca 12-55

Tabla 2. Programa de descuento en el precio del aceite de soya desgomado de Estados Unidos que excede los estándares máximos en el contenido de ácidos grasos libres y fósforo (adaptado de la USDA, 2013)

Analito	Rango	Descuento
Ácidos grasos libres, %	0.76 – 0.85	0.2% del precio del contrato
	0.86 – 0.95	0.4% del precio del contrato
	0.96 – 1.05	0.6% del precio del contrato
	1.06 – 1.15	0.9% del precio del contrato
	1.16 – 1.25	1.25% del precio del contrato
Fósforo, %	0.021	0.2% del precio del contrato
	0.022	0.4% del precio del contrato
	0.023	0.6% del precio del contrato
	0.024	0.9% del precio del contrato
	0.025	1.2% del precio del contrato

Tabla 3. Composición normal del aceite de soya crudo (adaptado de Hammond et al., 2005)

Analito	Media + Desviación Estándar, %
Triacilglicerol	94.4 ± 1.4
Fosfolípidos	1.85 – 2.75
Materia no saponificable	1.3 – 1.6
Esteroles	0.236 ± 0.053
Campesterol	0.059 ± 0.018
Estigmasterol	0.054 ± 0.013
β-Sitosterol	0.123 ± 0.027
Δ5-Avenasterol	0.005
Δ7-Estigmasterol	0.005
Δ7-Avenasterol	0.002
Tocoferoles	0.123 ± 0.040
Alfa	0.0093 ± 0.0044
Beta	0.0018 ± 0.0028
Gamma	0.0834 ± 0.036
Delta	0.029 ± 0.010
Hidrocarburos	0.38
Ácidos grasos libres	0.3 – 0.7
Minerales traza	ppm
Hierro	1 – 3
Cobre	0.03 – 0.05

En ocasiones, la calidad del producto no cumple con las especificaciones. La **Tabla 2** muestra el programa de descuento en el precio del aceite de soya desgomado de Estados Unidos que no cumple con las especificaciones estándar en el contenido de FFA y fósforo.

Una ventaja importante del aceite de soya desgomado de Estados Unidos en comparación con otras grasas y aceites, en especial mezclas, sub-productos de lípidos, y lípidos especiales, es que las especificaciones de calidad y composición están bien definidas y son consistentes. Esto es extremadamente importante porque los nutriólogos confían en que recibirán una calidad consistente y predecible y en el valor nutricional de los ingredientes de los alimentos en la formulación de las dietas de precisión para minimizar los “márgenes de seguridad” en las formulaciones de alimentos para animales y el riesgo de sobre alimentar o sub alimentar energía en dichas dietas para captar el mayor valor económico.

COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS MÁS CONSISTENTE QUE OTRAS FUENTES DE LÍPIDOS

Los triacilgliceroles son el componente primario del aceite de soya crudo (**Tabla 3**). El contenido no saponificable del aceite de soya crudo es en promedio de 1.45%, y consiste en 16% de esteroles, 8.5% de tocoferoles, y 26% de hidrocarburos, y el restante 50% consiste en compuestos menores no identificados (Hammond et al., 2005). Los esteroles están compuestos de alrededor de 52% de β-sitosteroles, 25% de campesterol, y 23% de estigmasterol; mientras que los tocoferoles están conformados por 7.6% alfa, 1.5% beta, 67.8% gamma, y 23.6% de delta tocoferol. La concentración relativamente alta de tocoferoles en el aceite de soya crudo proporciona una significativa protección inicial contra la oxidación hasta que se agote, y puede ser responsable de minimizar el comportamiento de crecimiento negativo y los efectos sobre la salud cuando el aceite de soya crudo oxidado es suministrado a las aves y los cerdos en comparación con otros aceites oxidados (ver Capítulos 3, 4, 5, y 9). Es importante destacar que los FFA contienen rangos de 0.3 a 0.7%, lo que es muy bajo si se compara con la mayoría de las demás grasas y aceites usados en las dietas de aves y cerdos. Es conveniente usar lípidos con un bajo contenido de FFA, porque los lípidos con más de un 5% de FFA indican que existe cierta oxidación y el contenido de energía metabolizable puede reducirse. Por último, aunque se sabe que el hierro y el cobre aceleran la oxidación de lípidos, normalmente las concentraciones en el aceite de soya crudo son bajas.

El aceite de soya fresco desgomado de Estados Unidos tiene un perfil constante de ácidos grasos donde hay una alta proporción de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA por sus siglas en inglés), en especial ácido linoleico, lo que provoca que tenga un alto valor de energía metabolizable (**Tabla 4**). Este perfil constante de ácidos grasos puede atribuirse al uso de la extracción estandarizada y bien definida de aceite de soya y a las condiciones de procesamiento entre las plantas de trituración de los Estados Unidos (ver **Capítulo 1**). Otras fuentes

comunes de lípidos que existen en el mercado, como la grasa amarilla, las mezclas de grasa animal-aceite vegetal, y algunas fuentes de grasas animales (es decir grasas de aves) normalmente son más variables en su composición de ácidos grasos porque las fuentes y la proporción de lípidos usados para fabricar estos lípidos varían entre las diversas fuentes, los diversos procesos y con el tiempo.

Sin embargo, debido a que el aceite de soya desgomado de Estados Unidos contiene altas concentraciones de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA por sus siglas en inglés), también es más susceptible a la oxidación durante su transporte y almacenamiento, lo que puede reducir su energía y valor alimenticio para cerdos y aves. (ver **Capítulos 3, 4, 5, y 9**). Por lo tanto, este manual incluye lineamientos para brindar procedimientos prácticos en cuanto a su manejo, transporte y almacenamiento, a fin de minimizar la oxidación y conservar su alto valor energético (ver **Capítulo 6**). Por ejemplo, el añadir antioxidantes y una frecuente rotación del inventario puede minimizar la oxidación del aceite de soya desgomado de los Estados Unidos (ver **Capítulo 6**). De hecho, en comparación con la grasa animal y las mezclas animales-vegetales en las grasas de los alimentos y en el mercado de aceites, el aceite de soya fresco de Estados Unidos tiene muchos menos indicadores de oxidación (es decir, índice de peróxido, contenido de FFA, valor de p-anisidina) después de procesarse, lo que hace que sea una fuente lipídica preferida en los alimentos para animales.

Los nutriólogos quieren consistencia y predictibilidad en el valor nutricional de los ingredientes alimenticios que adquieren y usan en las formulaciones de sus dietas. Esto es esencial para captar el mayor valor económico, al minimizar el riesgo de sobrealimentar o subalimentar la fuente de energía. Por lo tanto, el aceite de soya desgomado de Estados Unidos cumple con este objetivo debido a su composición y calidad consistente (baja oxidación) en comparación con otras grasas y aceites para consumo animal.

ALTO CONTENIDO DE ENERGÍA METABOLIZABLE

El aceite de soya es ampliamente reconocido por su mayor contenido de energía metabolizable aparente (AME por sus siglas en inglés) para pollos de engorde entre todas las grasas y aceites (**Tabla 5**). Esto se debe a diversos factores incluyendo su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA por sus siglas en inglés) bajo contenido de humedad, de insolubles, y no saponificables (MIU por sus siglas en inglés), así como su bajo contenido de ácidos grasos libres (FFA por sus siglas en inglés) y peroxidación. Sin embargo, como en todos los demás lípidos, el contenido estimado de AME varía entre los diversos estudios publicados. La variabilidad en estos estimados se debe a diversos factores entre los cuales se incluye la edad del ave, ácidos grasos no saturados: saturados (U:S por sus siglas en inglés) y contenido de FFA, longitud de la cadena del ácido graso, la posición del ácido graso sobre el glicerol de los triglicéridos y contenido de

Tabla 4. Promedio, desviaciones estándar, y rango de composición de ácidos grasos de 21 muestras comerciales de aceite de soya refinado (adaptado de Hammond et al. 2005)

Ácido graso	Media + Desviación estándar, %	Rango, %
Mirístico (C14:0)	0.04±0.50	Trace – 0.03
Palmítico (C16:0)	10.57±0.43	3.2 – 26.4
Palmitoléico (C16:1)	0.02±0.04	Trace – 0.7
Esteárico (C18:0)	4.09±0.34	2.6 – 32.6
Oleico (C18:1)	22.98±2.01	8.6 – 79.0
Linoléico (C18:2)	54.51±1.54	35.2 – 64.8
Linolénico (C18:3)	7.23±0.78	1.7 – 19.0
Araquídico (C20:0)	0.33±0.14	Trace – 0.7
Gondoico (C20:1)	0.18	Trace – 0.6
Behénico (C22:0)	0.25±0.20	Trace – 1.0
Lignocérico (C24:0)	0.10	-
Valor de Saponificación	190.4	188.5 – 201.6
Índice de Yodo	132.7	114.0 – 138.5

Tabla 5. Comparación de los valores promedio de energía metabolizable aparente (AME por sus siglas en inglés) de fuentes de lípidos comunes en las dietas de pollos de engorde (adaptado de Ravindran et al., 2016)

Fuente de Lípidos	AME, kcal/kg
Aceite de soya	9,816
Grasa amarilla	9,530
Mezclas Animales-vegetales	9,399
Grasas de aves	9,005
Manteca	8,151
Gasoleína o solubilizado de aceite de soya acidulado	8,113
Sebo	7,416
Aceite de palma	6,999

Tabla 6. Comparación de los valores de energía metabolizable (ME por sus siglas en inglés) de fuentes comunes de lípidos usadas en dietas para cerdos (adaptado de la NRC, 2012)

Fuente de Lípidos	ME, kcal/kg
Aceite de linaza	8,583
Aceite de maíz	8,579
Aceite de soya	8,574
Aceite de Canola	8,384
Grasa de restaurante	8,379
Grasa de aves	8,364
Mezclas animales-vegetales	8,225
Manteca	8,124
Sebo	7,835
Aceite de palma fraccionado	6,265

Tabla 7. Efectos de añadir 5% de lípidos a las dietas de maíz-pasta de soya sobre los efectos “extra calóricos” de los cerdos castrados en crecimiento-finalización (adaptado de Campbell, 2005)

****ADG: Ganancia Diaria Promedio (por sus siglas en inglés),**

Medida	0% Lípido Añadido	5% Lípido Añadido	Diferencia
Energía Digestible, kcal/kg	3,463	3,678	6.2%
ADG, g/día	718	791	9.2%
F:G	4.21	3.74	12.6%
Peso de la canal, kg	94.5	97.2	2.8%

Table 8. Contenido de grasas y aceites de ácido linoleico y linoléico (adaptado de Ravindran et al., 2016)

Fuente de lípidos	Ácido Linoléico, %	Ácido Linoléico, %
Sebo	2.6	0.7
Manteca	9.5	0.4
Grasa de aves	20.6	0.8
Aceite de palma	10.0	0.4
Aceite de soya	53.7	7.6
Aceite de maíz	59.6	1.2
Aceite de canola	20.1	9.6

MIU (Wiseman et al., 1991). Además, las metodologías experimentales para determinar la AMEn también difieren entre los estudios reportados; y como resultado de ello, proporcionan estimaciones variables del contenido de ME en diversas fuentes de lípidos. Mateos y Sell (1981) e Irandoust et al. (2012) han evaluado los beneficios y limitantes de usar estas metodologías.

De manera similar, el aceite de soya está considerado como una de las fuentes más altas de ME entre las grasas comunes y los aceites usados en las dietas de cerdos (NRC, 2012; **Tabla 6**). Sin embargo, con respecto a las aves, la alta variabilidad en las estimaciones de ME para el aceite de soya en los cerdos, así como en todas las demás fuentes de lípidos es causada por muchos factores incluyendo la fuente, la tasa de inclusión en la dieta, la edad del cerdo, tipo de dieta basal utilizada, y grado de oxidación de la fuente de aceite de soya utilizada en estos estudios. Por desgracia, aunque se han desarrollado varias ecuaciones de predicción de ME para varios lípidos, su precisión para predecir el contenido determinado in vivo de ME por lo general es precario; ya que son demasiado simplistas y no incluyen un número de variables predictivas importantes que les permita ser útiles en aplicaciones comerciales. Por lo tanto, hasta que se desarrollen ecuaciones más precisas de predicción de ME para el aceite de soya crudo desgomado de Estados Unidos U.S. deberán usarse los estimados publicados (ver **Capítulos 8, 9, y 10**).

EFFECTO EXTRA CALÓRICO

La adición de lípidos a las dietas de aves y cerdos a menudo se ha descrito como que tiene un “efecto extra calórico” porque frecuentemente resulta en una mejora mayor en la tasa de crecimiento y de conversión alimenticia por encima del que se predice en su valor energético (ver Capítulo 9). Nitsan et al. (1997) reportaron que el “efecto extra calórico” de agregar aceite de soya a las dietas de pollos de engorde es mayor para las dietas bajas en energía que contienen aceite de soya suplementario, con base en las ganancias de peso corporal y las respuestas F:G. Cuando el “efecto extra-calórico” se expresa con base en la retención de energía neta, es mayor en las dietas que contienen 3% de aceite de soya que en las dietas con 6% de aceite de soya. De manera similar, Campbell (2005) mostró que al añadir un 5% de lípidos a las dietas de maíz-pasta de soya administradas a los cerdos castrados en crecimiento-finalización les otorga un efecto extra calórico (**Tabla 7**).

BENEFICIOS DE VALOR AGREGADO

Usar el aceite de soya crudo desgomado de Estados Unidos en dietas de cerdos y aves tiene varios beneficios de valor agregado más allá de las calorías que proporciona en las dietas animales. Mientras que los beneficios económicos de muchas de estas propiedades de valor agregado del aceite de soya crudo desgomado de Estados Unidos puede ser difícil de cuantificar, proporcionan ventajas comparativas adicionales contra otras grasas alimenticias y aceites en el mercado.

ALTO CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES

El aceite de soya es la única fuente de lípidos que contiene altas cantidades de ambos ácidos grasos esenciales (ácido linoleico y ácido linolénico; **Tabla 8**), que se requieren en las dietas tanto de cerdos como de aves (ver **Capítulos 8, 9, y 10**). El asegurar una ingesta adecuada de ácidos grasos esenciales (ácido linoleico y ácido linolénico) durante la gestación y la lactancia de las cerdas es esencial para lograr y mantener una buena gestación e incrementar el tamaño subsecuente de la camada (Rosero et al., 2016a). De manera similar, los ácidos grasos esenciales n-3 (ácido α -linoleico; 18:3 n-3) y n-6 (ácido linoleico; 18:2 n-6) son necesarios y deben incluirse en la dieta para alcanzar un desarrollo embrionario óptimo en los huevos de las reproductoras de pollo de engorde (Cherian, 2015).

El aceite de soya es único en comparación con otras fuentes de lípidos porque contiene altas concentraciones tanto de ácido linoleico como linolénico. Estos ácidos grasos se consideran esenciales y deben estar presentes en cantidades adecuadas en la dieta, porque los animales no tienen enzimas desaturadas capaces de agregar dobles enlaces más allá del carbón 10 de los ácidos grasos octadecenoicos. Sin embargo, los ácidos octadecenoicos (linoleico y α -linolénico) pueden convertirse en ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga por las enzimas elongasa y microsomales desaturadas (Sprecher, 2000; Jacobi et al., 2001). Por lo tanto, el ácido linoleico puede convertirse en γ -linoleico (C18:3n-6), dihomo- γ -linolénico (C20:3n-6), y araquidónico (C20:4n-6), y otros ácidos grasos. El ácido alfa-linolénico (C18:3n-3) puede convertirse en ácidos eicosatetraenoico (C20:4n-3), eicosapentaenoico (C20:5n-3), docosahexaenoico (C22:6n-3), y otros importantes ácidos grasos de cadena larga (Palmquist, 2009). Estos ácidos grasos esenciales son importantes para un gran número de procesos metabólicos incluyendo la reproducción (Palmquist, 2009).

Rosero (2016b) resumió datos de 6 estudios publicados y estimó que las cerdas que recibieron dietas sin ácido linoleico suplementario durante la lactancia tuvieron un balance negativo de -25.49 g/día, y un balance negativo de -2.75 g/día de ácido α -linolénico, que dio como resultado un menor índice de partos (< 75%) y un aumento en el índice de desecho (> 25% en cerdas destetadas). Estos efectos fueron más dramáticos al incrementar la edad de la cerda (paridad) debido a una reducción progresiva en el estado de ácidos grasos esenciales durante los ciclos reproductivos sucesivos.

El administrar una ingesta adecuada de ácido linoleico durante la lactancia incrementó la proporción de cerdas que parieron e incrementó el número total de lechones nacidos en el ciclo reproductivo subsecuente. El incrementar la ingesta de ácido α -linolénico dio como resultado un retorno más rápido al estro post destete (intervalo destete-a-estro - 4 días), cerdas apareadas: cerdas destetadas (94%), y una mayor retención de la gestación (cerdas gestantes: cerdas apareadas = 98%). Con base en estos resultados, Rosero et al. (2016b) concluyeron que es necesario la ingesta alimentaria mínima de 125 g/día y 10 g/día de ácido linoleico y ácido linolénico, respectivamente, durante la lactancia para lograr el óptimo rendimiento reproductivo. El aceite de soya puede servir como una excelente fuente tanto de ácido linoleico como linolénico para lograr estos niveles esenciales de consumo de ácidos grasos esenciales para lograr un rendimiento reproductivo óptimo de las cerdas (ver **Capítulo 8**).

MINIMIZAR LOS EFECTOS NEGATIVOS DEL ESTRÉS CALÓRICO

El agregar aceite de soya a las dietas de cerdos y aves también es eficaz para minimizar la reducción en el desempeño del crecimiento bajo condiciones de producción con estrés calórico, que se presenta comúnmente en la mayoría de los países alrededor del mundo (ver **Capítulos 8 y 9**). Wolp et al. (2012) evaluaron los efectos de suministrar dietas isocalóricas que contienen mayores niveles de aceite de soya (1.5, 3.0, y 4.5%), y un contenido reducido de proteína cruda (15.5% vs. 18%) con una suplementación de cantidades adecuadas de aminoácidos cristalinos, sobre el comportamiento de crecimiento de los cerdos confinados bajo condiciones de estrés calórico (32°C, 60 a 70% de humedad relativa), comparados con un ambiente termo neutral (22°C, 60 to 70% humedad relativa). Los resultados de este estudio muestran que las condiciones de temperatura ambiental elevada reducen la tasa de crecimiento y la conversión alimenticia en comparación con los cerdos confinados bajo condiciones termo neutrales (**Tabla 9**). Sin embargo, el agregar 4.5% de aceite de soya mejoró la ganancia diaria promedio (ADG por sus siglas en inglés) y redujo la relación A:G de los cerdos confinados bajo condiciones de estrés

calórico, en comparación con suministrarles dietas que tuvieran 1.5% de aceite de soya, sin tomar en cuenta si el nivel de proteína cruda en la dieta se reducía o no. Por lo tanto, el añadir 4.5% de aceite de soya a las dietas suministradas a los cerdos en crecimiento – finalización puede ser eficaz para restaurar de manera parcial el rendimiento de los cerdos bajo condiciones de estrés calórico moderado.

Tabla 9. Tasa de crecimiento promedio y respuestas de alimento: ganancia de peso de cerdos bajo estrés calórico moderado alimentados con niveles alimenticios incrementales de aceite de soya (SO por sus siglas en inglés) entre dietas con un contenido alto y bajo de proteína cruda, en comparación con los cerdos confinados bajo condiciones termo neutrales (adaptado de Wolp et al., 2012)

Medida	Control	1.5% SO	3.0% SO	4.5% SO
Ganancia Diaria promedio, g	1,017	911 ^b	940 ^{ab}	985 ^a
A:G	2.29	2.62 ^a	2.50 ^{ab}	2.42 ^a

De manera similar, Ali et al. (2001) realizaron un estudio para determinar los efectos sobre el rendimiento de crecimiento de dietas que incluyeran 0, 2, 4, 8, o 10% de aceite de soya para pollos de engorde (30 días de edad) expuestos a 28 y hasta 33°C de temperatura durante un período de finalización de 15 días. Los resultados de este estudio muestran que la ganancia de peso corporal y la relación de alimento: ganancia corporal mejoraron al agregar aceite de soya hasta en un 10% a la dieta de finalización, aunque fue aún mejor con tasas de inclusión de 4% y 6% (Tabla 10). Estos resultados sugieren que la adición de aceite de soya a las dietas de pollos de engorde pueden ser eficaces para mitigar los efectos negativos en el rendimiento del crecimiento de los pollos de engorde de finalización criados bajo condiciones de estrés calórico.

Tabla 10. Efectos al incrementar el nivel de aceite de soya en la dieta sobre el rendimiento del crecimiento de los pollos de engorde de finalización (30 a 45 días de edad) criados bajo condiciones de estrés calórico (28 a 33°C; adaptado de Ali et al., 2001)

Medida	Nivel de Suplementación de Aceite de Soya en el Alimento, %					
	0	2	4	6	8	10
Peso corporal inicial, g	1,212	1,214	1,214	1,212	1,214	1,215
Peso corporal final, g	1,976 ^a	2,084 ^c	2,134 ^d	2,173 ^e	2,081 ^c	2,049 ^b
Ganancia de peso corporal, g/15 d	764 ^a	870 ^b	920 ^c	961 ^d	867 ^b	782 ^a
Ingesta alimenticia, g/15 d	2,423 ^a	2,418 ^a	2,367 ^{ab}	2,311 ^b	2,285 ^{bc}	2,222 ^c
F:G	3.17 ^a	2.76 ^b	2.57 ^c	2.41 ^c	2.64 ^a	2.84 ^d

Tabla 11. Capacidad antioxidante (Equivalente de Trolox) de los aceites comunes (adaptado de Pellegrini et al., 2003)

Fuente de Aceite	Mmol Trolox/kg
Aceite de soya	2.20
Aceite de oliva extra virgen	1.79
Aceite de maíz	1.29
Aceite de girasol	1.17
Aceite de maní	0.61

MÁXIMA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS ACEITES COMUNES

En comparación con otras grasas y aceites alimenticios, el aceite de soya de Estados Unidos contiene las concentraciones más altas de tocoferoles, tocotrienoles, y otros compuestos antioxidantes naturales que le da la capacidad antioxidante más elevada (Equivalente de Trolox) de varios aceites comunes usados en la nutrición humana (Tabla 11; Pellegrini et al., 2003). La elevada capacidad antioxidante del aceite de soya es útil para minimizar la oxidación durante el almacenamiento, así como para proporcionar beneficios en las dietas de cerdos y aves para minimizar el estrés oxidativo (ver **Capítulos 4, 5, y 6**).

REDUCE LOS EFECTOS ADVERSOS DE AFLATOXINAS EN LAS AVES

Se ha reportado evidencia de los efectos benéficos potenciales que tienen los aceites suplementarios para mitigar la reducción en el rendimiento del crecimiento y viabilidad al suministrar dietas contaminadas con aflatoxinas a los pollos de engorde, cuando dichas dietas que contenían 16% de aceite de oliva o de aceite de girasol, y el grado de no saturación de lípidos parece afectar aún más los efectos

tóxicos causados por las aflatoxinas (Smith et al., 1971). Inclusive, la mínima concentración tóxica de aflatoxinas fue mayor en dietas que contenían 18% de lípidos suplementarios (Richardson et al., 1987). La adición de 3% de aceite de soya en las dietas de pollos de engorde contaminadas con aflatoxinas, también ha mostrado que minimiza los efectos adversos en el rendimiento del crecimiento (Raju et al., 2005; ver **Capítulo 9**).

REDUCE EL POLVO (TAMO) EN LAS PLANTAS DE ALIMENTOS E INSTALACIONES DE GRANJAS DE ANIMALES PARA MEJORAR SU SALUD RESPIRATORIA

Agregar aceite de soya de Estados Unidos a los alimentos en harina ha mostrado ser eficaz para reducir de manera significativa el polvo en las plantas de alimentos y las instalaciones de producción animal (ver **Capítulo 7**). Varios estudios han mostrado que cuando los cerdos son expuestos a altas concentraciones de polvo y gases, el crecimiento y la eficiencia alimenticia a menudo se reduce (Curtis et al., 1974) y la salud respiratoria se ve comprometida (Doig y Willoughby, 1971; Bundy y Hazen, 1975; Drummond et al., 1981). Las partículas de polvo más pequeñas de 5.2 μm de diámetro son capaces de penetrar los pulmones de humanos y cerdos (Anderson, 1958), los cuales pueden ser portadores de virus y bacterias (Roller, 1961; 1965; Carlson y Whenham, 1967), lo que ocasiona que el polvo se convierta en un problema para la salud.

MEJORA LA PALATABILIDAD E INCREMENTA LA INGESTA ALIMENTICIA

El agregar aceite de soya de Estados Unidos a las dietas de aves y cerdos incrementa la palatabilidad del alimento y genera una mayor ingesta alimenticia (ver **Capítulos 8, 9, y 10**).

INCREMENTA LOS ÁCIDOS GRASOS INSATURADOS EN CERDOS, AVES Y YEMAS DE HUEVO PARA MEJORAR LA SALUD HUMANA

El suministrar dietas que contengan aceite de soya da como resultado un incremento en el depósito de ácido grasos insaturados en la carne y grasa de cerdo, pollo, y yemas de huevo, que brindan beneficios para la salud humana en comparación con las grasas saturadas (ver **Capítulos 8, 9, y 10**). La inclusión en la dieta del aceite de soya en dietas de cerdos en crecimiento –finalización por 10 semanas antes del sacrificio es eficaz para disminuir los ácidos grasos saturados (SFA por sus siglas en inglés) y el contenido de ácidos grasos mono insaturados, así como incrementar el contenido de PUFA en el músculo del cerdo sin afectar de forma adversa el desempeño en el crecimiento u otras características de la canal (Penner et al., 2018). Cuando los humanos consumieron carne de cerdo y manteca de los cerdos alimentados con la dieta control, en comparación con estos productos alimenticios provenientes de cerdos alimentados con dietas que contenían un 40% de calorías de aceite de soya en un estudio previo, el colesterol total en plasma y el colesterol LDL se redujeron y la composición de ácidos grasos cambió hacia más PUFAs en el plasma y los eritrocitos (Stewart et al., 2001). Como resultado, el comer carne de cerdo alimentados con dietas que incluían aceite de soya puede ser eficaz para reducir el riesgo de aterosclerosis y cardiopatías en humanos. Estos beneficios no se observaron cuando se administraron dietas que contenían grasas blancas a los cerdos en crecimiento-finalización.

En comparación con otras fuentes de lípidos, la adición de aceite de soya a las dietas de pollos de engorde no sólo mejora el rendimiento en el crecimiento, sino que también disminuye el contenido de SFA en piel y grasa abdominal, e incrementa los PUFA (principalmente el ácido linoleico) en piel, grasa abdominal, y músculo de la pechuga en comparación con la administración de grasa de pollo, sebo de res, o una mezcla de aceite de soya y grasa de aves (Azman et al., 2004). Dänicke et al. (2000) demostraron que las proporciones de ácido palmítico (C16:0), ácido oleico (C18:1), ácido linoleico (C18:2 n-6), ácido linolénico (C18:3 n-3), y ácido docosahexaenóico (C22:6 n-3) incrementaron la grasa de la yema con la adición cantidades mayores de aceite de soya. El incremento en ácidos grasos n-3 (linolénico y docosahexaenóico) en la yema de huevo tiene un efecto positivo y mejora el valor nutricional de los huevos para los humanos (Ferrier et al., 1994; Shafey y Cham, 1994; Farrell, 1994). Más aun, Dänicke et al. (2000) calcularon que la eficiencia máxima de depósito de ácidos grasos esenciales del aceite de soya en la yema de huevo se logra a una tasa de inclusión en la dieta de alrededor de 7%.

SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN DE SOYA DE LOS ESTADOS UNIDOS

La industria de la soya de los Estados Unidos ha desarrollado un Protocolo de Sostenibilidad que es auditada por terceros para verificar que se sigan las prácticas sustentables de producción de soya. Este protocolo de sustentabilidad es parte del programa de Sostenibilidad ambiental del productor de soya de los Estados Unidos que incluye 4 directivas:

1. Biodiversidad y medidas y reglamentos para controlar la alta producción de reservas de carbono.
2. Medidas y reglamentos para el control de las prácticas de producción
3. Medidas y reglamentos de control para el bienestar y salud laboral y pública
4. Medidas y reglamentos de control para la protección ambiental y mejora continua en las prácticas de producción y protección ambiental.

Actualmente, más de un 95% de productos de soya en Estados Unidos participan en el Programa de Granjas Estadounidense y están sujetos a auditorías. Las auditorías internas las llevan a cabo productores de soya y las auditorías externas son realizadas anualmente por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. El Protocolo de Aseguramiento de Sostenibilidad de la Soya de Estados Unidos (SSAP, por sus siglas en inglés) fue comparado positivamente utilizando las Directrices de Orígenes de la Soya de la Federación Europea de Fabricantes de Alimentos (FEFAC, por sus siglas en inglés,) a través del Centro de Comercio Internacional. Para una mayor información sobre la Sostenibilidad de la Soya en Estados Unidos visite: <https://ussec.org/wp-content/uploads/2017/11/20180416-U.S.-Soy-Sustainability-Assurance-Protocol-low-res.pdf>

LIMITANTES

No hay ingredientes de alimentos “perfectos”, y el uso de aceite de soya en las dietas de cerdos y aves también tiene unas cuantas limitantes.

ALTA SUSCEPTIBILIDAD A LA OXIDACIÓN

Debido a sus altas concentraciones de PUFAs, el aceite de soya es altamente susceptible a la oxidación cuando se le expone al calor, al oxígeno, la humedad, la luz y los metales de transición, tales como el cobre y el hierro (ver **Capítulo 3**). Sin embargo, la oxidación puede prevenirse al agregar o usar los procedimientos recomendados para el manejo, el transporte y el almacenamiento, así como la adición de antioxidantes comerciales antes de incorporarse a las dietas de cerdos y aves (ver **Capítulo 7**).

Minimizar la oxidación de lípidos es verdaderamente importante porque los resultados de un estudio de un meta – análisis realizado recientemente mostró que los efectos globales promedio de administrar lípidos oxidados a los pollos de engorde y cerdos causa una reducción del 5% en ADG, 3% de reducción en ADFI, y una reducción del 2% en G:F cuando se compara con la administración de lípidos no oxidados (Hung et al., 2017). Existen estudios publicados que muestran efectos negativos al darle aceite de soya oxidado a los cerdos en maternidad y en crecimiento – finalización, los cuales se resumen en el **Capítulo 5**, y los estudios que evalúan el crecimiento y las respuestas de la calidad de la canal al darles aceite de soya oxidado a los pollos de engorde se resumen en el **Capítulo 9**. Por desgracia, las correlaciones entre el indicativo de oxidación de lípidos y las medidas predictivas y el contenido de energía y el desempeño en el crecimiento de aves y cerdos son precarios, por lo general.

REDUCCIONES POTENCIALES EN LA FIRMEZA DE LA GRASA DE CERDO

La firmeza de la grasa de cerdo es una importante característica de calidad en algunos mercados de consumo en todo el mundo. Debido a que el aceite de soya es alto en ácidos grasos poliinsaturados, una alta proporción de éstos se depositan directamente en la grasa del cerdo en canal, lo que la vuelve más suave en apariencia y puede disminuir el rendimiento de las rebanadas de tocino. Sin embargo, este fenómeno no es único al aceite de soya, y ocurren efectos similares cuando se administra cualquier otra fuente de aceite vegetal (por ejemplo, aceite de maíz, aceite de canola) que contenga altas concentraciones de ácidos

grasos poliinsaturados. Los efectos de suministrar dietas que contengan aceite de soya sobre la firmeza de la grasa de cerdo se resumen en el **Capítulo 8**. Por suerte, conseguir la calidad deseada de grasa de cerdo puede lograrse retirando el aceite de soya de la dieta de finalización de 3 a 5 semanas antes del sacrificio, o estableciendo restricciones en el software de formulación de la dieta para controlar el contenido de ácidos grasos no saturados: saturados (valor yodo) en la misma.

RESUMEN

Existen numerosos beneficios y razones por las que el aceite de soya crudo desgomado de Estados Unidos es la opción preferida entre todas las grasas y aceites de los alimentos en el mercado. Como todos los ingredientes de alimentos, no es perfecto, y las limitantes de ser altamente susceptible a la oxidación y a su papel para reducir la calidad de la grasa de cerdo, pueden manejarse utilizando las recomendaciones descritas en el manual.

REFERENCIAS

- Ali, M.L., A.G. Miah, U. Salma, and R.P. Chowdhury. 2001. Effect of soybean oil on finisher period of broiler at hot weather in Bangladesh. *Online J. Biol. Sci.* 1:714-716.
- Anderson, A.A. 1958. New sampler for the collection, sizing and enumeration of viable airborne particles. *J. Bacteriol.* 76:471.
- Azman, M.A., V. Konar, and P.T. Seven. 2004. Effects of different dietary fat sources on growth performances and carcass fatty acid composition of broiler chickens. *Revue Méd. Vét.* 156:278-286.
- Bundy, D.S., and T.E. Hazen. 1975. Dust levels in swine confinement systems associated with different feeding methods. *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.* 18:137.
- Campbell, R.G. 2005. Fats in pig diets: beyond their contribution to energy content. *Recent Adv. Anim. Nutr. Australia* 15:15-19.
- Carlson, H.C., and G.R. Whenham. 1967. Coliform bacteria in chicken broiler house dust and their possible relationship to coli-septicemia. *Avian Dis.* 12:297.
- Cherian, G. 2015. Nutrition and metabolism in poultry: role of lipids in early diet. *J. Anim. Sci. Biotech.* 6:28.
- Curtis, S.E., A.H. Jensen, J. Simon, and D.L. Day. 1974. Effects of aerial ammonia, hydrogen sulfide, and swine-house dust, alone and combined, on swine health and performance. *Proc. Int. Livestock Environ. Symp.*, SP-0174. p. 209. *Amer. Soc. Agric. Eng.*, St. Joseph, MI.
- Dänicke, S., I Halle, H. Jeroch, W. Böttcher, P. Ahrens, R. Zachmann, and S. Götze. 2000. Effect of soy oil supplementation and protein level in laying hen diets on praecaecal nutrient digestibility, performance, reproductive performance, fatty acid composition of yolk fat, and on other egg quality parameters. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2000:218-232.
- Doig, D.A., and R.A. Willoughby. 1971. Response of swine to atmospheric ammonia and organic dust. *J. Amer. Vet. Med. Assoc.* 159:1353-1361.
- Drummond, J.G., S.E. Curtis, R.C. Meyer, J. Simon, and H.W. Borton. 1981. Effects of atmospheric ammonia on young pigs experimentally infected with *Bordetella bronchiseptica*. *Amer. J. Vet. Res.* 42:963-968.

- Farrell, D.J. 1994. The fortification of hens' egg with omega-3 long chain fatty acids and their effect in humans. In: *Egg uses and processing technologies*, J.S. Sim and S. Nakai, Ed., CAB International, Wallingford, UK. pp. 386-401.
- Ferrier, L.K., S. Leeson, B.J. Holub, L. Caston, and E.J. Squires. 1994. High linolenic acid eggs and their influence on blood lipids in humans. In: *Egg uses and processing technologies*, J.S. Sim and S. Nakai, Ed., CAB International, Wallingford, UK. pp. 362-373.
- Hammond, E.G., L.A. Johnson, C. Su, T. Wang, and P.J. White. 2005. Soybean Oil. In: *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, 6th edition, Ed. F. Shahidi, John Wiley & Sons, Inc. pp. 577-653.
- Hung, Y.T., A.R. Hanson, G.C. Shurson, and P.E. Urriola. 2017. Peroxidized lipids reduce growth performance of poultry and swine: A meta-analysis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 231:47-58.
- Irandoost, H., A.H. Samie, H.R. Rahmani, M.A. Edriss, and G.G. Mateos. 2012. Influence of source of fat and supplementation of the diet with vitamin E and C on performance and egg quality of laying hens from forty four to fifty six weeks of age. *Anim. Feed Sci. Technol.* 177:75-85.
- Jacobi, S.K., X. Lin, B.A. Corl, H.A. Hess, R.J. Harrell, and J. Odle. 2011. Dietary arachidonate differentially alters desaturase-elongase pathway flux and gene expression in liver and intestine of suckling pigs. *J. Nutr.* 141:548-553.
- Mateos, G.G., and J.L. Sell. 1981. Metabolizable energy of supplemental fat as related to dietary fat level and methods of estimation. *Poult. Sci.* 60:1509-1515.
- Palmquist, D.L. 2009. Omega-3 fatty acids in metabolism, health, and nutrition and for modified animal products foods. *Prof. Anim. Sci.* 25:207-249.
- Pellegrini, N., M. Serafini, B. Colombi, D. Del Rio, S. Salvatore, M. Bianchi, and F. Brighenti. 2003. Total antioxidant capacity of plant foods, beverages and oils consumed in Italy assess by three different in vitro assays. *J. Nutr.* 133:2812-2819.
- Penner, A.D., M.L. Kaplan, L.L. Christian, K.J. Stalder, and D.C. Beitz. 2018. Use of different types and amounts of dietary fats to redesign pork. *J. Anim. Sci. Livest. Prod.* 2:1-13.
- Raju, M.V.L.N., S.V. Rama Rao, K. Radhika, and A.K. Panda. 2005. Effect of amount and source of supplemental dietary vegetable oil on broiler chickens exposed to aflatoxicosis. *Br. Poult. Sci.* 46:587-594.
- Ravindran, V., P. Tancharoenrat, F. Zaefarian, and G. Ravindran. 2016. Fats in poultry nutrition: Digestive physiology and factors influencing their utilisation. *Anim. Feed Sci. Technol.* 213:1-21.
- Richardson, K.E., L.A. Nelson, and P.B. Hamilton. 1987. Effect of dietary fat level on dose response relationships during aflatoxicosis in young chickens. *Poult. Sci.* 66:1470-1478.
- Roller, W.L. 1965. Need for study of effects of air contaminants on equipment and animal performance. *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.* 8:353.
- Roller, W.L. 1961. Dust creates problems in air-conditioning. *Agric. Eng.* 44:436.

Rosero, D.S., R.D. Boyd, J. Odle, and E. van Heugten. 2016a. Optimizing dietary lipid use to improve essential fatty acid status and reproductive performance of the modern lactating sows: a review. *J. Anim. Sci. Biotech.* 7:34.

Rosero, D.S., R.D. Boyd, M. McCulley, J. Odle, and E. van Heugten. 2016b. Essential fatty acid supplementation during lactation is required to maximize the subsequent reproductive performance of the modern sow. *Anim. Reprod. Sci.* doi:10.1016/j.anireprosci.2016.03.010.

Shafey, T.M., and B.E. Cham. 1994. Altering fatty acid and cholesterol contents of eggs for human consumption. In: *Egg uses and processing technologies*, J.S. Sim and S. Nakai, Ed., CAB International, Wallingford, UK. pp. 374-385.

Smith, J.W., C.H. Hill, and P.B. Hamilton. 1971. The effect of dietary modifications on aflatoxicosis in the broiler chicken. *Poult. Sci.* 50:768-774.

Sprecher, H. Metabolism of highly unsaturated n-3 and n-6 fatty acids. *Biochem. Biophys. Acta.* 1486:219-231.

Stewart, J.W., M.L. Kaplan, and D.C. Beitz. 2001. Pork with a high content of polyunsaturated fatty acids lowers LDL cholesterol in women. *Am. J. Clin. Nutr.* 74:179-187.

USDA. 2013. USDA commodity requirements, BOT2 bulk oil and tallow for use in international food assistance programs. Farm Service Agency, Kansas City Commodity Office, Kansas City, MO.

Wiseman, J., F. Salvador, and J. Craigon. 1991. Prediction of the apparent metabolizable energy content of fats fed to broiler chickens. *Poult. Sci.* 70:1527-1533.

Wolp, R.C., N.E.B Rodrigues, M.G. Zangeronimo, V.S. Cantarelli, E.T. Fialho, R. Philomeno, R.R. Alvarenga, and L.F. Rocha. 2012. Soybean oil and crude protein levels for growing pigs kept under heat stress conditions. *Livest. Sci.* 147:148-153.

Capítulo



03

Evaluando la Calidad de Grasas y Aceites Usados en Alimentos Balanceados

INTRODUCCIÓN

La calidad y valor nutricional de las grasas y aceites para el consumo animal varían entre fuentes y tiene un efecto directo sobre el desempeño del animal. Sin embargo, a diferencia de las medidas para evaluar la calidad de otros ingredientes, las mediciones de la calidad de las grasas y aceites para consumo animal son complejas y desafiantes para interpretar. La calidad de los lípidos puede ser evaluada a través de diferentes tipos de mediciones, pero de manera general involucra la medición del grado de oxidación. Al final, la meta al usar mediciones e indicadores de calidad para evaluar los lípidos es que estas mediciones están directamente relacionadas con las respuestas fisiológicas observadas. Desafortunadamente, nuestro conocimiento actualizado para identificar los indicadores químicos y predictores de oxidación de lípidos más apropiados para determinar la factibilidad de reducir el desempeño y la salud del animal es limitada.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA QUÍMICA DE LOS LÍPIDOS

El término lípido se utiliza para describir las grasas animales y aceites vegetales que tienen estructuras químicas diversas y son insolubles en el agua. Los aceites contienen una relativamente elevada proporción de ácidos grasos insaturados y son líquidos a temperatura ambiente y son de origen vegetal. En contraste, las grasas contienen una elevada proporción de ácidos grasos saturados, son sólidos a temperatura ambiente y son de origen animal. Los lípidos están compuestos de cadenas de hidrocarburos o anillos de ácidos grasos y esteroides. Los ácidos grasos se clasifican en insaturados (contienen uno o más *cis*-dobles ligaduras) o saturados (no contienen dobles ligaduras). Los ácidos grasos consisten en ácidos alifáticos mono- carboxílicos [R-(CH₂)_n COO-] que casi siempre tienen un número *n* de carbonos. Los lípidos están primariamente compuestos por triglicéridos, pero pueden contener otros compuestos lípidos como los esteroides (ej. colesterol en grasas animales), ceras (ej. ésteres de alcoholes y ácidos grasos de baja solubilidad en aceite), fosfolípidos (ej. lecitina y cefalinas que son alcoholes poli hídricos esterificados con ácidos grasos y ácidos fosfóricos) y tocoferoles y tocotrienoles (compuestos de Vitamina E con actividad antioxidante).

Se han usado varias nomenclaturas para describir los ácidos grasos individuales, incluyendo nombres triviales, nombres sistemáticos y el número de carbonos en la cadena del ácido graso seguido del número de las dobles ligaduras (Tabla 1; Christie, 1982; Scrimgeour, 2005; O'Brien, 2009). El acomodo de las dobles ligaduras en los ácidos grasos insaturados se basa en la posición de la doble ligadura en relación con el carbón carboxilo (ej. ácidos linoleico es Δ^9 , 12-18:2 o *cis*-9, 12-18:2; Unión Internacional del Sistema de Química Pura y Aplicada) o basado en la posición de las dobles ligaduras en relación con la terminal metil del ácido graso utilizando el sistema de nombres ω (omega) o el *n*- ("n-menos). Usando el sistema omega o el sistema *n*-, el número de carbonos son contados a partir del metil-carbono que se considera se encuentra en la posición -1 (ej. ácidos linoleico es 18:2 ω 6 o 18:2 *n*-6). Existen 3 grandes familias de ácidos grasos omega consistiendo en ω 3, ω 6 y ω 9. Nutricionalmente, los ácidos grasos ω 3 de un ácido linoleico (18:3), ácido eicosapentaenoico (20:5; EPA), y el ácido docosahexaenoico (22:6; DHA), que son de mucho interés ya que son considerados esenciales para la salud y el crecimiento normales, y se les ha asociado con la reducción de enfermedades cardiovasculares, inflamación y promover el desarrollo normal del cerebro, ojos y sistema nervioso (DeFilippis y Sperling, 2006; Gogus y Smith, 2010; Siriwardhana et al., 2012). El ácido linoleico (18:2) y el ácido araquidónico son considerados ácidos grasos ω 6 esenciales ya que pueden ser metabólicamente convertidos a ω 6 eicosanoides (Das, 2006), que son importantes moléculas de instrucción celular. Sin embargo, los ácidos grasos ω 9 (ácido oleico – 18:1 y ácido erucico 22:1) no son considerados esenciales debido a que pueden ser metabólicamente producidos a partir de ácidos grasos insaturados, no tienen una doble ligadura y no se requieren para la formación de eicosanoides (Kerr et al., 2015).

Tabla 1. Descripciones de ácidos grasos comunes (adaptado de Kerr et al., 2015)

Nombre Común	No. de carbonos	No. de dobles ligaduras	Nombre científico
Fórmico	1	0	Acido metanóico
Acético	2	0	Acido etanoico
Propiónico	3	0	Acido propiónico
Butírico	4	0	Acido butanoico
Caproico	6	0	Acido hexanoico
Caprílico	8	0	Acido octanoico
Cáprico	10	0	Acido Decanoico
Laurico	12	0	Acido dodecanoico
Mirístico	14	0	Acido tetradecanoico
Palmítico	16	0	Acido Hexadecanoico
Palmitoleico	16	1	9-Acido hexadecenoico
Estearico	18	0	Acido octadecanoico
Oléico	18	1	9- Acido octadecenoico
Ricinoleico	18	1	12-hidroxy-9-ácido octadecenoico
Vaccenico	18	1	11- Acido octadecenoico
Linoleico	18	2	9,12-Acido octadecadienoico
α -Linoleico	18	3	9,12,15-Acido octadecatrienoico
γ -Linolénico	18	3	6,9,12- Acido octadecatrienoico
Araquídico	20	0	Acido eicosanoico
Gadoleico	20	1	9-ácido eicosenoico
Araquidónico	20	4	5,8,11,14-ácido eicosatetraenoico
Eicosapentaenoico	20	5	5,8,11,14,17-ácido eicosapentaenoico
Behénico	22	0	Docosanoic acid
Erúcido	22	1	13-docosenoic acid
Docosahexaenoico	22	6	4,7,10,13,16,19-Acido docosahexaenoico
Lignocérico	24	0	Acido tetracosanoico

ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE LÍPIDOS

Se han utilizado múltiples métodos para determinar el contenido de lípidos en ingredientes alimenticios (incluyendo grasas y aceites), así como en dietas, digesta y heces. Los métodos analíticos usados para determinar el contenido de lípidos varían de acuerdo con el tipo de solvente (éter, hexano o cloroformo), tiempo de extracción, temperatura, presión y contenido de humedad de la muestra (Kerr et al., 2015). Contrario a creencias populares, los métodos de análisis de grasas no extraen por completo todos los ácidos grasos del ingrediente alimenticio, particularmente si están químicamente ligados a los carbohidratos o a las proteínas, o están en forma de sales o cationes divalentes (NRC, 2012). El uso de métodos de extracción por hidrólisis ácida parece ser más efectivo en liberar ácidos grasos de tri-, di-, y mono-acilglicéridos, ligaduras lípidos-carbohidratos, ligaduras lípido-proteínas, esteroides y fosfolípidos,

resultando en una mayor extracción y valores analíticos (Kerr et al., 2015). Como resultado, el uso de procedimientos de extracto etéreo con ácido hidrolizado brinda una extracción de lípidos más completa y valores de extracto etéreo (grasa cruda) mayores que los obtenidos por el método de análisis de extracto etéreo estándar (NRC, 2012; Palmquist y Jenkins, 2003; Luthria, 2004) pero no siempre (Moller, 2010). Además, el método de extracción de lípidos y el tipo de solvente utilizado ha demostrado que afecta los coeficientes de digestibilidad de los lípidos en dietas e ingredientes alimenticios (Jongbloed y Smits, 1994). Por lo tanto, los compradores de grasas y aceites para consumo animal deben considerar el método analítico más apropiado para determinar el contenido de lípidos totales y asegurarse de que el proveedor utilice el mismo método para coincidir con las mismas especificaciones comerciales y expectativas.

QUÍMICA DE LA OXIDACIÓN DE LÍPIDOS

El proceso de oxidación de lípidos es complejo. La oxidación ocurre cuando una molécula de oxígeno ataca un ácido graso insaturado. Aunque la tasa de oxígeno captado incrementa con la mayor insaturación, el mecanismo de oxidación entre los diferentes tipos de ácidos grasos varía (Holman, 1954). Los lípidos con elevadas proporciones de ácidos grasos saturados (AGS) y monoinsaturados (AGMI) son relativamente resistentes a la oxidación, pero pueden ser oxidados a una tasa mucho más lenta que en el caso de los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI). Cuando los AGS y los AGMI son calentados a temperaturas mayores a 100°C, el oxígeno puede atacar el β -carbono y producir hidroperóxidos. Además, la longitud de la cadena de carbonos (Naudi et al., 2012) y el grado de insaturación de un ácido graso en las posiciones del ácido graso sn-1, sn-2 o sn-3 en el triglicérido afectan la susceptibilidad a la oxidación del ácido graso (Lau et al., 1982; Tautorus y McCurdy, 1990; 1992; Balitz et al., 2009; Wang et al., 2005).

Holman (1954) propuso un índice de peroxidabilidad para caracterizar la relativa susceptibilidad de las diferentes cadenas acilo de los ácidos grasos al ataque por oxígeno, usando una medición empírica del consumo de oxígeno y el valor de 1 para la tasa de consumo de oxígeno para el ácido linoleico (18:2n-6; Figura 1). Por ejemplo, DHA contiene 6 dobles ligaduras haciendo que sea 8 veces más sensible a la oxidación con respecto al ácido linoleico, que tiene 2 dobles ligaduras. Al combinar la relativa susceptibilidad de los diferentes ácidos grasos a la oxidación con la composición de ácidos grasos de una fuente de lípidos, el índice de peroxidabilidad de un lípido (Tabla 2) puede ser calculado como: Índice de peroxidabilidad = [(0.025 x % monoenoicos) + (1 x % dienoicos) + (2 x % trienoicos) + 4 x % tetraenoicos) + (6 x % pentaenoicos) + (8x % hexaenoicos)]. Sin embargo, (Belitz et al., 2009) sugirieron un efecto mayor de la extensión de insaturación de un ácido graso con tasas de oxidación relativas de 1, 100, 1,200 y 2,500 veces mayor para los ácidos grasos 18:0, 18:1, 18:2 y 18:3 respectivamente. Es importante notar que éste enfoque sólo considera el consumo de oxígeno por los ácidos grasos y no considera los productos de oxidación que son producidos.

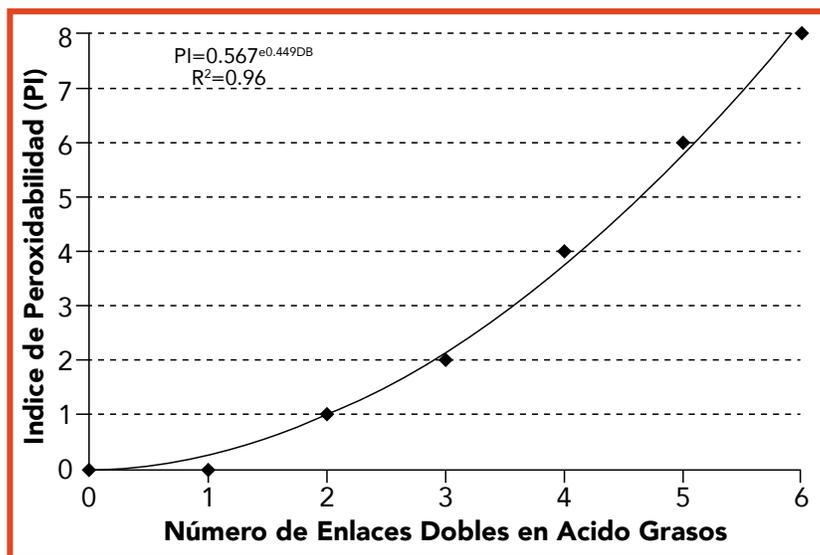


Figura 1. Relativa susceptibilidad a la oxidación de ácidos grasos insaturados de dobles ligaduras (adaptado de Holman, 1954).

La oxidación de lípidos es un proceso muy dinámico que produce y degrada numerosos compuestos de oxidación a lo largo del tiempo (Frankel, 2005; Labuza y Dugan, 1971; Gutteridge, 1995; St. Angelo, 1996; Nawar, 1996). En general el proceso de oxidación se describe en 3 fases. La fase de iniciación que involucra la formación de radicales libres y de hidroperóxidos. La oxidación es promovida por exposición al oxígeno, metales de transición (hierro y cobre), sales no disociadas, agua y otros compuestos no lípidos (Halliwell y Chirico, 1993; Frankel, 2005; Schaich, 2005). La segunda fase es referida como la fase de propagación donde los hidroperóxidos previamente formados son descompuestos en productos de oxidación secundaria, que consisten primariamente de aldehídos y cetonas, hidrocarburos, furanos y ácidos orgánicos volátiles (Shurson et al., 2015). La última fase llamada fase de terminación que involucra la formación de productos de oxidación terciaria como compuestos polímeros y epóxidos (Shurson et al., 2015). A medida que el proceso de oxidación progresa por éstas 3 fases a lo largo del tiempo, el consumo de oxígeno continúa incrementando, así como la producción de compuestos volátiles y no volátiles y ácidos grasos libres, mientras que la concentración de ácidos grasos insaturados decrece (Labuza y Dugan, 1971). En la fase de iniciación, la producción de hidroperóxidos se incrementa, pero son subsecuentemente degradados a aldehídos durante las fases subsecuentes. La **Figura 2** muestra la relativa producción y degradación de peróxidos y aldehídos a lo largo del tiempo, con incremento en la producción de ácidos y polímeros a medida que la oxidación progresa. De hecho, se forman al menos 19 compuestos volátiles durante la oxidación del ácido linoleico (Belitz et al., 2009). Por lo tanto, debido a los continuos cambios en la producción y degradación de varios productos de oxidación a lo largo del tiempo, es difícil cuantificar la extensión de la oxidación de lípidos. Como resultados, no hay un solo método indicador de oxidación que caracterice adecuadamente la extensión de la oxidación de lípidos y requiere el uso de múltiples pruebas indicadoras de oxidación.

Tabla 2. Índice de peroxidabilidad de varios lípidos (adaptado de Kerr et al., 2015)

Lípido	Índice de peroxidabilidad ¹
Aceite de coco	2
Sebo	5
Aceite de palma	12
Aceite de oliva	13
Manteca	15
Grasa se ave	23
Aceite de canola	40
Aceite de girasol	41
Aceite de maíz	57
Aceite de soya	65
Aceite de linaza	120
Aceite de pescado Menhaden	214
Aceite de algas	258

¹Índice de peroxidabilidad= [(0.025 x % monoenoico) + (1x % dienoico) + (2 x % trienoico) + (4 x % tetraenoico) + (6x % pentaenoico) + (8 x % hexaenoicos) de Holman (1954).

MEDICIONES ANALÍTICAS DE CALIDAD Y OXIDACIÓN DE LÍPIDOS

Se utilizan muchas pruebas analíticas para determinar la calidad de los lípidos. Desafortunadamente, la mayoría de los métodos comúnmente utilizados como especificaciones para la comercialización de grasas y aceites no proveen información precisa ni significativa sobre el valor actual de energía y alimenticio (Tabla 3). El color de una grasa o aceite es cuantificado basándose en la norma del Comité de Análisis de Grasa (FAC – Fat Analysis Committee), que tiene un rango desde 1 (claro) hasta 45 (oscuro). Sin embargo, el color es un indicador muy pobre de la calidad de los lípidos y del valor alimenticio. La prueba titer se define como la temperatura a la cual un lípido se convierte en sólido, mientras que el valor de saponificación es un estimado del promedio del peso molecular de los ácidos grasos en una muestra. Los insolubles son el material extraño en una muestra que se sedimenta en la base de los tanques de almacenaje de lípidos. Insaponificables son la

medición de los compuestos en un lípido que no forman jabón al mezclarse con sosa cáustica (NaOH o KOH) y generalmente incluyen a los esteroides, hidrocarburos, pigmentos, alcoholes grasos y vitaminas.

Figura 2. Tasa relativa de producción y degradación de los principales productos de oxidación a lo largo del tiempo (adaptado de Fitch Haumann, 1993).

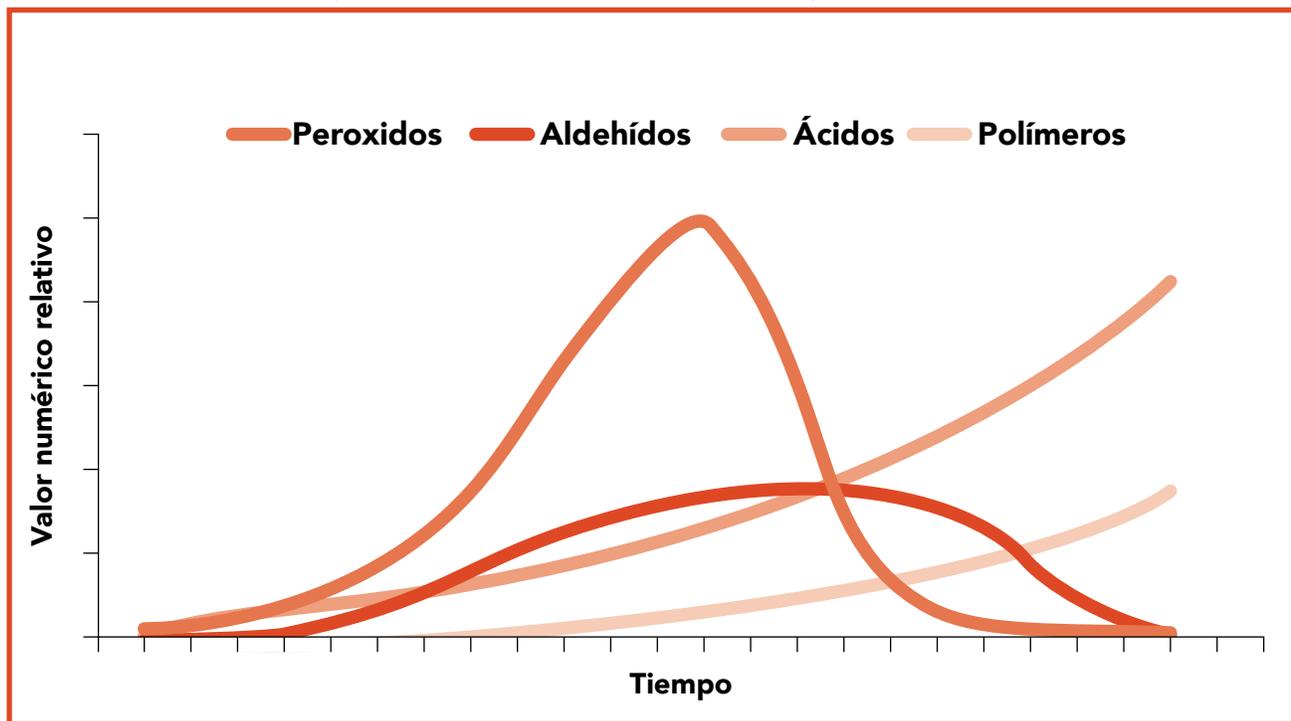


Tabla 3. Mediciones de calidad de lípidos comunes usados para especificaciones comerciales (adaptado de Shurson et al., 2015)

Medida de Calidad del Lípido	Comentarios
Color	Subjetivo, no específico, y es un indicador pobre de oxidación y de valor de energía. El color del lípido no está correlacionado con energía o con el valor alimenticio de los lípidos.
Cambio en el perfil de ácidos grasos	Subjetivo, no específico y de uso práctico limitado debido a la ausencia de información sobre la composición original previo a la oxidación. Los perfiles de ácidos grasos pueden proporcionar alguna evidencia general de la calidad del lípido, pero no representan de manera precisa el grado de oxidación que ha ocurrido.
La prueba Titer decreciente, valor de yodo, relación de ácidos grasos insaturados: saturados	Subjetiva, no específica y del uso práctico limitados debido a la falta de información sobre la composición original previo a la oxidación. Las medidas de la proporción de ácidos grasos insaturados: saturados en una fuente de lípidos provee una indicación general de la susceptibilidad a la oxidación, pero no son indicadores precisos de la oxidación real que haya ocurrido.
Valor de saponificación	Esta medida permite una comparación del promedio de la longitud de la cadena de ácidos grasos, que provee información similar al valor de yodo, pero no es indicativo de la extensión de la oxidación.
MIU, Humedad, Insolubles e Insaponificables	Mientras que estas son mediciones comunes cuantitativas, las concentraciones son generalmente bajas en la mayoría de los lípidos y tienen efectos mínimos sobre el contenido de energía. Sin embargo, mayores concentraciones pueden ser predictivas con respecto a la susceptibilidad de sufrir oxidaciones posteriores con el tiempo.

Varios métodos analíticos pueden ser utilizados para evaluar la oxidación de lípidos y la estabilidad, y pueden ser categorizadas como pruebas predictivas o indicativas. Las pruebas indicativas miden compuestos químicos específicos, o compuestos químicamente relacionados presentes en un lípido al momento de ser muestreado, y provee alguna información del relativo grado de oxidación que ha ocurrido. En contraste, las pruebas predictivas evalúan la susceptibilidad de un lípido a la oxidación cuando es expuesto a condiciones estándar usados para promover la oxidación.

PRUEBAS INDICATIVAS DE OXIDACIÓN DE LÍPIDOS

En la mayoría de las situaciones, los nutricionistas animales están interesados en determinar la extensión de la oxidación de los lípidos presentes en grasas y aceites utilizados en las dietas formuladas. Esta información puede usarse para evaluar el riesgo relativo sobre el desempeño del animal y salud al agregarlo a las dietas.

Tabla 4. Pruebas indicativas de oxidación de lípidos, compuesto medido y limitaciones (adaptado de Shurson et al., 2015)

Indicador de Oxidación	Compuestos de Oxidación medidos	Limitaciones
Valor de Peróxido (VP)	Peróxidos e hidroperóxido	Sólo mide los productos de la oxidación durante la fase inicial, que son degradados rápidamente durante las condiciones de oxidación continua. Subjetiva y los peróxidos pueden ser indetectables en lípidos expuestos a >150°C. Pueden ser útiles cuando son considerados en combinación con TBARS y AnV
Sustancias reactivas al ácido Tiobarbitúrico (TBARS)	Malondialdehído	No específico al malondialdehído porque los 2-alkenos y 2,4-alkedienales pueden reaccionar con el ácido tiobarbitúrico. Las diferentes metodologías hacen que las comparaciones entre laboratorios sean difíciles
Valor de anisidina (AnV)	Aldehídos	No es específico para un aldehído en particular, ya que los 2-alkenales y 2,4-alkedienales pueden reaccionar con la p-anisidina bajo condiciones ácidas
Dienos conjugados	Los compuestos de la peroxidación primaria formados después de un reordenamiento de peróxidos de doble ligadura	Menos sensible comparado con el VP. Los carotenoides son absorbidos en el rango de la misma longitud de onda que puede dar lugar a resultados engañosos para algunos lípidos
Valor TOTOX	Suma del valor de anisidina (o TBARS) y 2 x VP. Mide ambos compuestos de la oxidación primaria y de la secundaria	Incrementa la falta de especificidad inherente al AnV (ó TBARS) y al VP
Carbonilos	Compuestos de oxidación secundaria incluyendo aldehídos y cetonas	Falta de especificidad y tendencia a ser influenciados por compuestos no-carbonilos
Hexanal	Es un compuesto carbonilo formado durante la fase terminal del proceso de oxidación cuando el ácido linoleico (C18:2 n-6) u otro ácido graso n-6 es oxidado	Volátiles a altas temperaturas y pueden resultar en información engañosa sobre la extensión de la oxidación
2,4-Decadienal (DDE)	Es un aldehído específico derivado del ácido linoleico durante la oxidación	Ensayo complicado y costoso que requiere de equipo LC-MS
4-Hydroxynonenal (HNE)	α , β -aldehído lipofílico insaturado formado durante la oxidación lipídica de n-6 ácidos grasos poliinsaturados (es decir ácido araquidónico y linoleico).	Ensayo complicado y costoso que requiere equipo LC-MS
Dímeros de triacilglicerol y polímeros	Compuestos poliméricos formados durante las últimas fases de la oxidación	Un ensayo muy costoso utilizando cromatografía de exclusión de tamaño. Información limitada sobre sus efectos en el desempeño y salud animal.
Oxiranos	Compuestos cíclicos producidos durante la oxidación	El ensayo no es específico de los oxiranos, ya que también puede detectar carbonilos y dienos conjugados
Material no-enjuagable	Determinado por medio de cromatografía de gas-líquido que estima el material no-enjuagable de un lípido después de hacer una corrección por glicerol	Método difícil de implementar. Ensayo no específico que mide colectivamente la mayoría de las estructuras químicas degradadas de un lípido

Liu et al. (2014) determinaron correlaciones entre medidas predictivas e indicativas de oxidación de lípidos y composición química de 4 fuentes de lípidos (aceite de maíz, aceite de canola, grasa de aves y manteca) usando 3 diferentes condiciones de tiempo y temperatura para generar oxidación. Sin embargo, es importante recordar que las correlaciones significativas no infieren relación de causa y efecto. Humedad, insolubles e insaponificables (MIU) estuvo correlacionada positivamente con OSI ($r= 0.81, 0.78, \text{ y } 0.70$, respectivamente). El valor de peróxido (VP) estuvo asociado positivamente con TBARS, hexanal y DDE ($r= 0.75, 0.76 \text{ y } 0.61$, respectivamente). El valor de anisidina estuvo correlacionado positivamente con HNE ($r= 0.67$) y AOM ($r= 0.53$), pero negativamente con OSI ($r=-0.57$). Otras correlaciones positivas fueron entre TBARS y AOM ($r=$

0.51), hexanal y DDN ($r=0.94$) y AOM ($r=0.57$), DDE y HNE ($r=0.49$) y AOM ($r=0.65$), HNE y AOM ($r=0.66$). También hubo correlaciones negativas entre AOM y OSI ($r= -0.58$). La falta de varias correlaciones entre medidas de oxidación puede deberse a la extensa variedad en la producción de productos de oxidación primaria, secundaria y terciaria a lo largo del tiempo con diferentes condiciones de oxidación y lípidos evaluados. Por lo tanto, la determinación precisa de la extensión de la oxidación de lípidos requiere de múltiples puntos de muestreo en el tiempo y múltiples pruebas indicadoras. El valor de peróxido (VP) es determinado de manera rutinaria en laboratorios comerciales y es una medida muy útil para evaluar la calidad de lípidos en etapas tempranas de oxidación ya que la mayoría de los peróxidos no han sido descompuestos en aldehídos. El uso de TBARS y de AnV son medidas razonablemente precisas para evaluar las concentraciones de aldehído en períodos largos de oxidación. La determinación de concentración de ácidos grasos libres también es un indicador general muy útil para determinar la extensión de la oxidación de lípidos.

Wang et al. (2016) usaron cromatografía líquida de espectrometría de masa, análisis de componente principal, análisis de conglomerados para evaluar la cinética de la formación de aldehídos en aceites para freír calientes (aceites de soya, maíz y canola). Los resultados de estos estudios demostraron que las concentraciones de pentanal, hexanal, acroleína y un rango de aldehído estaban altamente correlacionados con el grado de oxidación térmica y el 4HNE estaba altamente correlacionado con el grado de oxidación térmica en el aceite de soya. Mientras que estos resultados son prometedores para mejorar nuestra habilidad de cuantificar más precisamente el grado de daño oxidativos de grasas y aceites, el costo y complejidad de utilizar el equipo analítico y procedimientos limitan la aplicación comercial de usar este enfoque.

PRUEBAS PREDICTIVAS DE OXIDACIÓN DE LÍPIDOS

A veces, los nutricionistas animales pueden querer conocer la susceptibilidad de una fuente de lípidos a la oxidación cuando deciden si quieren utilizarla. Las mediciones utilizadas para predecir la capacidad de un lípido para oxidarse al ser expuesto a condiciones estandarizadas de oxidación acelerada, incluyendo el método de oxígeno activo (AOM), índice de estabilidad de aceite (OSI) y método de bomba de oxígeno (OMB). Todos estos métodos involucran la exposición de las muestras de lípidos a condiciones aceleradas de elevadas temperaturas y adición de oxígeno durante un período extenso de tiempo y mide la cantidad de productos de la oxidación de lípidos.

Para el AOM (método de oxígeno activo), se bombea oxígeno a través de una muestra de lípidos y se mide ya sea el valor de yodo o el valor de peróxido a lo largo del tiempo. El índice de estabilidad de aceite (OSI) se mide calentando una muestra de lípido a al menos 100°C mientras se bombea aire a través de éste y los compuestos volátiles que son producidos son transferidos a una trampa de agua donde se mide la conductividad. Similarmente, para el método OMB (método de bomba de oxígeno), una muestra de lípido se oxida a 100°C con oxígeno puro a presión elevada por varias horas para medir la caída de la presión a lo largo del tiempo.

Todos estos métodos tienen limitaciones. El método AOM (método de oxígeno activo) 1) requiere un período significativo de tiempo para llevar a cabo el ensayo, especialmente en el caso de lípidos estables (Shermer y Zhing, 1997), 2) involucra varios procedimientos modificados que hacen difícil la comparación de valores entre laboratorios (Jebe et al., 1993), y se ha sugerido que es un método anticuado (Shahidi y Zhong, 2005). El método OSI (índice de estabilidad de aceite) tiene varias ventajas en comparación con el método AOM, que en general ha sido la prueba predictiva predilecta porque 1) provee la capacidad de analizar múltiples muestras de manera simultánea, 2) está altamente correlacionada con AOM (Läubli et al., 1986) y es replicable entre laboratorios (Jebe et al., 1993). Comparado con los métodos AOM y OSI, el ensayo OMB 1) puede ser usado para muestras sin extracción de lípidos (Gearhart et al., 1957), y 2) es generalmente más rápida y altamente correlacionada con el método AOM, pero requiere tiempo extra al evaluar muestras relativamente estables (Pohle et al., 1963).

¿PODEMOS UTILIZAR MEDICIONES DE OXIDACIÓN DE LÍPIDOS PARA PREDECIR EL DESEMPEÑO EN EL CRECIMIENTO ANIMAL?

La meta final al determinar el grado de oxidación de lípidos es poder utilizar estos valores indicadores

para predecir los efectos sobre el contenido de energía y el desempeño animal. Desafortunadamente, las correlaciones entre las mediciones indicativas y predictivas de oxidación de lípidos y el contenido de energía y el desempeño en crecimiento de cerdos y aves son generalmente pobres.

Lindblom et al. (2018) compararon la composición química de aceite de soya estadounidense fresco, sin oxidar con el aceite de soya oxidado bajo 3 condiciones: 1) calentado a 45°C por 288 horas; 2) calentado a 90°C por 72 horas; y 3) calentado a 180°C por 6 horas, con todos los tratamientos expuestos al aire a una tasa de 15 L/minuto. No se agregaron antioxidantes ni antes ni después del calentamiento. El contenido de ácidos grasos libres FFA (Free Fatty Acids), se incrementa usualmente después de que los lípidos son expuestos al calor, pero el contenido de FFA no cambió sustancialmente con el incremento de las temperaturas usadas en este estudio. Sin embargo, el valor de peróxido incrementó cuando se calentaron los aceites a 45°C por 288 horas y posteriormente incrementaron cuando se calentó el aceite a 90°C por 72 horas, pero posteriormente declinó a una concentración menor cuando el aceite se calentó a 180°C por 6 horas. Esto sugiere que los productos de la peroxidación inicial fueron degradados y empezaron a formar compuestos de oxidación secundarios y terciarios en el aceite calentado a 180°C por 6 horas. Comparado con las sustancias reactivas del ácido tiobarbitúrico (TBAARS), que cambiaron muy poco con el incremento en el tratamiento térmico, valor de anisidina, que es una medición no numérica de alto peso molecular de aldehídos, se encontró en las elevadas concentraciones en aceites calentados a 90°C y 180°C. Todos los aldehídos se incrementaron dramáticamente en aceite calentados a 90°C y a 180°C, así como los triacilglicéridos polimerizados. Aunque el total del contenido de tocoferol declinó entre los 3 tratamientos térmicos, la cantidad de pérdida no fue tan grande como se esperaba. Estos resultados muestran que ocurre una oxidación sustancial del aceite de soya a temperaturas de 90°C y 180°C. Sin embargo, el proceso térmico del aceite de soya a diferentes tiempos y temperaturas tuvo efectos mínimos sobre la digestibilidad de energía, lípidos y nitrógeno y no tuvo efecto en la permeabilidad intestinal de cerdos en crecimiento en este estudio. Aunque se observaron correlaciones significativas en este estudio entre varios índices de calidad de aceites de soya y respuestas de digestibilidad de energía y nutrientes, fueron relativamente bajos ($r = -0.24$ a -0.51). El valor de peróxido tuvo la mayor correlación negativa con ED: EB ($r = -0.40$), los triacilglicéridos polimerizados tuvieron la mayor correlación negativa con la digestibilidad de lípidos ($r = -0.51$), y el valor de anisidina, hexanal y 4- hidroxinonal tuvieron las mayores correlaciones negativas ($r = -0.43$) con retención de nitrógeno. Por lo tanto, nuestra habilidad para determinar respuestas de digestibilidad de energía y nutrientes en cerdos alimentados con aceite de soya oxidado usando varios indicadores de oxidación es muy pobre. Cuando se alimentaron estas dietas a cerdos castrados de 25 a 71 kg de peso, la GDP (ganancia diaria de peso) fue similar entre cerdos alimentados aceite de soya procesado a 22.5°C, 45°C y 180°C, que fueron mayores que en cerdos alimentados con las dietas con aceite de soya procesado térmicamente a 90°C (Lindblom et al., 2018). Estos resultados son consistentes con la gran cantidad de productos de oxidación para ésta fuente de aceite, y la reducida digestibilidad de energía y lípidos y nitrógeno retenido. Sin embargo, fue algo sorprendente que no tuviera efecto sobre la GDP (ganancia diaria promedio) el alimentar con aceite de soya oxidado térmicamente a 180°C, a pesar de que tenía la segunda mayor cantidad de productos de oxidación en comparación con la fuente de aceite de soya calentado a 90°C. El alimentar lípidos oxidados típicamente reduce el CDAP (Consumo de alimento diario promedio, Hung et al., 2017), pero no hubo diferencias entre tratamientos de aceite de soya oxidados en este estudio. Además, el alimentar lípidos oxidados a cerdos generalmente resulta en reducciones en Ganancia: Consumo (Hung et al., 2017), pero no hubo diferencias entre tratamientos, excepto al alimentar el aceite de soya calentado a 45°C que resultó en mayor Ganancia: Consumo comparado con otros tratamientos. Similar a las correlaciones de digestibilidad de energía y nutrientes, se observaron similares correlaciones entre los índices de calidad de varios aceites de soya y rasgos de desempeño en crecimiento, pero fueron relativamente bajas ($r = -0.26$ a -0.47). Los triacilglicéridos polimerizados tuvieron la mayor correlación con GDP ($r = -0.47$), valor de peróxido y ácidos grasos oxidados fueron los únicos indicadores de calidad correlacionados con CDAP (consumo diario de alimento promedio) ($r = -0.28$), y la tasa de aldehído tuvo la correlación más elevada ($r = -0.35$) en respuestas Ganancia: consumo. Por lo tanto, nuestra habilidad para predecir respuestas sobre desempeño en crecimiento en cerdos alimentados con aceite de soya oxidado usando varios indicadores de oxidación es pobre.

En un estudio semejante involucrando los mismos tratamientos de aceite de soya oxidados térmicamente, Overholt et al. (2018) reportaron correlaciones positivas bajas ($r < 0.33$) para ácidos grasos insaturados: saturados y contenido de tocoferol con GDP y Ganancia: Consumo de cerdos en finalización y correlaciones negativas bajas ($r < -0.35$) para valor de peróxido, compuestos polares totales, hexanal y HNE con estas medidas de desempeño en crecimiento. Sin embargo, se observaron correlaciones no significativas entre valor de anisidina, ácidos grasos oxidados, triglicéridos polimerizados, índice de estabilidad de aceite, acroleína y 2,4 – decadienal con GDP y Ganancia: Consumo.

En pollo de engorde, Lindblom et al. (2019) evaluaron el efecto de la fuente de aceite (aceite de palma, aceite de soya, aceite de linaza, aceite de pescado) y el estado de peroxidación (fresco o peroxidado) sobre el desempeño en crecimiento y el estrés oxidativo. Se observaron varias interacciones entre la fuente de aceite y el estado de peroxidación. Primero, se redujeron GDP, CPDA, G:C y glutatión peroxidasa en plasma en todas las fuentes de aceite a excepción del aceite de pescado. Segundo, las TBARS en hígado tendieron a incrementarse en aves alimentadas con aceite de palma peroxidado comparado con aquellas alimentadas con aceite de palma fresco. Tercero, las concentraciones de carbonil proteína en hígados fueron similares en pollos de engorde alimentados con aceites de palma, linaza o pescado sin importar el estado de peroxidación, pero las aves alimentadas con aceite de soya peroxidado tuvieron concentraciones de carbonil proteína mayores comparados con aquellos alimentados con aceite de soya fresco. Los resultados de éste estudio sugieren que las altas correlaciones entre la composición del aceite, desempeño en crecimiento y biomarcadores de estrés oxidativo indican que UFA: SFA, valor de p-anisidina, 2,4-decadienal (DDE), compuestos polares totales y triglicéridos polimerizados deben ser medidos como indicadores claves de la calidad del aceite. Las respuestas de desempeño en crecimiento fueron correlacionadas con las TBARS en plasma, carbonilos de proteína y glutatión peroxidasa.

Hung et al. (2017) llevaron a cabo un meta-análisis de resultados sobre desempeño en crecimiento en 29 trabajos publicados involucrando la alimentación de dietas isocalóricas conteniendo varias fuentes de lípidos oxidados y sin oxidar a pollos de engorde y a cerdos en crecimiento. Se compararon un total de 42 observaciones en pollo de engorde y 23 observaciones en cerdos para evaluar los efectos generales de alimentar lípidos oxidados contra lípidos sin oxidar sobre el desempeño en crecimiento. Las fuentes de lípidos reportadas en éste estudio incluyeron mezclas animales-vegetales ($n = 5$), sebo de res ($n = 3$), aceite de canola ($n = 2$), grasa blanca de alta calidad ($N = 4$), aceite de maíz ($n = 10$), aceite de pescado ($n = 2$), grasa de aves ($n = 9$), aceite de soya ($n = 24$), aceite de girasol ($n = 5$) y aceite vegetal ($n = 1$). Se determinaron las correlaciones entre los valores de peróxido y contenido de TBARS reportados en los estudios publicados con mediciones específicas del desempeño en crecimiento. Aunque los valores de peróxido de la dieta estuvieron significativamente correlacionados negativamente con la GDP ($r = -0.81$), CPDA ($r = -0.79$) y G: C ($r = -0.77$) en pollo de engorde, no estuvieron correlacionados con las mediciones de desempeño en crecimiento en cerdos. Sin embargo, éstas correlaciones relativamente elevadas en aves deben ser interpretadas con cautela, ya que estuvieron fuertemente influenciadas por unos cuantos datos extremos. Para cerdos, los valores de dieta de TBARS estuvieron correlacionados negativamente con GDP ($r = -0.58$) y tendieron a ser negativamente correlacionados con GDPA ($r = -0.46$) y G: C ($r = -0.47$). Estos resultados sugieren que la combinación de diferentes medidas de oxidación debe ser utilizadas para predecir respuestas del desempeño en crecimiento de cerdos y aves al alimentarse lípidos con diferentes grados de oxidación.

RESUMEN

La determinación del grado de oxidación en varias fuentes de lípidos es desafiante debido a la complejidad del proceso de oxidación, producción de numerosos tipos de productos de la oxidación y las limitaciones de utilizar varias pruebas indicativas y predictivas. Aunque el uso de cromatografía de masa con espectrometría quimiométrica permite la identificación y cuantificación de varios productos de oxidación, pero este enfoque no se usa de manera comercial en los laboratorios. Por lo tanto, múltiples pruebas indicativas deben ser utilizadas para evaluar el grado de oxidación de lípidos y deben incluir valor de peróxido (hidroperóxidos), valor de anisidina o TBARS (aldehídos) y contenido de ácidos grasos libres. Correlaciones individuales entre pruebas indicativas y predictivas con contenido de energía, digestibilidad de nutrientes y mediciones de desempeño del

animal (GDP, CDPA, Ganancia: Consumo) es generalmente pobre en estudios individuales publicados. Sin embargo, entre estudios, las correlaciones negativas entre valor de peróxido y GDP, CDPA, Ganancia: Consumo en pollo de engorde parece ser moderadamente elevados, pero no así en el caso de los cerdos. En contraste, TBARS parece estar negativamente correlacionado con la GDP y tiende a estar negativamente correlacionada con GDP y Ganancia: Consumo para cerdos, pero las correlaciones son modestas ($r < -0.60$). Además, no se observaron correlaciones significativas entre TBARS y desempeño en crecimiento en pollo de engorde. Las razones para éstas diferencias en correlaciones para cerdos y pollo de engorde, no son claras.

REFERENCIAS

- Belitz, H.D., W. Grosch, and P. Schieberle. 2009. Lipids. In: Food Chemistry, H.D. Belitz, W. Grosch, and P. Schieberle, Eds. Springer, Berlin. pp. 158-247.
- Christie, W.W. 1982. Lipid Analysis. Pergamon Press. Oxford, US.
- Das, U.N. 2006. Essential fatty acids: biochemistry, physiology and pathology. *Biotechnol. J.* 1:420-439.
- DeFilippis, A.P., and L.S. Sperling. 2006. Understanding omega-3's. *Am. Heart J.* 151:564-570.
- Fitch Haumann, B. 1993. Lipid oxidation: Health implications of lipid oxidation. *Inform.* 4:800-819.
- Frankel, E.N. 2005. Lipid oxidation. The Oily Press, Bridgewater, U.S.
- Gearhart, W., B. Stuckey, and J. Austin. 1957. Comparison of methods for testing the stability of fats and oils, and of foods containing them. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 34:427-430.
- Gogus, U., and C. Smith. 2010. n-3 Omega fatty acids: a review of current knowledge. *Int. J. Food Sci. Tech.* 45:417-436.
- Gutteridge, J.M.C. 1995. Lipid peroxidation and antioxidants as biomarkers of tissue damage. *Clin. Chem.* 41:1819-1828.
- Halliwel, B., and S. Chirico. 1993. Lipid peroxidation: its mechanism, measurement, and significance. *Am. J. Clin. Nutr.* 57(Suppl):715S-725S.
- Holman, R.T. 1954. Autoxidation of fats and related substances. In: Progress in Chemistry of Fats and Other Lipids. R.T. Holman, W.O. Lundberg, and T. Malkin, Eds. Pergamon Press, London. pp. 51-98.
- Hung, Y.T., A.R. Hanson, G.C. Shurson, and P.E. Urriola. 2017. Peroxidized lipids reduce growth performance of poultry and swine: A meta-analysis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 231:47-58.
- Jebe, T.A., M.G. Matlok, and R.T. Sleeter. 1993. Collaborative study of the oil stability index analysis. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 70:1055-1061.
- Jongbloed, R., and B. Smits. 1994. Effect of HCl-hydrolysis for crude fat determination on crude fat content, digestibility of crude fat and NEf of feeds for fattening pigs. IVVO-DLR Report No. 263. DLO-Institute for Animal Science and health (ID-DLO) – Branch Runderweg.
- Kerr, B.J., T.A. Kellner, and G.C. Shurson. 2015. Characteristics of lipids and their feeding value in swine diets. *J. Anim. Sci. Biotech.* 6:30.

- Labuza, T.P., and L.R. Dugan, Jr. 1971. Kinetics of lipid oxidation in foods. *CRC Crit. Rev. Food Technol.* 2:355-405.
- Lau, F.Y., E.G. Hammond, and P.F. Ross. 1982. Effect of randomization on the oxidation of corn oil. *JAOCS* 59:407-411.
- Läubli, M.W., and P.A. Bruttel. 1986. Determination of the oxidative stability of fats and oils: Comparison between the active oxygen method (AOCS Cd 12-57) and the Rancimat method. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 63:792-795.
- Lindblom, S.C., N.K. Gabler, E.A. Bobeck, and B.J. Kerr. 2019. Oil source and peroxidation status interactively affect growth performance and oxidative status in broilers from 4 to 25 d of age. *Poult. Sci.* 98:1749-1761.
- Lindblom, S.C., N.K. Gabler, and B.J. Kerr. 2018. Influence of feeding thermally peroxidized soybean oil on growth performance, digestibility, and gut integrity in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 96:558-569.
- Liu, P., B.J. Kerr, C. Chen, T.E. Weber, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2014. Methods to create thermally-oxidized lipids and comparison of analytical procedures to characterize peroxidation. *J. Anim. Sci.* 92:2950-2959.
- Luthria, D.L. 2004. *Oil Extraction and Analysis: Critical Issues and Comparative Studies*. D.L. Luthria, Ed. AOCS Press, Champaign, IL.
- Moller, J. 2010. Cereals, cereals-based products and animal feeding stuffs determination of crude fat and total fat content by the Randall extraction method: A collaborative study. *Quality Assurance and Safety Crops and Foods*. pp. 1-6.
- Naudi, A., M. Jove, V. Ayala, O. Ramirez, R. Cabre, J. Prat, M. Portero-Otin, I. Ferrer, and R. Pamplona. 2012. Region specific vulnerability to lipid oxidation in the human central nervous system. In: *Lipid Peroxidation*, A. Catala, Ed. Intech, pp. 437-456.
- Nawar, W.W. 1996. Lipids, Ch. 5 in *Food Chemistry*, 3rd Ed., O.R. Fennema, ed. Marcel Dekker, Inc., New York, NY. pp. 225-319.
- NRC. 2012. *Nutrient Requirements of Swine*. 11th Rev. Ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- O'Brien, R.D. 2009. *Fats and Oils: Formulating and Processing for Application*. R.D. O'Brien Ed., CRC Press, Boca Raton, FL.
- Overholt, M.F., A.C. Dilger, D.D. Boler, and B.J. Kerr. 2018. Influence of feeding thermally peroxidized soybean oil on growth performance, digestibility, and gut integrity in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 96:2789-2803.
- Palmquist, D.L., and T.C. Jenkins. 2003. Challenges with fats and fatty acid methods. *J. Anim. Sci.* 81:3250-3254.
- Pohle, W., R. Gregory, and B. van Giessen. 1963. A rapid oxygen bomb method for evaluating the stability of fats and shortenings. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 40:603-605.
- Schaich, K.M. 2005. Lipid oxidation: theoretical aspects. In: *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, Vol. 1, *Edible Oil and Fat Products: Chemistry, Properties, and health Effects*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ. pp. 269-355.
- Scrimgeour, C. 2005. Chemistry of fatty acids. In: *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, 6th edition, D. Fereidoon, Ed., pp. 1-43.

- Shahidi, F., and Y. Zhong. 2005. Lipid Oxidation: Measurement Methods. In: F. Shahidi, ed., *Bailey's Industrial Oil and fat Products*. Hoboken, Wiley.
- Shermer, W.D., and A.F. Giesen. 1997. Quality control methods to monitor oxidative status of fats: What do fat tests tell you? *Feed Manag.* 48:55-58.
- Shurson, G.C., B.J. Kerr, and A.R. Hanson. 2015. Evaluating the quality of feed fats and oils and their effects on pig growth performance. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 6:10.
- Siriwardhana, N., N.S. Klaupahana, and N. Moustaid-Moussa. 2012. Health benefits of n-3 polyunsaturated fatty acids: eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid. *Adv. Food nutr. res.* 65:211-222.
- St. Angelo, A.J. 1996. Lipid oxidation in foods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 36:175-224.
- Tautorus, C.L., and A.R. McCurdy. 1992. The effect of randomization on the stability of blends of trioylglycerol and linseed oil. *JAOCS* 69:538-544.
- Tautorus, C.L., and A.R. McCurdy. 1990. Effect of randomization on the stability of vegetable oils at two different temperatures. *JAOCS* 67:525-530.
- Wang, L., A.S. Csallany, B.J. Kerr, G.C. Shurson, and C. Chen. 2016. Kinetics of forming aldehydes in frying oils and their distribution in French fries revealed by LC-MS-based chemometrics. *J. Agri. Food Chem.* 64:3881-3889.
- Wang, T., J. Jiang, and E.G. Hammond. 2005. Effect of randomization on the oxidative stability of corn oil. *JAOCS* 82:111-117.



Capítulo

04

Consecuencias de Alimentar Lípidos Oxidados a Aves y Cerdos

INTRODUCCIÓN

Las diferentes fuentes de lípidos utilizadas en las dietas alimenticias para cerdos y aves, varían sustancialmente en el contenido de energía, su calidad y el costo. Adicionalmente al perfil de ácidos grasos de las grasas y aceites usados en la alimentación animal, la calidad del lípido se define en función a la extensión de la oxidación, la cual afectara el contenido de energía y el desempeño animal. Encuestas en la industria han demostrado que la oxidación de lípidos, medida por Valor de Peróxido (VP) puede variar de 0.1 a 181 mEq O₂/kg de lípido (Dibner et al., 2013; comunicación personal). Además, una cantidad sustancial de aceites para freír procedentes de restaurantes son comúnmente adicionados ya sea directamente a dietas para animales, o mezclados con otras grasas animales procesadas para producir mezclas animales- vegetales (Kerr et al., 2015; van Heugten et al., 2016). Las altas temperaturas y el extenso tiempo de calentamiento de estos aceites para freír resultan en una oxidación extensa y que puede dar lugar a un VP (valor de peróxido) tan elevado como 248 mEq O₂/kg aceite (Rosero, et al., 2015).

Numerosos estudios han demostrado que al alimentar lípidos oxidados a aves y cerdos a menudo resulta en una reducción de la digestibilidad de energía (Engberg et al., 1996; Inoue et al., 1984), tasa de crecimiento (Boler et al., 2012; Liu et al., 2014^a; Rosero et al., 2015), conversión alimenticia (McGill et al., 2011a,b; van Heugten et al., 2016), función inmune deteriorada (Dibner et al., 1996; Liang et al., 2015; van Heugten et al., 2016), mientras se incrementa el estrés oxidativo (Boler et al., 2012; Liu et al., 2014c) y mortalidad (Anjum et al., 2004; Tahashaki y Akiba, 1999; van Heugten et al., 2019). Además, las mejoras genéticas para tasas aceleradas de crecimiento, aumento de la masa muscular magra y de pechuga en pollo, junto con el estrés calórico y el consumo de dietas de lípidos oxidados causan un estrés oxidativo extensivo en tejidos (Zhang et al., 2011; Ismail et al., 2013). El estrés oxidativo causa daño biológico a los tejidos y condiciones patológicas que impiden el crecimiento correcto de los pollos de engorde (Fellenberg y Speisky, 2006). Sin embargo, la magnitud de esta respuesta es variable ya que los perfiles de ácidos grasos de los lípidos afectan su susceptibilidad a la oxidación, así como la asociación tan pobre entre los indicadores del nivel de oxidación de lípidos con el desempeño en crecimiento del animal y el estado fisiológico oxidativo (Kerr et al., 2015). Por lo tanto, nuestra habilidad para predecir las respuestas en crecimiento al alimentar lípidos oxidados constituye un reto debido a estas complejidades inherentes.

Además, la oxidación de lípidos es considerada una importante preocupación con relación a la calidad de productos procesados de aves y los potenciales efectos de los alimentos oxidados sobre la salud humana (Estévez, 2015). Aunque se ha demostrado que el ganado es más sensible a la oxidación de lípidos en comparación con los cerdos y las aves, el músculo de las aves contiene cantidades relativamente elevadas de ácidos grasos insaturados, lo que provoca una elevada sensibilidad a la oxidación (Min et al., 2008). Adicionalmente, varios estudios han demostrado que la función, textura y digestibilidad de las proteínas de la carne son negativamente afectadas por la oxidación de la proteína (Lund et al., 2011; Estévez, 2011). Por lo tanto, la oxidación de lípidos y proteínas en carne de ave fresca o procesada son de mucha preocupación con relación a la salud, baja aceptación por el consumidor y pérdidas económicas (Xiao et al., 2011; Estévez, 2011; Lund et al., 2011; Bekhit et al., 2013).

De aquí que, el propósito de éste capítulo sea describir el conocimiento actualizado sobre el impacto al alimentar lípidos oxidados a partir de varias fuentes sobre 1) contenido de energía metabolizable (EM); Desempeño en crecimiento en pollo de engorde y cerdos; 3) desempeño en la producción de huevo por las gallinas de postura; 4) impacto en el sistema inmune y estrés oxidativo en cerdos y aves; 5) correlaciones entre los indicadores de las medidas de oxidación de lípidos de éstas respuestas en desempeño y estado de salud y 6) impacto de alimentar lípidos oxidados sobre la calidad de la carne de aves.

EFFECTOS DE LA OXIDACIÓN DE LÍPIDOS SOBRE DIGESTIBILIDAD DE LÍPIDOS Y CONTENIDO DE ENERGÍA METABOLIZABLE

Se ha demostrado que el alimentar lípidos oxidados reduce la digestibilidad de energía y lípidos en cerdos (Liu et al., 2014b; Lindblom et al., 2018b; Yuan et al. 2007) y pollo de engorde (Inoue et al., 1984; Engberg et al., 1996) Sin embargo, los resultados son inconsistentes entre los limitados estudios publicados. Por ejemplo, al usar en el alimento grasa blanca oxidada (valor de peróxido = 105 mEq / kg) se disminuyó la

ingesta de alimento, pero no afectó la digestibilidad de los lípidos en los cerdos (DeRouchey et al., 2004). Además, Liu et al. (2014b) al utilizar aceite de maíz, aceite de canola, grasa de aves de corral o sebo oxidados lenta o rápidamente, no reportó ningún efecto en la digestibilidad aparente del tracto total de lípidos, ni de energía digestible (DE) y contenido de energía metabolizable (EM) en estos lípidos usados en dietas para cerdos de cría. Estas respuestas inconsistentes e impredecibles probablemente se deban a diferencias en el perfil de ácidos grasos de la fuente de lípidos y la susceptibilidad a la oxidación, el alcance del daño oxidativo y los métodos indicadores utilizados para evaluar el daño oxidativo.

RESPUESTAS EN EL CRECIMIENTO AL ALIMENTAR LÍPIDOS OXIDADOS A POLLOS DE ENGORDE Y CERDOS

La magnitud y la dirección de las respuestas de crecimiento al incluir en las dietas para cerdos y pollos de engorde lípidos oxidados también han sido inconsistentes entre los estudios publicados. Por lo tanto, Hung et al. (2017) llevaron a cabo un metanálisis de los resultados de 29 estudios publicados que involucraban alimentar dietas isocalóricas conteniendo varias fuentes de lípidos oxidados y sin oxidar a pollos de engorde y cerdos en crecimiento sobre el desempeño en crecimiento. Se compararon un total de 42 observaciones en pollos de engorde y 23 observaciones en cerdos, para comparar y evaluar los efectos en general al alimentar lípidos oxidados y sin oxidar sobre el desempeño en crecimiento. Las fuentes de lípidos reportadas en estos estudios incluyeron mezclas animales-vegetales (n=5), sebo de res (n=3), aceite de canola (n=2), grasa blanca selecta (n=4), aceite de maíz (n=10), aceite de pescado (n=2), grasa de ave (n=9), aceite de soya (n=24), aceite de girasol (n=5), y aceite vegetal (n=1).

Ninguno de estos estudios reportó un incremento en el desempeño en crecimiento, y la mayoría de las 65 observaciones no mostraron diferencias en la ganancia diaria de peso (GDP; 51%), consumo promedio diario de alimento (CPDA; 74%) y ganancia: consumo (G:C; 74%) cuando se compararon las respuestas combinadas de pollos de engorde y cerdos al alimentar dietas isocalóricas conteniendo lípidos oxidados y sin oxidar (**Tabla 1**). Esta inconsistencia en las respuestas puede ser atribuida a la variación en los perfiles de ácidos grasos entre las fuentes de lípidos, las tasas de inclusión de los lípidos en la dieta, el grado de oxidación, los métodos utilizados para causar la oxidación, los métodos inexactos para determinar la extensión de la oxidación y la inadecuada replicación entre los estudios (Hung et al., 2017). Sin embargo, los efectos generales de alimentar lípidos oxidados a pollos de engorde y cerdos resultó en un 5% de reducción de GDP (ganancia diaria promedio), 3% de reducción en el consumo promedio diario de alimento (CPDA) y 2% de reducción en G: C (ganancia: consumo) comparado con alimentar lípidos no oxidados (Hung et al., 2017). Se ha demostrado una reducción en la eficiencia de ganancia (G: C) en varios estudios (Anjum et al., 2004; Cabel et al., 1988; Ehr et al., 2015; Hanson et al., 2016; McGill et al., 2011 a,b; Tahashaki y Akiba, 1999; Tavarez et al., 2011), pero no en varios otros (Açikgöz et al., 2011; Bayraktar et al., 2011; Liu et al., 2014^a, Oldfield et al., 1963; Racanicci et al. 2008; Rocha et al., 2012; Rosero et al., 2015, Upton et al., 2009; van Heugten et al., 2016).

Sin embargo, de los estudios reportando reducciones en el desempeño en crecimiento, los porcentajes más extremos en la reducción en el desempeño en crecimiento fueron un 50% reducción GDP (ganancia diaria promedio), 70% reducción en consumo promedio diario de alimento (CPDA) y 70% reducción por G:C (ganancia: consumo). En estos resultados, la reducción en GDP fue el resultado de CPDA, que fue independiente del contenido calórico ya que éstas dietas fueron isocalóricas. Por lo tanto, la reducción en CPDA se debió posiblemente a la reducción en la palatabilidad de la dieta seguramente causada por el olor y sabor de los aldehídos producidos durante el proceso de oxidación de lípidos (Esterbauer et al., 1991; Halliwell y Chirico, 1993). La reducción en G: C reportada en estos estudios puede estar relacionada a un incremento en el estrés oxidativo ya que se ha demostrado que al alimentar lípidos oxidados puede afectar la función inmune (Dibner et al., 1996) y causar disfunción en eritrocitos y un incremento en el estrés oxidativo (Rosero et al., 2015).

Tabla 1. Resumen de las respuestas en crecimiento al alimentar dietas isocalóricas conteniendo lípidos oxidados a pollos y cerdos en crecimiento (adaptado de Hung et al., 2017).

Medición	No. observaciones	Respuesta a la alimentación de lípidos oxidados			
		Incremento	Disminución	Sin cambio	No reportado
GDP	65	0	27	33	5
CDAP	65	0	12	48	5
G:C	65	0	17	48	0

Debido a la complejidad del proceso de oxidación, así como a los múltiples productos de la oxidación que se producen y se degradan a lo largo del tiempo, y la especificidad de los productos de la oxidación medidos por indicadores en ensayos, nuestra habilidad para usar estas mediciones de indicadores de oxidación para predecir de manera precisa las reducciones en el desempeño en crecimiento en los animales es limitada. Como resultado una sola medición de la oxidación de lípidos es insuficiente para predecir el desempeño en crecimiento en los animales.

Hung et al., (2017) determinaron las correlaciones entre el valor de peróxido y el contenido de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) reportado en estudios publicados con medidas de desempeño en crecimiento específicas. Aunque los valores de peróxido estuvieron correlacionados negativamente con con GDP ($r = -0.81$), CDAD ($r = -0.79$) y G: C ($r = -0.77$) en pollo de engorde, no estuvo correlacionada con las mediciones de desempeño en crecimiento en cerdos. Sin embargo, éstas relativamente elevadas correlaciones para aves deben ser interpretadas con cuidado ya que fueron fuertemente influenciadas por unos cuantos datos extremos. En el caso de cerdos, los valores de TBARS de las dietas estuvieron correlacionados negativamente con la GDP ($r = -0.58$) y tendieron a estar negativamente correlacionada con CDAP ($r = -0.46$) y G: C ($r = -0.47$). Estos resultados sugieren que debe usarse una combinación de diferentes medidas de oxidación para predecir las respuestas en el desempeño en crecimiento de cerdos y pollos de engorde cuando se alimentan lípidos con una variación extensa de oxidación.

EFFECTOS DE ALIMENTAR LÍPIDOS OXIDADOS SOBRE EL ESTADO OXIDATIVO DE POLLO DE ENGORDE Y CERDOS

Los efectos negativos del estrés oxidativo sobre la salud animal están bien establecidos (Lykkesfeldt y Svendsen, 2007), donde ha sido demostrado que perjudica el óptimo funcionamiento del sistema inmune y la función de la barrera intestinal, resultando en un riesgo de infección patógeno (Machlin y Benrich, 1987). Además, el estrés oxidativo causa varios desórdenes metabólicos y fallas cardíacas congestivas en aves (Fathi et al., 2011), junto con efectos negativos en la calidad de la carne de aves, incluyendo el color rosa (Holownia et al., 2003), pechuga leñosa (Sihvo et al., 2013), y estrías blancas en el músculo de la pechuga del pollo (Kuttappan et al., 2013).

El estrés oxidativo en cerdos y aves generalmente incrementa al alimentar lípidos oxidados. Hung et al., (2017) resumieron respuestas de varios estudios publicados evaluando las concentraciones de vitamina E y TBARS y actividad de glutatión peroxidasa (GPx) en cerdos y aves alimentados con lípidos oxidados en comparación con aquellos alimentados con lípidos sin oxidar (**Tabla 2**). Las concentraciones de vitamina E en suero y tejidos son indicadores del estado oxidativo, y se ha demostrado que decrecen cuando se proporcionan lípidos oxidados a cerdos (Boler et al., 2012; Hanson et al., 2016; Liu et al., 2014c) y pollos (Tahashaki y Akiba, 1999; Tavarez et al., 2011). Hung et al., (2017) reportaron que al alimentar lípidos oxidados a pollos y cerdos resultaron en una reducción de 52% en promedio de vitamina E en suero o plasma comparado con aquellos alimentados con lípidos sin oxidar. Esta reducción en vitamina E puede ser atribuida a la degradación de vitamina E presente en los lípidos oxidados, reducción en el consumo de alimento (Liu et al., 2014^a), absorción deteriorada o incremento en la utilización metabólica (Liu y Huang, 1995).

Las sustancias reactivas del ácido tiobarbitúrico (TBARS) son otro indicativo útil del estado oxidativo, donde las concentraciones elevadas son indicativo de estrés oxidativo. Alimentar dietas conteniendo lípidos oxidados han demostrado que incrementan las concentraciones de TBARS en suero o en hígado de cerdos

(Boler et al., 2012) y pollos (Anjum et al. 2004; Lin et al, 1989; Tahashaki y Akiba, 1999). Hung et al. (2017) resumieron que el alimentar lípidos oxidados a pollos y cerdos resultó en un incremento promedio de 20% en la concentración de TBARS en suero en comparación con alimentar lípidos sin oxidar. Rosero et al., (2015) reportaron que, al alimentar lípidos altamente oxidados, incrementa la concentración de malondialdehído en la mucosa del yeyuno del intestino delgado en cerdos y reduce la capacidad antioxidante de la mucosa intestinal. Por lo tanto, en estos estudios, la combinación de efectos de reducción del estado de la vitamina E y el incremento en suero de TBARS son indicativos de un incremento en el estrés oxidativo.

Bayraktar et al. (2011) y Upton et al. (2009) reportaron que la producción de GPX incrementa en respuesta a la mayor producción de peróxido y al mayor estrés oxidativo como resultado de alimentar lípidos oxidados. Sin embargo, el suplementar vitamina E a dietas conteniendo lípidos oxidados ha demostrado prevenir e incrementar el GPx y reducir el estrés oxidativo en pollos (Bayraktar et al., 2011).

Aunque se observaron correlaciones negativas entre TBARS en suero con vitamina E en suero y correlaciones positivas entre TBARS en suero con concentración de TBARS en la dieta, no hubo correlaciones observadas entre el contenido de vitamina E en suero y las condiciones de oxidación de lípidos. Por lo tanto, aunque se observaron biomarcadores de estrés oxidativo en algunos de estos estudios, su uso como predictores de subsecuente desempeño en crecimiento al alimentar lípidos oxidados es limitado.

Tabla 2. Resumen de los efectos de alimentar dietas isocalóricas conteniendo lípidos oxidados sobre el estado oxidativo de pollos y cerdos (adaptado de Hung et al., 2017)

Medición	No. observaciones	Respuesta a lípidos oxidados en la dieta				
		Incremento	Disminución	Sin cambio	No reportado	Desconocido
Vitamina E ¹	65	0	17	5	43	0
TBARS ²	65	4	0	13	44	4
Actividad GPx ³	65	2	1	4	58	0

¹Suero, plasma, o concentraciones en tejido de α -tocoferol.

²Suero, plasma, o concentraciones de sustancias reactivas de ácido tiobarbitúrico.

³Actividad de glutatión peroxidasa (GPx) en hígado y plasma.

Un incremento en el peso del hígado en relación con el peso corporal es uno de los indicadores más consistentes del estrés oxidativo al alimentar lípidos oxidados (Juberg et al., 2006; Liu et al., 2014c; Eder, 1999; Huan et al., 1988). Esta respuesta puede ser un resultado del incremento en la síntesis de enzimas microsomales en respuesta para aliviar la toxicidad (Huang et al., 1988). Sin embargo, el uso de este indicador para predecir las respuestas en desempeño en crecimiento al alimentar lípidos oxidados no es práctica.

Los cambios en la función de la barrera intestinal son otro indicador del estrés oxidativo que pueden ser influenciados por alimentar lípidos oxidados. Las células epiteliales intestinales contienen relativamente elevadas cantidades de ácidos grasos poliinsaturados que proveen protección contra patógenos al intestino epitelial (Willemsen et al., 2008), pero los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (PUFA) son susceptibles de oxidación (Tappel, 1962). Por lo tanto, la oxidación de PUFA en las membranas de las células epiteliales intestinales, pueden llevar al daño celular y a una disfunción en la barrera epitelial como resultado de una ruptura en la estructura normal de la membrana y su función (Lauridsen et al., 1999). Estudios han demostrado que el alimentar lípidos oxidados causa estrés metabólico en los enterocitos intestinales (Ringsises et al., 2007., 2007; Reddy y Tappel, 1974) y la longevidad de los enterocitos fue reducida en los pollos alimentados con dietas conteniendo lípidos oxidados (Dibner et al., 1996). Sin embargo, el alimentar aceite de maíz, aceite de canola, sebo de res o grasa de ave no tuvo efecto en la función de la barrera intestinal de cerdos destetados (Liu et al., 2014c).

EFFECTOS DE ALIMENTAR LÍPIDOS OXIDADOS SOBRE LA OXIDACIÓN DE CARNE DE POLLO Y BENEFICIOS DE LA SUPLEMENTACIÓN CON ANTIOXIDANTES EN LA DIETA

Aunque hay muchos factores como el estrés previo al sacrificio, edad, procesado y condiciones de almacenamiento que afectan la oxidación de proteína y de lípidos en la carne de ave (Min y Ahn, 2005), la dieta también puede jugar un papel muy importante. El alimentar lípidos oxidados, ha demostrado que puede inducir el estrés oxidativo en aves (Estévez, 2015). El alimentar aceite vegetal oxidado ha demostrado que incrementa las concentraciones en plasma de malondialdehído (MDA) y reduce la actividad antioxidante del hígado en pollos en comparación con alimentar aceite sin oxidar (Engberg et al., 1996). Zhang et al. (2011) demostraron que alimentar lípidos oxidados a pollos resultaba en un incremento en el estrés oxidativo en sangre, así como en un incremento en la oxidación de lípidos y proteínas en músculo de la pechuga en comparación con aves alimentadas con lípidos sin oxidar. Similarmente, Delles et al. (2014) mostraron un incremento en la oxidación de lípidos en suero y un incremento en la oxidación de lípidos y proteína en el músculo de aves alimentadas con aceite oxidado.

Resultados de varios estudios han demostrado que la concentración de ácidos grasos poliinsaturados en los tejidos del músculo de aves puede lograrse al modificar la composición de ácidos grasos en la dieta y con la suplementación de α - tocoferol (200 mg/kg) y ascorbato (1,000 mg/kg) independientemente o en combinación con minerales traza con propiedades antioxidantes como selenio, zinc y magnesio (Estévez, 2015). Además, la suplementación en la dieta con varios aditivos conteniendo altas concentraciones de compuestos de ácido fenólico han demostrado ser efectivos minimizando la oxidación de lípidos y proteína en productos cárnicos de ave (Estévez, 2015). La adición de compuestos ricos en fenólicos a dietas de pollos, también ha demostrado brindar beneficios a la salud humana al consumir éstos productos cárnicos (Lund et al., 2011).

RESUMEN

Se han llevado a cabo numerosos trabajos para evaluar los efectos de alimentar varios lípidos oxidados a pollos y cerdos sobre el desempeño en crecimiento. Aunque las respuestas han sido inconsistentes, se ha reportado suficiente evidencia para indicar que la tasa de crecimiento se reduce como resultado de una disminución en el consumo de alimento independientemente del consumo calórico. Esto es posible debido a los efectos tóxicos de los productos de la oxidación de lípidos al alimentar lípidos oxidados a cerdos y pollos. Una reducción en la concentración de vitamina E en plasma y suero, y un incremento en el TBARS en suero, así como un incremento en el peso del hígado en relación con el peso corporal vivo son buenos indicadores del estrés oxidativo causado al alimentar lípidos oxidados. También hay evidencia de que los lípidos oxidados de la dieta pueden reducir la salud intestinal al obstruir la función de la barrera intestinal en el intestino delgado. Debido a lo complejo del proceso de oxidación de lípidos, los múltiples productos de oxidación que son generados y degradados con el tiempo y la especificidad de los productos de oxidación medidos con varios ensayos, nuestra habilidad para usar estas pruebas indicadoras de oxidación para predecir de manera precisa la oxidación de lípidos es insuficiente para predecir el desempeño en crecimiento del animal. Por lo tanto, es posible minimizar estos desempeños en crecimiento negativos, así como los efectos en la salud usando grasas y aceites de alta calidad, sin oxidar, tales como el aceite desgomado de soya norteamericana y protegiendo estos lípidos de oxidación posterior con el uso de antioxidantes. Finalmente, minimizar la oxidación de lípidos en la dieta de pollos suplementándolas con α - tocoferol y ascorbato y usando aditivos alimenticios conteniendo altas concentraciones de compuestos fenólicos han demostrado ser efectivos minimizando la oxidación de lípidos y proteínas en la carne de ave.

REFERENCIAS

Açikgöz, Z., H. Bayraktar, Ö. Altan, S.T. Akhisaroglu, F. Kirkpınar, and Z. Altun. 2011. The effects of moderately oxidized dietary oil with or without vitamin E supplementation on performance, nutrient digestibility, some blood traits, lipid peroxidation and antioxidant defense of male broilers. *J. Sci. food Agric.* 91:1277-1282.

- Anjum, M.I., I.H. Mirza, A.G. Khan, and A. Azim. 2004. Effect of fresh versus oxidized soybean oil on growth performance, organ weights, and meat quality of broiler chicks. *Pak. Vet. J.* 24:173-178.
- Bayraktar, H., Ö. Altan, Z. Açıkgöz, Ş.H. Baysal, and Ç. Şeremet. 2011. Effects of oxidized oil and vitamin E on performance and some blood traits of heat-stressed male broilers. *South Afr. J. Anim. Sci.* 41:288-296.
- Bekhit, A.E.-D.A. D.L. Hopkins, F.T. Fahri, and E.N. Ponnampalam. 2013. Oxidative processes in muscle systems and fresh meat: Sources, markers, and remedies. *Comp. Rev. Food Sci. Food Safety* 12:565-597.
- Boler, D.D., D.M. Fernández-Dueñas, L.W. Kutzler, J. Zhao, R.J. Harrell, D.R. Campion, F.K. McKeith, J. Killefer, and A.C. Dilger. 2012. Effects of oxidized corn oil and a synthetic antioxidant blend on performance, oxidative status of tissues, and fresh meat quality in finishing barrows. *J. Anim. Sci.* 90:5159-5169.
- Cabel, M.C., P.W. Waldroup, W.D. Shermer, and D.F. Calabotta. 1988. Effects of ethoxyquin feed preservative and peroxide level on broiler performance. *Poult. Sci.* 67:1725-1730.
- Delles, R.M., Y.L. Xiong, A.D. True, T. Ao, and K.A. Dawson. 2014. Dietary antioxidant supplementation enhances lipid and protein oxidative stability of chicken broiler meal through promotion of antioxidant enzyme activity. *Poult. Sci.* 93:1561-1570.
- DeRouchey, J.M., J.D. Hancock, R.H. Hines, C.A. Maloney, D.J. Lee, H. Cao, D.W. Dean, and J.S. Park. 2004. Effects of rancidity and free fatty acids in choice wite grease on growth performance and nutrient digestibility in weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 82:2937-2944.
- Dibner, J.J., C.A. Atwell, M.L. Kitchell, W.D. Shermer, and F.J. Ivey. 1996. Feeding of oxidized fats to broilers and swine: effects on enterocyte turnover, hepatocyte proliferation and the gut associated lymphoid tissue. *Anim. Feed Sci. Technol.* 62:1-13.
- Eder, K. 1999. The effects of a dietary oxidized oil on lipid metabolism in rats. *Lipids* 34:717-725.
- Ehr, I.J., B.J. Kerr, and M.E. Persia. 2015. Effects of peroxidized corn oil on performance, AMEn, and abdominal fat pad weight in broiler chicks. *Poult. Sci.* 94:1629-1634.
- Engberg, R.M., C. Lauridsen, S.K. Jensen, and K. Jacobsen. 1996. Inclusion of oxidized vegetable oil in broiler diets. Its influence on nutrient balance and on the antioxidative status of broilers. *Poult. Sci.* 75:1003-1011.
- Esterbauer, H., R.J. Schaur, and H. Zollner. 1991. Chemistry and biochemistry of 4-hydroxynonenal, malondialdehyde and related aldehydes. *Free radic. Biol. Med.* 11:81-128.
- Estévez, M. 2015. Oxidative damage to poultry: from farm to fork. *Poult. Sci.* 94:1368-1378.
- Fellenberg, M.A., and H. Speisky. 2006. Antioxidants: Their effects on broiler oxidative stress and its meat oxidative stability. *World Poult. Sci. J.* 62:53-70.
- Estévez, M. 2011. Protein carbonyls in meat systems: A review. *Meat Sci.* 89:259-279.
- Fathi, M., K. Nazer Adl. E.Y. Nezhad, H.A. Shahryar, M. Daneshyar, and T. Tanha. 2011. The role of oxidative stress in development of congestive heart failure (CHF) in broiler with pulmonary hypertension syndrome (PHS). *J. Anim. Vet. Adv.* 10:2724-2729.

- Halliwell, B., and S. Chirico. 1993. Lipid peroxidation: its mechanism, measurement, and significance. *Am. J. Clin. Nutr.* 57:715S-724S.
- Hanson, A.H., P.E. Urriola, L. Wang, L.J. Johnston, C. Chen, and G.C. Shurson. 2016. Dietary peroxidized maize oil affects the growth performance and antioxidant status of nursery pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 216:251-261.
- Holownia, K., M.S. Chinnan, and A.E. Reynolds. 2003. Pink color defect in poultry white meat as affected by endogenous conditions. *J. Food Sci.* 68:742-747.
- Huang, C.J., N.S. Cheung, and V.R. Lu. 1988. Effects of a deteriorated frying oil and dietary protein levels on liver microsomal enzymes in rats. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 65:1796-1803.
- Hung, Y.T., A.R. Hanson, G.C. Shurson, and P.E. Urriola. 2017. Peroxidized lipids reduce growth performance of poultry and swine: A meta-analysis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 231:47-58.
- Inoue, T.A., T. Kurashige, Minetoma, and F. Shigyo, 1984. Nutritional effect of oxidized soybean oil in broiler diet. In: *Proc. XVII World's Poultry Congress*. Helsinki, Finland. Pp. 368-369.
- Ismail, I.B., K.A. Al-Busadah, and S.M. El-Bahr. 2013. Oxidative stress biomarkers and biochemical profile in broiler chickens fed zinc bacitracin and ascorbic acid under hot climate. *Am. J. Biochem. Mol. Biol.* 3:202-214.
- Juberg, D.R., D.R. mudra, G.A. Hazelton, and A. Parkinson. 2006. The effect of fenbuconazole on cell proliferation and enzyme induction in the liver of female CD1 mice. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 214:178-187.
- Kerr, B.J., T.A. Kellner, and G.C. Shurson. 2015. Characteristics of lipids and their feeding value in swine diets. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 6:1-23.
- Kuttappan, V.A., H.L. Shivaprasad, D.P. Shaw, B.A. Valentine, B.M. Hargis, F.D. Clark, S.R. McKee, and C.M. Owens. 2013. Pathological changes associated with white striping in broiler breast muscles. *Poult. Sci.* 92:331-338.
- Lauridsen, C., S. Hojsgaard, and M.T. Sorenson. 1999. Influence of dietary rapeseed oil, vitamin E, and copper on the performance and the antioxidative and oxidative status of pigs. *J. Anim. Sci.* 77:906-916.
- Liang, F. S. Jiang, Y. Mo, G. Zhou, and L. Yang. 2015. Consumption of oxidized soybean oil increased intestinal oxidative stress and affected intestinal immune variables in yellow-feathered broilers. *Asian-Aust. J. anim. Sci.* 28:1994-1201.
- Lin, C.F., A. Asghar, J.I. Gray, D.J. Buckley, A.M. Booren, R.L. Crackle, and C.J. Flegal. 1989. Effects of oxidized dietary oil and antioxidant supplementation on broiler growth and meat stability. *Br. Poult. Sci.* 30:855-864.
- Lindblom, S.C., N.K. Gabler, and B.J. Kerr. 2018b. Influence of feeding thermally peroxidized soybean oil on growth performance, digestibility, and gut integrity in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 96:558-569.
- Liu, J.F., and C.J. Huang. 1995. Tissue alpha-tocopherol retention in male rats is compromised by feeding diets containing oxidized frying oil. *J. Nutr.* 125:3071-3080.
- Liu, P., C. Chen, B.J. Kerr, T.E. Weber, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2014a. Influence of thermally oxidized vegetable oils and animal fats on growth performance, liver gene expression, and liver and serum cholesterol and triglycerides in young pigs. *J. Anim. Sci.* 92:2960-2970.

- Liu, P., B.J. Kerr, C. Chen, T.E. Weber, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2014b. Influence of thermally oxidized vegetable oils and fats on energy and nutrient digestibility in young pigs. *J. Anim. Sci.* 92:2980-2986.
- Liu, P., C. Chen, B.J. Kerr, T.E. Weber, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2014c. Influence of thermally oxidized vegetable oils and animal fats on intestinal barrier function and immune variable in young pigs. *J. Anim. Sci.* 92:2980-2986.
- Lund, M.N., M. Heinonen, C.P. Baron, and M. Estévez. 2011. Protein oxidation in muscle foods: A review. *Mol. Nutr. Food Res.* 55:83-95.
- Lykkesfeldt, J., and O. Svendsen. 2007. Oxidants and antioxidants in disease: Oxidative stress in farm animals. *Vet. J.* 173:502-511.
- Machlin, L.J., and A. Bendich. 1987. Free radical tissue damage: Protective role of antioxidant nutrients. *FASEB J.* 1:441-445.
- McGill, J., E. McGill, A. Kamyab, and J.D. Firman. 2011a. Effect of high peroxide value fats on performance of broilers in an immune challenged state. *Int. J. Poult. Sci.* 10:665-669.
- McGill, J., E. McGill, A. Kamyab, and J.D. Firman. 2011b. Effect of high peroxide value fats on performance of broilers in a normal immune state. *Int. J. Poult. Sci.* 10:241-246.
- Oldfield, J.E., R.O. Sinnhuber, and A.A. Rasheed. 1963. Nutritive value of marine oils. II. Effects of in vivo antioxidants in feeding menhaden oil to swine. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 40:357-360.
- Racanicci, A., J. Menten, M. Regitano-d' Arce, E. Torres, L. Pino, and A. Pedroso. 2008. Dietary oxidized poultry offal fat: broiler performance and oxidative stability of thigh meat during chilled storage. *Braz. J. Poult. Sci.* 10:29-35.
- Reddy, K., and A.L. Tappel. 1974. Effect of dietary selenium and autoxidized lipids on the glutathione peroxidase system of the gastrointestinal tract and other tissues in the rat. *J. Nutr.* 104:1069-1078.
- Ringseis, R., N. Piwek, and K. Eder. 2007. Oxidized fat induces oxidative stress but has no effect on NF- κ B-mediated proinflammatory gene transcription in porcine epithelial cells. *Inflamm. Res.* 56:118-125.
- Rocha, C., A. Maiorka, F.L. Paula Valle, V. Gonsales Schramm, A.L. Angeli, and A.V. Fisher Silva. 2012. The effect of soybean oil quality and vitamin E supplementation on turkey diet nutrition. *J. Appl. Poult. Res.* 21:318-324.
- Rosero, D.S., J. Odle, A.J. Moeser, R.D. Boyd, and E. van Heugten. 2015. Peroxidized dietary lipids impair intestinal function and morphology of the small intestine villi of nursery pigs in a dose-dependent manner. *Br. J. Nutr.* 114:1985-1992.
- Sihvo, H.-K., K. Immonen, and E. Puolanne. 2013. Myodegeneration with fibrosis and regeneration in the pectoralis major muscle of broilers. *Vet. Pathol.* 51:619-623.
- Tahashaki, K., and Y. Akiba. 1999. Effect of oxidized fat on performance and some physiological responses in broiler chickens. *J. Poult. Sci.* 36:304-310.
- Tappel, A.L. 1962. Vitamin E as a biological lipid antioxidant. *Vit. Horm.* 20:493-510.

Tavarez, M.A., D.D. Boler, K.N. Bess, J. Zhao, F. Yan, A.C. Dilger, F.K. McKeith, and J. Killifer. 2011. Effect of antioxidant inclusion and oil quality on broiler performance, meat quality, and lipid oxidation. *Poult. Sci.* 90:922-930.

Upton, J.R., F.W. Edens, and P.R. Ferket 2009. The effects of dietary oxidized fat and selenium source on performance, glutathione peroxidase, and glutathione reductase activity in broiler chickens. *J. Appl. Poult. Res.* 18:193-202.

van Heugten, E., D.S. Rosero, P.L.Y.C. Chang, C. Zier-Rush, and R.D. Boyd. 2016. Peroxidized lipids in nursery pig diets – why and when should we be concerned? In: *Proc. Midwest Swine Nutrition Conference, Indianapolis, IN; 2016.* 16 pp.

Willemsen, L.E.M, M.A. Koetsier, M. Balvers, C. Beerman, B. Stahl, and E.A.F. van Tol. 2008. Polyunsaturated fatty acids support epithelial barrier integrity and reduce IL-4 mediated permeability in vitro. *Eur. J. Nutr.* 47:183-191.

Xiao, S., W.G. Zhang, E.J. Lee, C.W. Ma, and D.U. Ahn. 2011. Effects of diet, packaging, and irradiation on protein oxidation, lipid oxidation, and color of raw broiler thigh meat during refrigerated storage. *Poult. Sci.* 90:1348-1357.

Yuan, S., D. Chen, K. Zhang, and B. Yu. 2007. Effects of oxidative stress on growth performance, nutrient digestibilities and activities of antioxidant enzymes of weanling pigs. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 20:1600-1605.

Zhang, W.S., S. Xiao, E.j. Lee, and D.U. Ahn. 2011. Consumption of oxidized oil increases oxidative stress in broilers and affects the quality of breast meat. *J. Agric. Food Chem.* 59:969-974.



Capítulo

05

Efectos al Alimentar Cerdos con Aceite de Soya Oxidado y Antioxidantes

INTRODUCCIÓN

La oxidación de lípidos es un proceso complejo que inicia con la creciente producción de peróxido durante la fase de iniciación, la cual va degradándose subsecuentemente en aldehídos y ácidos en la fase de reproducción; posteriormente la degradación produce compuestos polares y polímeros indigeribles durante la fase de terminación cuando hay una exposición térmica prolongada (St. Angelo et al., 1996; González-Muñoz et al., 1998). En consecuencia, al evaluar la calidad de los lípidos se deben usarse múltiples medidas indicadoras que representen sus distintas etapas de oxidación.

El aceite de soya contiene una alta proporción de ácidos grasos poliinsaturados que lo hacen altamente propenso a la oxidación cuando se expone a: calor, oxígeno, luz y metales de transición, lo cual es muy frecuente durante la transportación y el almacenamiento. No obstante, comparado con otras grasas alimenticias y aceites, el aceite de soya también contiene concentraciones relativamente altas de antioxidantes naturales como tocoferoles, tocotrienoles y carotenoides, que proporcionan cierta protección contra la oxidación comparados con otros lípidos. Hasta hace poco había muy poca información publicada sobre el grado de oxidación que alcanza el aceite de soya cuando se le expone a diferentes tratamientos térmicos y sus efectos en el contenido de energía, rendimiento de crecimiento y salud intestinal de cerdos en crecimiento. Por consiguiente, la información de este capítulo puede ser de cierta utilidad acerca del grado de oxidación a causa de diversas condiciones de tratamiento térmico y sus efectos subsecuentes cuando se ofrece aceite de soya oxidado como alimento.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE DE SOYA TÉRMICAMENTE OXIDADO

Lindblom et al. (2018) compararon la composición química del aceite de soya fresco, sin oxidar de los Estados Unidos, con el aceite de soya oxidado bajo tres condiciones: 1) calentado a 45°C durante 288 horas, 2) calentado a 90°C durante 72 horas, y 3) calentado a 180°C durante 6 horas, con todos los tratamientos expuestos al aire a una relación de 15L/minuto. No se agregaron antioxidantes, ni antes ni después de calentar el aceite. Se eligieron estos tratamientos térmicos para simular condiciones de alimento a granel en un contenedor durante los meses de verano (45°C), alcanzando temperaturas de 90°C, para el procesado de grasa animal derretida (115 a 145°C; Meeker y Hamilton, 2006), y una temperatura de freído (180°C) para freír alimentos en la industria restaurantera. En la **Tabla 1** se muestra la composición de los ácidos grasos del aceite de soya sometidos a estos cuatro tratamientos térmicos, y en la **Tabla 2** se muestran las concentraciones de productos de oxidación de lípidos, así como sus indicadores de calidad. Se esperaba una ligera disminución en el contenido de ácido linoleico y linoléico y en la relación de ácido graso insaturado a saturado (I:S) para los tratamientos con temperaturas más altas, ya que las cadenas más largas de ácidos grasos insaturados son más propensas a la oxidación que las de los ácidos grasos con cadenas de longitud más cortas y ácidos grasos saturados. Sin embargo, estas concentraciones sólo se redujeron con el tratamiento de 72 horas a 90°C y casi no se vieron afectadas con el tratamiento térmico a 180°C durante 6 horas (**Tabla 1**).

El contenido de ácidos grasos libres (AGL) a menudo aumenta después de que los lípidos han sido expuestos al calor; aunque el contenido de AGL no cambió de manera significativa a mayores temperaturas que fueron también aplicadas en este estudio (Tabla 2). Sin embargo, el índice del peróxido aumentó cuando los aceites fueron calentados a 45°C durante 288 horas, aunque se incrementó aún más a los 90°C durante 72 horas; sin embargo, después disminuyó a una menor concentración cuando el aceite se calentó a 180°C por 6 horas (Tabla 2). Esto sugiere que los productos iniciales de peróxido se degradaron y empezaron a formar compuestos de oxidación secundarios y terciarios en el aceite calentado a 180°C durante 6 horas. Comparado con sustancias reactivas de ácido tiobarbitúrico (TBARS por sus siglas en inglés) -las cuales cambiaron muy poco aún con un tratamiento térmico creciente- el valor de anisidina, que es una medida sin unidad de aldehídos con alto peso molecular, se encontró en su máxima concentración en aceites calentados a 90°C y 180°C. Todos los aldehídos aumentaron de manera dramática en los aceites calentados a 90°C y 180°C, así como también los triacilglicéridos polimerizados. Aunque el contenido de tocoferol total disminuyó en los tres tratamientos térmicos, la pérdida ni fue tan grande como se esperaba. Estos resultados muestran que la principal oxidación del aceite de soya se da a temperaturas de 90°C y 180°C.

Tabla 1. Perfil del ácido graso del aceite de soya procesado térmicamente (adaptado de Lindblom et al., 2018)

Temperatura de calentamiento, °C	22.5	45	90	180
Tiempo de calentamiento, horas	0	288	72	6
Ácidos grasos, % de lípidos totales				
C14:0 (mirístico)	0.08	0.07	0.09	0.08
C16:0 (palmítico)	10.80	10.94	12.25	11.26
C16:1 (palmitoléico)	ND	0.08	0.09	ND
C17:0 (margarico)	0.11	0.10	0.12	0.11
C18:0 (esteárico)	3.83	3.88	4.35	4.03
C18:1 (oléico)	22.08	22.29	24.28	22.78
C18:2 (linoléico)	54.05	53.74	50.96	53.02
C18:3 (linolénico)	7.83	7.50	6.27	7.07
C19:0 (no adecanóico)	0.24	0.27	0.20	0.39
C20:0 (araquídico)	0.30	0.31	0.34	0.32
C20:1 (gadoléico)	0.18	0.19	0.21	0.30
C22:0 (behénico)	0.36	0.35	0.23	0.38
C22:5 (docosapentaenóico)	ND	0.11	0.12	ND
Otros ácidos grasos	0.13	0.15	0.35	0.20
Insaturados: saturados	5.35	5.27	4.64	5.02
Índice de Yodo ¹	133	132	126	130

El Índice de Yodo¹ se calculó de acuerdo con Meadus et al. (2010).

Tabla 2. Indicadores de concentraciones de oxidación y otras medidas de calidad de aceite de soya procesado térmicamente (adaptado de Lindblom et al., 2018)

Temperatura de calentamiento, °C	22.5	45	90	180
Tiempo de calentamiento, horas	0	288	72	6
Ácidos grasos libres, %	0.04	0.07	0.35	0.14
Humedad, %	0.02	0.02	0.10	0.02
Impurezas insolubles, %	0.02	0.02	0.04	0.02
Materia insaponificable, %	0.29	0.35	0.53	0.30
Ácidos grasos oxidados, %	1.3	2.5	3.1	1.4
OSI a 110°C, horas	7.15	3.65	2.70	3.35
Valor de p-anisidina ¹	1.19	8.38	261	174
Índice de peróxido, mEq/kg	2.0	95.6	145	4.0
Mezclas opuestas totales, %	2.67	7.01	22.65	10.19
Triaciglicéridos polimerizados, %	ND	ND	6.39	2.06
Valor de ácido tiobarbitúrico ¹	0.10	0.14	0.14	0.09
Aldehídos, mg/kg				
2,4-decadienal	2.11	5.50	548	324
4-hidroxinonenal	0.05	1.05	39.46	25.71
Acroleína	3.88	3.31	15.82	45.39
Decenal	0.24	0.35	28.17	19.81
Heptadienal	0.12	4.40	85.50	61.86

Continuación Tabla 2. Indicadores de concentraciones de oxidación y otras medidas de calidad de aceite de soya procesado térmicamente (adaptado de Lindblom et al., 2018)

Temperatura de calentamiento, °C	22.5	45	90	180
Tiempo de calentamiento, horas	0	288	72	6
Heptanal	0.22	3.60	89.12	40.08
Hexanal	2.97	2.71	21.20	16.84
Octanal	0.19	1.10	59.86	21.31
Pentanal	0.28	0.31	1.82	2.50
Undecadienal	0.10	0.18	26.02	15.35
Undecenal	0.27	0.29	27.57	23.38
Relación del aldehído ²	0.16	0.14	0.64	0.57
Tocoferoles totales ³ , mg/kg	772	620	405	609

¹No hay unidades para el valor de p-anisidina o valores para ácido tiobarbitúrico.

²Relación de 2-decenal, 2,4-hidroxi-nonal, 2,4-undecadienal, y 2-undecenal como un porcentaje de aldehídos totales a acroleína, 2,4-heptadienal, y 2-heptenal como un porcentaje de aldehídos totales (Wang et al., 2016).

³Los tocoferoles totales incluyeron tocoferoles alfa, beta, delta, y gama tocoferoles

DIGESTIBILIDAD DE ENERGÍA, LÍPIDOS Y NITRÓGENO EN CERDOS EN CRECIMIENTO ALIMENTADOS CON ACEITE DE SOYA OXIDADO TÉRMICAMENTE

Se alimentó a cerdos castrados en crecimiento (25 kg de peso corporal inicial) con dietas que contenían 10% de los cuatro aceites de soya térmicamente procesados, para determinar la digestibilidad de energía, lípidos y nitrógeno, la retención de nitrógeno y la permeabilidad intestinal (Líndalo et al., 2018; **Tabla 3**). Los cerdos alimentados con el aceite de soya térmicamente procesado a 90°C tuvieron la energía digestible (ED) más baja, en términos porcentuales de la energía bruta (EB); en tanto que la energía metabolizable (EM) como porcentaje de la ED fue la más baja en cerdos alimentados con el aceite de soya procesado a 180°C, seguido por el de 90°C y 45°C, y tratamientos con aceites sin oxidar, respectivamente. De manera similar, los cerdos alimentados con aceite de soya procesado térmicamente a 90°C tuvieron la digestibilidad de lípidos más baja, seguido de cerdos alimentados con aceite procesado a 180°C y 45°C, y tratamientos con aceite de soya fresco, respectivamente. Se observó que la digestibilidad del nitrógeno tendió a ser mayor cuando se ofreció un alimento con aceite de soya fresco, en comparación con un alimento que incluyó aceite procesado calentado a 45°C, aunque no fue diferente para los tratamientos con aceite de soya procesado a temperaturas más altas. Esto resultó en que los cerdos alimentados con aceite de soya fresco retuvieran un mayor porcentaje de nitrógeno, seguido de cerdos que fueron alimentados con tratamientos de aceite de soya calentado a 45°C, 180°C y 90°C, respectivamente. Sin embargo, no se observaron diferencias entre los tratamientos con aceite de soya con procesamiento térmico correspondiente a la relación lactulosa urinaria a manitol, que es un indicador de uso común para definir la permeabilidad y salud intestinal. En general, el procesamiento térmico del aceite de soya a diferentes tiempos y temperaturas tuvo efectos mínimos sobre la digestibilidad de energía, lípidos y nitrógeno, y ningún efecto sobre la permeabilidad intestinal de los cerdos en crecimiento. Lamentablemente, aunque se observaron importantes correlaciones entre los diversos índices de calidad del aceite de soya, así como respuestas de digestibilidad de energía y nutrientes, éstas fueron relativamente bajas ($r = -0.24$ a -0.51). El índice del peróxido tuvo la correlación más negativa con ED : EB ($r = -0.40$), los triacilglicéridos polimerizados tuvieron la mayor correlación negativa con una digestibilidad de lípidos ($r = -0.51$), y el valor de anisidina, el hexanal, y el 4-hidroxi-nonal tuvieron las correlaciones negativas más altas ($r = -0.43$) contra la retención de nitrógeno. Por consiguiente, tenemos poca capacidad para responder con una digestibilidad de energía y nutrientes en cerdos alimentados con aceite de soya oxidado, usando diversos indicadores de oxidación.

Tabla 3. Digestibilidad de energía, lípidos, y nitrógeno, retención de nitrógeno y permeabilidad intestinal de cerdos alimentados con dietas con 10% de aceite de soya oxidado térmicamente (adaptado de Lindblom et al., 2018)

Temperatura de calentamiento, °C	22.5	45	90	180
Energía digestible como % de energía total	88.6 ^a	87.8 ^{bc}	87.3 ^c	88.4 ^{ab}
Energía metabolizable como % de energía digestible	99.2 ^a	99.0 ^{ab}	98.8 ^b	98.6 ^b
Digestibilidad de lípidos, %	83.0 ^a	82.1 ^{ab}	78.4 ^c	81.2 ^b
Digestibilidad de nitrógeno, %	88.7 ^x	87.1 ^y	88.2 ^{xy}	88.7 ^x
Nitrógeno retenido, %	90.6 ^a	89.0 ^{ab}	86.1 ^c	86.9 ^b
Lactulosa urinaria:manitol	0.05	0.06	0.05	0.04

^{a,b,c} Las medias con superíndices inusuales son diferentes (P < 0.05).

^{x,y} Las medias con superíndices inusuales son diferentes (P < 0.10).

RENDIMIENTO EN CRECIMIENTO DE CERDOS ALIMENTADOS CON ACEITE DE SOYA TÉRMICAMENTE OXIDADO

Cuando se ofrecieron estas dietas a cerdos castrados de 25 a 71 kg de peso corporal, la ganancia de peso diaria promedio (ADG, por sus siglas en inglés) fue similar entre cerdos alimentados con aceite de soya procesado a 22.5°C, 45°C y 180°C, aunque fueron superiores a la de cerdos alimentados con la dieta de aceite de soya térmicamente procesado a 90°C (Lindblom et al., 2018; **Tabla 4**). Estos resultados coinciden con la gran cantidad de productos de oxidación relacionados con este aceite (**Tabla 2**), y la baja digestibilidad de energía y lípidos, así como el nitrógeno retenido (**Tabla 3**). No obstante, en cierto modo fue sorprendente observar que la alimentación con un aceite de soya oxidado térmicamente a 180°C no tuvo efectos sobre la GDP, aunque tenía la segunda mayor cantidad de productos de oxidación comparado con el aceite de soya calentado a 90°C. La alimentación animal con lípidos oxidados comúnmente reduce la ingesta diaria promedio (ADFI; Hung et al., 2017), aunque en este estudio no se observaron diferencias entre los tratamientos con aceite de soya oxidado. Por otro lado, alimentar a los cerdos con lípidos oxidados por lo general resulta en menor Ganancia: Consumo (G:C; Hung et al., 2017); si bien no hubo diferencias entre los distintos tratamientos con aceite de soya oxidado, el aceite de soya calentado a 45°C resultó en una mayor relación G:C comparado con otros tratamientos. Tal y como sucedió con las correlaciones de digestibilidad de energía y nutrientes, se observaron importantes correlaciones entre diversos índices de calidad de aceite de soya y propiedades de rendimiento de crecimiento, pero fueron relativamente bajas ($r = -0.26$ a -0.47). Los triacilglicéridos polimerizados tuvieron la mayor correlación con GDPP ($r = -0.47$), el índice de peróxido y los ácidos grasos oxidados fueron los únicos indicadores de calidad correlacionados con la GDP ($r = -0.28$), y la relación de aldehído tuvo la más alta correlación ($r = -0.35$) de respuesta de G:C. Por consiguiente, aun con el uso de diversos indicadores de oxidación, no nos fue posible predecir las respuestas de rendimiento de crecimiento de los cerdos alimentados con aceite de soya oxidado.

Tabla 4. Comparación del rendimiento de crecimiento en cerdos de 25 a 71 kg de peso corporal alimentados con aceite de soya con diferentes niveles de oxidación. (adaptado de Lindblom et al., 2018)

Heating temperature, °C	22.5	45	90	180
ADG, kg	1.02 ^a	1.05 ^a	0.96 ^b	1.03 ^a
ADFI, kg	2.05	2.00	1.94	2.09
G:F	0.50 ^b	0.53 ^a	0.49 ^b	0.50 ^b

^{a,b} Las medias con superíndices inusuales son diferentes (P < 0.05).

CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL, CALIDAD DEL LOMO Y VIDA DE ANAQUEL DE CHULETAS DE LOMO DE CERDOS ALIMENTADOS CON ACEITE DE SOYA OXIDADO TÉRMICAMENTE

Overholt et al. condujeron un estudio posterior (2018a, 2018b) para determinar los efectos que se obtienen por cambios en la composición e índices de oxidación del aceite de soya usando los mismos tratamientos de tiempo y temperatura de Lindblom et al. (2018). No se agregaron antioxidantes, ni antes ni después de calentar el aceite. El nivel de inclusión de estos aceites fue del 10% a dietas a base de maíz – pasta de soya a fin de determinar la digestibilidad de la energía y los nutrientes, el rendimiento de crecimiento animal y los efectos sobre las características de la canal, calidad del lomo y vida de anaquel de las chuletas de lomo. Los cambios en la composición química y los indicadores de oxidación del aceite de soya fueron similares a aquellos reportados por Lindblom et al. (2018). Los resultados para la digestibilidad de energía y nutrientes fueron ligeramente diferentes de aquellos reportados por Lindblom et al. (2018), en las dietas que contienen aceite de soya fresco resultó en una mayor relación de ED : EB (91.3%); el aceite de soya procesado térmicamente a 45°C resultó intermedio (90.96%), y los cerdos alimentados con aceite de soya tratado y calentado a una temperatura de 90°C y 180°C obtuvieron la relación más baja de ED : EB (89.51% y 89.37%, respectivamente). Sin embargo, no hubo diferencias en EM : ED entre los tratamientos con aceite de soya procesado térmicamente. Las diferencias en cuanto a digestibilidad de lípidos observadas entre tratamientos de aceite de soya siguieron ese mismo patrón en cuanto a ED : EB. Cabe señalar, que no hubo diferencias en digestibilidad y retención de nitrógeno, o de permeabilidad intestinal entre los tratamientos. Las respuestas de rendimiento en crecimiento de los cerdos en general (con un periodo de alimentación de 81-días; peso corporal inicial = 47 kg, peso corporal final = 131 kg) fueron similares a las reportadas por Lindblom et al. (2018), donde no hubo diferencias entre los tratamientos para IDPP, aunque los cerdos alimentados con aceite de soya tratado térmicamente a 90°C tuvieron menores GDP y una G:C, en comparación con los otros tratamientos. Los cerdos fueron sacrificados a los 82 días de esta prueba y las canales fueron recolectadas para su evaluación posterior.

Como resultado de una menor GDP debido a la alimentación animal con dietas que contienen aceite de soya oxidado a 90°C, el peso corporal vivo al momento del sacrificio, el porcentaje de rendimiento en canal, y el peso de la canal caliente también fueron más bajos en comparación con las otras dietas que contenían tratamientos de aceite de soya térmicamente procesados (Tabla 5). El peso del hígado, y el peso del hígado como un porcentaje del peso vivo aumentaron cuando se les ofreció a los cerdos dietas con un contenido de aceite de soya calentado a 90°C y 190°C. Es muy común observar un aumento de peso del hígado en cerdos alimentados con lípidos oxidados (Liu et al., 2014; Liu, 2015), lo que representa un indicador de estrés oxidativo. Esto sucede porque el hígado es el principal órgano involucrado en la desintoxicación del cuerpo, lo que ocasiona un aumento de las enzimas microsomales (Huang et al., 1988), además de la proliferación de hepatocitos (Dibner et al., 1996) después de un prolongado consumo de toxinas, como la 4-hidroxinonenal (Esterbauer et al., 1991; Grootveld et al., 1998). Las concentraciones de 4-hidroxinonenal fueron mucho más altas en los aceites de soya calentados a 90°C y 180°C, que los aceites de los otros dos tratamientos. Sin embargo, los tratamientos térmicos del aceite de soya no tuvieron efecto sobre la profundidad o grosor de la grasa dorsal de la 10ª costilla, área muscular del lomo, y el porcentaje estimado de la carne magra de la canal.

Tabla 5. Características de la canal de vientres frescos de cerdos castrados, con un peso corporal de 47 a 131 kg, alimentados con aceite de soya con diferentes niveles de oxidación (adaptado de Overholt et al., 2018b)

Temperatura de calentamiento, °C	22.5	45	90	180
Peso vivo al sacrificio, kg	127.2 ^{ab}	130.5 ^a	121.6 ^b	129.2 ^a
Pérdida de peso previo al sacrificio, %	3.06	3.20	3.27	3.32
Peso de la canal caliente, kg	101.8 ^a	104.4 ^a	95.8 ^b	102.7 ^a
Porcentaje de rendimiento, %	80.0 ^a	90.0 ^a	78.7 ^b	79.5 ^a
Peso del hígado, kg	1.54 ^b	1.66 ^{ab}	1.76 ^a	1.72 ^a
Peso del hígado como porcentaje de peso vivo, %	1.21 ^c	1.27 ^{bc}	1.45 ^a	1.33 ^b
Profundidad de grasa dorsal en la 10ª costilla, cm	2.65	2.55	2.29	2.54
Área muscular del lomo, cm ²	52.5	53.0	48.5	51.4
Carne magra de la canal estimada, %	51.1	51.5	52.1	51.3

^{a,b,c}Las medias con superíndices inusuales son diferentes (P < 0.05).

Estudios previos han reportado un aumento en la tasa de oxidación de lípidos de las chuletas de lomo de cerdo, cuando provienen de cerdos alimentados con aceite de maíz oxidado, en comparación con aquellos alimentados con aceite de maíz sin oxidar (Buckley et al., 1989; Monahan et al., 1992). Sin embargo, aún cuando los cerdos fueron alimentados con tratamientos de aceite de soya oxidado en este estudio no se observó efecto alguno sobre los valores de pH del lomo, 24 horas post-mortem, color claro, (L*), enrojecimiento (a*), tonalidad amarilla (b*), calificación de marmoleado y firmeza, pérdida por exudación, contenido de humedad, o contenido de lípidos extraíbles entre tratamientos. La decoloración de lomos y contenido de malondialdehído en tejido aumentó a lo largo de 10 días de almacenamiento (datos no mostrados), pero los tratamientos con aceite de soya calentado no mostraron ningún efecto. Similar a los resultados que reportaron Monahan et al. (1994) y Boler et al. (2012) cuando alimentaron a los cerdos con aceite de maíz oxidado, este estudio mostró que la reducción de contenido de vitamina E del aceite de soya después del tratamiento térmico, aparentemente no fue suficiente para afectar negativamente la estabilidad del color y la oxidación de lípidos en las chuletas del lomo.

Tabla 6. Características de lomos frescos de cerdos castrados de 47 a 131 kg de peso corporal y alimentados con aceite de soya con diferentes niveles de oxidación (adaptado de Overholt et al., 2018b)

Temperatura de calentamiento, °C	22.5	45	90	180
pH a las 24 horas	5.46	5.44	5.48	5.43
L*	49.6	49.8	50.6	49.9
a*	7.60	8.48	7.96	7.82
b*	0.35	0.48	0.85	0.80
Color - NPPC	2.23	3.33	5.47	5.19
Marmoleo - NPPC	1.00	1.21	1.14	1.07
Firmeza - NPPC	2.00	2.14	1.79	1.57
Pérdida por exudación, %	2.70	3.18	2.92	3.55
Humedad, %	74.1	74.2	74.1	74.4
Lípido extraíble, %	3.36	3.20	3.28	2.93

¹Las mediciones de color se determinaron usando el colorímetro de Minolta CR-400

²NPPC (1999).

³NPPC (1991).

CARACTERÍSTICAS DE PROCESAMIENTO Y VIDA DE ANAQUEL DEL TOCINO DE CERDOS ALIMENTADOS CON ACEITE DE SOYA OXIDADO TÉRMICAMENTE

En los estudios de (Overholt et al. 2018a, 2018b) también se evaluaron los vientres de cerdos alimentados con dietas conteniendo los mismos aceites de soya procesados térmicamente para determinar las diferencias en calidad y estabilidad de vida de anaquel de vientres frescos, así como tocino procesado comercialmente bajo condiciones de almacenamiento al menudeo. Al día 82 de esta prueba, los cerdos fueron sacrificados y se recolectaron los vientres para su evaluación posterior (Overholt et al., 2018c). No hubo diferencias entre tratamientos de aceite de soya oxidado en cuanto al peso, longitud, ancho y grosor del vientre fresco, (Tabla 7). Sin embargo, la diferencia del “flop” de vientres frescos de cerdos alimentados con aceite de soya procesado a 90°C, fue mayor que aquella de los vientres de otros tratamientos, lo que mostró una mayor firmeza. Esta respuesta coincide con el índice de yodo menor (IY) de vientres de cerdos alimentados con aceite de soya procesado a 90°C, en comparación con aquellos que fueron alimentados con este mismo aceite, pero procesado a 22.5°C y 45°C, al igual que con tratamientos que incluyen dicho aceite procesado a menos de 180°C. Se esperaban estas diferencias en IY del vientre debido al IY ligeramente inferior de los aceites de soya procesados a 90°C (IY = 126) y a 180°C (IY = 127), comparado con aquellos procesados a 22.5°C (IY = 131) y de 45°C (IY = 131). Sin embargo, estos resultados fueron inesperados, pues la digestibilidad de la energía de las dietas que contenían aceite de soya procesado calentado a 90°C y 180°C fue menor que el aceite de soya fresco y aquél calentado a 45°C.

Tabla 7. Características de vientres frescos de cerdos castrados, con un peso corporal de 47 a 131 kg, alimentados con aceite de soya con diferentes niveles de oxidación (adaptado de Overholt et al., 2018c)

Temperatura de calentamiento, °C	22.5	45	90	180
Peso del vientre, kg	7.41	7.46	7.24	7.61
Distancia del "flop", cm	6.37 ^b	6.51 ^b	8.07 ^a	6.21 ^b
Longitud, cm	69.6	70.6	70.7	70.6
Ancho, cm	28.4	28.5	27.4	28.7
Grosor, cm	3.67	3.87	3.82	3.64
Índice de yodo				
Centro entero	92.9 ^a	93.2 ^a	79.7 ^c	89.9 ^b
Capa media e interna	95.6 ^a	94.9 ^a	82.9 ^c	91.7 ^b
Capa externa	93.2 ^a	94.0 ^a	80.1 ^c	90.6 ^b

^{a,b,c}Las medias con superíndices inusuales son diferentes (P < 0.05).

No hubo diferencias en el peso inicial del tocino inyectado, cocinado, o rebanado, o de su rendimiento ya rebanado, o en contenido de humedad y lípidos extraíbles entre los distintos tratamientos dietéticos (**Tabla 8**). La única diferencia que se observó fue una menor absorción de salmuera inyectada en los vientres de cerdos alimentados con aceite de soya procesado y calentado a 90°C, en comparación con otros tratamientos dietéticos. Debido a las diferencias en IY que presentaron los diferentes tratamientos de aceite de soya procesado térmicamente, se esperaba que pudiera haber diferencias en rendimiento de tocino en rebanadas, lo cual no ocurrió.

Tabla 8. Características del tocino fabricado de manera comercial de cerdos castrados, de 47 a 131 kg de peso corporal, y alimentados con aceite de soya con diferentes niveles de oxidación, (adaptado de Overholt et al., 2018c)

Temperatura de calentamiento, °C	22.5	45	90	180
Peso inicial, kg	5.80	5.78	5.59	5.88
Peso inyectado, kg	6.88	6.87	6.57	6.99
Absorción en inyección, %	18.8a	18.7a	17.4b	18.6a
Peso cocinado, kg	6.22	6.23	5.98	6.28
Rendimiento cocinado, %	107.2	107.6	106.7	106.4
Peso rebanado, kg	3.38	4.11	4.00	3.88
Rendimiento rebanado (peso sin procesar), %	59.1	71.4	71.5	67.0
Rendimiento rebanado (peso cocinado), %	55.2	66.4	67.0	63.1
Contenido de Humedad, %	41.3	46.0	44.8	45.5
Lípidos extraíbles, %	42.6	39.6	39.2	39.1

^{a,b,c}Medias con superíndices inusuales son diferentes (P < 0.05).

El tocino procesado comercialmente fue almacenado y analizado por panelistas capacitados para determinar la concentración de TBARS en tejidos y lípidos extraíbles, así como la presencia de aroma y sabor oxidado al día 0, 30, 60 y 90 de almacenamiento a los -20°C. A pesar de que el tiempo de almacenamiento aumentó el contenido de TBARS en el tocino, así como el olor y sabor a oxidación, las dietas que contienen diferentes aceites de soya procesados térmicamente no tuvieron efectos en estas medidas. Estos resultados concluyeron que un alimento con aceite de soya oxidado no afectó la calidad de los vientres frescos, ni su calidad, vida de anaquel o rendimiento de tocino rebanado.

EFFECTO POR LA INCLUSIÓN DE ANTIOXIDANTES EN DIETAS PARA CERDOS QUE CONTIENEN ACEITE DE SOYA OXIDADO SOBRE EL RENDIMIENTO DE CRECIMIENTO, CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y ESTATUS OXIDATIVO

Aunque añadir antioxidantes a dietas de lípidos oxidados puede ser benéfico para mitigar tanto el estrés oxidativo, como la disminución en el rendimiento de crecimiento de los cerdos, se han realizado muy pocos estudios para evaluar estos efectos (Chang y van Heugten, 2016; Lu et al., 2014a; Hung et al., 2019). Hung et al. (2019) evaluaron los efectos sobre el rendimiento de crecimiento y el proceso de oxidación en lechones pre iniciadores al incluir en las dietas un antioxidante comercialmente disponible (TBHQ) que contiene un aceite de maíz moderadamente oxidado. El aceite de maíz moderadamente oxidado contenía 5.98 mEq O₂/kg y TBARS de 0.11 mg de malondialdehído (MDA por sus siglas en inglés) equivalente/g de aceite. La adición de TBHQ a dietas que contenían aceite de maíz oxidado dio como resultado una reducción de 37% en el índice de peróxido e incrementó el índice de estabilidad del aceite en 69%; no obstante ofrecer dietas de aceite de maíz oxidado no tuvo efectos en el rendimiento en crecimiento. Sin embargo, alimentar con dietas que contienen aceite oxidado tendieron a incrementar en un 5% el índice hepatosomático (aumento del peso del hígado en relación con el peso corporal) y reducir las concentraciones de la vitamina E en suero. La adición de TBHQ al aceite de maíz oxidado no fue efectiva para mitigar estos efectos. Estos resultados coinciden con los reportados por Chang y van Heugten (2016), quienes no observaron ninguna diferencia en el rendimiento de crecimiento de lechones pre iniciadores alimentados con dietas que contienen aceite de maíz oxidado con 60 mg/kg de una mezcla de antioxidantes de: etoxiquina, butil-hidroxitolueno (BHT por sus siglas en inglés) y butil-hidroxianisol (BHA por sus siglas en inglés). No obstante, Lu et al. (2014a) añadieron 135 mg/kg de una mezcla de antioxidante de etoxiquina y galato de propilo a dietas con aceite de soya oxidado, y observaron mejoras en el desempeño en crecimiento en comparación con una dieta a base maíz – pasta de soya que no contenía antioxidantes.

Lu et al. (2014a) evaluaron la efectividad de la adición de una mezcla comercial de antioxidantes (135 mg/kg of AGRADO PLUS®; etoxiquina y galato de propilo) u 11 UI/kg de vitamina E suplementaria (un total of 24 UI/kg de vitamina E) a dietas de iniciación, crecimiento y finalización (5 fases) que contenía 5% de aceite de soya oxidado (índice de peróxido = 180 mEq/kg de aceite) y 10% de una fuente de ácidos grasos poliinsaturados comercial (PUFA, por sus siglas en inglés), (55% de grasa cruda, 36% de ácido docosahexaéonico) y conocer los impactos en cerdos en cuanto a su desempeño en crecimiento, función hepática y estatus oxidativo durante un periodo de alimentación de 118 días desde el destete hasta la finalización. En este estudio, a los cerdos que habían sido alimentados con el aceite de soya oxidado sin suplemento de vitamina E, se les sometió a una dieta control a los 83 días del periodo de alimentación, dado que los cerdos estuvieron mostrando signos de una salud deficiente. La alimentación con dietas que contenían aceite de soya oxidado, con o sin suplemento adicional de vitamina E (11 UI/kg), no fue eficaz para minimizar los efectos adversos sobre el rendimiento en crecimiento y estrés oxidativo (Tabla 9). Sin embargo, la adición del antioxidante sintético a las dietas con aceite de soya oxidado resultó eficaz para restablecer la tasa de crecimiento y mejorar la eficiencia de ganancia de peso, aunque la ingesta del alimento no se restauró completamente, comparado con cerdos alimentados con la dieta control que contenía aceite de soya sin oxidar.

Alimentar con dietas que contienen aceite de soya oxidado resultó en una mayor relación de hígado a peso vivo corporal, la cual se redujo al añadir una combinación de vitamina E suplementaria y un antioxidante sintético o, añadir sólo éste último, contra una dieta con aceite de soya sin oxidar (no se muestran datos).

La bilirrubina es un producto final de renovación de glóbulos rojos y puede utilizarse como un indicador de la hemólisis de eritrocitos, derivado de un daño causado por los radicales libres y otros productos de oxidación. No se detectaron concentraciones de bilirrubina en el plasma de cerdos que fueron alimentados con la dieta control, aunque se observó un aumento en cerdos alimentados con la dieta con aceite de soya oxidado, la cual disminuyó posteriormente al añadir el antioxidante sintético.

De manera similar, se pueden usar mayores concentraciones de enzimas hepáticas (alanina transaminasa y aspartato transaminasa) como indicadores de un hígado dañado, ya que funcionan como biomarcadores de

la actividad hepática. No hubo diferencias entre tratamientos dietéticos para la alanina transaminasa del plasma, aunque el incremento en las concentraciones de aspartato transaminasa en cerdos alimentados con la dieta con aceite de soya oxidado es un indicativo de estrés oxidativo que probablemente se deba a una necrosis hepatocelular. Este efecto se mitigó en parte al añadir a la dieta el antioxidante sintético.

La concentración de TBARS en plasma es un biomarcador que normalmente se usa para evaluar el daño ocasionado por radicales libres; además, la oxidación de lípidos endógenos y la concentración plasmática de carbonilo es un indicador del daño oxidativo de proteínas y aminoácidos. En este estudio, tanto las concentraciones de TBARS como de carbonilo en plasma aumentaron en los cerdos que fueron alimentados con dietas que incluyeron aceite de soya oxidado, aunque al agregar el antioxidante sintético se restablecieron los niveles de plasma en comparación con aquellos cerdos que fueron alimentados con dietas control que incluyeron aceite de soya sin oxidar.

En resumen, este es el primer estudio que muestra que la adición de una mezcla de un antioxidante comercial específico, con o sin una vitamina E suplementaria (11 UI/kg), a dietas que contienen 5% de aceite de soya oxidado fue eficaz para mejorar el rendimiento en crecimiento, la función hepática, aunado a reducir los biomarcadores plasmáticos que sirven como indicadores del estrés oxidativo. Además, la alimentación de los cerdos con dietas que contienen aceite de soya oxidado provocó cambios en las características de la canal y la calidad de la carne, las cuales se atenuaron parcialmente con la adición de antioxidantes sintéticos, mientras que añadir 11 UI/kg de vitamina E como suplemento tuvo efectos mínimos (Lu et al., 2014b).

Tabla 9. Efectos de la alimentación con dietas que contienen 5% de aceite de soya oxidado, con o sin vitamina E suplementaria (11 UI/kg) o antioxidante sintético (AGRADO PLUS®), sobre el rendimiento en crecimiento e indicadores de estrés oxidativo (adaptado de Lu et al., 2014)

Medida	Tratamiento Dietético ¹				
	Control con AS no oxidado	AS oxidado + PUFA	AS oxidado + PUFA + VE	AS oxidado + PUFA + AOX	AS oxidado + PUFA + VE + AOX
Rendimiento en crecimiento					
GDP, kg	1.05 ^a	0.61 ^b	0.70 ^b	0.99 ^a	1.01 ^a
IDP, kg	2.81 ^a	1.67 ^c	1.66 ^c	2.25 ^b	2.34 ^b
G:C	0.38 ^{bc}	0.37 ^c	0.42 ^{ab}	0.44 ^a	0.43 ^a
Biomarcadores de oxidación plasmática					
γ-glutamil transpeptidasa, UI/L	10.18	11.35	17.60	18.56	18.28
Bilirrubina total, mg/dL	ND ^{2b}	0.30 ^{ab}	1.67 ^a	0.84 ^{ab}	ND ^b
Alanina transaminasa, U/L	30.26	23.25	30.52	21.65	24.11
Aspartato transaminasa, IU/L	21.55 ^b	22.66 ^b	36.34 ^a	21.32 ^b	21.35 ^b
TBARS, μM/mL	2.33 ^b	2.76 ^b	10.56 ^a	4.21 ^b	4.10 ^b
Carbonilo, nmol/mL	19.24 ^b	25.94 ^b	71.53 ^a	24.21 ^b	21.31 ^b

¹SO = aceite de soya; PUFA = 10% de PUFA de fuentes comerciales que aportan 2.05% de ácido docosahexaéico a la dieta; VE = vitamina E adicionada a la dieta a 11 UI/kg para alcanzar un aporte total de 24 UI/kg de la dieta; AOX = antioxidante comercial sintético (AGRADO PLUS; Novus International, Inc.)

²ND = no detectable.

^{a,b,c}Las medias con superíndices inusuales dentro de una hilera son diferentes (P < 0.05).

Es importante reconocer que, en Estados Unidos, la Administración de Alimentos y Drogas regula el uso de antioxidantes sintéticos en alimentos para consumo humano y animal. En la actualidad, los niveles máximos de inclusión de etoxiquina, BHA y BHT a la dieta es 0.02% de contenido lípido, 150 mg/kg, y 200 mg/kg, respectivamente (Salami et al., 2016). Estas restricciones se deben a asuntos de inocuidad del alimento para consumo animal, ya que, si estos exceden las dosis promedio, estos antioxidantes se degradan en metabolitos que han mostrado ser citotóxicos (Okubo et al., 2003) y pueden causar daño al ADN (Shahidi y Zhong, 2005). Además, el uso excesivo de antioxidantes puede resultar en estrés oxidativo (Poljsak et al., 2013) que se deriva de un desequilibrio de oxidantes-antioxidantes (Salami et al., 2016; Poljsak and Milisav, 2012). Por consiguiente, es fundamental seguir las recomendaciones del fabricante en cuanto a la adición de antioxidantes sintéticos al alimento balanceado, a fin de evitar posibles efectos nocivos.

RESUMEN

El aceite de soya expuesto a 90 °C por 72 horas y 180 °C durante 6 horas aumentó de manera significativa la oxidación y producción de aldehídos comparado con el aceite de soya fresco y el aceite procesado térmicamente a 45 °C. El aumento de peso del hígado de cerdos alimentados con aceite de soya calentado a 90°C durante 72 horas y a 180°C por 6 horas es un indicativo de estrés oxidativo, aunque el tratamiento térmico del aceite de soya no tuvo efectos sobre la permeabilidad intestinal. Excepto por aquellas dietas que fueron ofrecidas con un 10% de aceite de soya calentado a 90°C durante 72 horas, hubo efectos mínimos sobre la energía, lípidos, digestibilidad de nitrógeno, rendimiento en crecimiento, características de la canal, calidad del lomo y tocino, así como su estabilidad en vida de anaquel. Estos resultados sugieren que alimentar con aceite de soya oxidado puede tener efectos nocivos en el rendimiento de los cerdos, aunque estos efectos dependen de las condiciones de temperatura y tiempo aplicados para crear productos de oxidación. Se han realizado muy pocos estudios dedicados a evaluar la inclusión de vitamina E suplementaria o antioxidantes sintéticos comercialmente disponibles en dietas que contienen aceite de soya oxidado. Sin embargo, existe cierta evidencia de que al agregar una mezcla de antioxidante comercial específico con o sin vitamina E suplementaria (11 UI/kg), a dietas que contienen 5% de aceite de soya oxidado puede ser eficaz para mejorar el rendimiento en crecimiento, la función hepática, reducir los marcadores plasmáticos que son indicativos del estrés oxidativo, características de la canal y calidad de la carne. No obstante, la suplementación de vitamina E a bajos niveles casi no impactó para mitigar los efectos adversos debido a la adición del aceite de soya oxidado en la alimentación animal.

REFERENCIAS

- Boler, D.D., D.M. Fernández-Dueñas, L.W. Kutzler, J. Zhao, R.J. Harrell, D.R. Campion, F.K. McKeith, J. Killefer, and A.C. Dilger. 2012. Effects of oxidized corn oil and a synthetic antioxidant blend on performance, oxidative status of tissues, and fresh meat quality in finishing barrows. *J. Anim. Sci.* 90:5159-5169.
- Buckley, D.J., J.I. Gray, A. Asghar, J.F. Price, R.L. Crackel, A.M. Booren, A.M. Pearson, and E.R. Miller. 1989. Effects of dietary antioxidants and oxidized oil on membranial lipid stability and pork product quality. *J. Food Sci.* 54:1193-1197.
- Chang, P.L., and E. van Heugten. 2016. Impact of lipid oxidation and antioxidants on nursery pig performance and health. *J. Anim. Sci.* 94:137.
- Dibner, J.J., C.A. Atwell, M.L. Kitchell, W.D. Shermer, and F.J. Ivey. 1996. Feeding of oxidized fats to broilers and swine: effects on enterocyte turnover, hepatocyte proliferation and the gut associated lymphoid tissue. *Anim. Feed Sci. Technol.* 62:1-13.
- Esterbauer, H., R.J. Schaur, and H. Zollner. 1991. Chemistry and biochemistry of 4-hydroxynonenal, malondialdehyde and related aldehydes. *Free Radic. Biol. Med.* 11:81-128.
- Gonzalez-Muñoz, M.J., S. Bastida, and F.J. Sanchez-Muniz. 1998. Short-term in vivo digestibility of triglyceride polymers, dimers, and monomers of thermoxidized palm olein used in deep-frying. *J. Agric. Food Chem.* 46:5188-5193.
- Grootveld, M., M.D. Atherton, A.N. Sheerin, J. Hawkes, D.R. Blake, T.E. Richens, C.J. Silwood, E. Lynch, and A.W. Claxson. 1998. In vivo absorption, metabolism, and urinary excretion of alpha, beta-unsaturated aldehydes in experimental animals. Relevance to the development of cardiovascular diseases by the dietary ingestion of thermally stressed polyunsaturated-rich culinary oils. *J. Clin. Invest.* 101:1210-1218.
- Huang, C.J., N.S. Cheung, and V.R. Lu. 1988. Effects of deteriorated frying oil and dietary protein levels on liver microsomal enzymes in rats. *J. Am. Oil Chem Soc.* 65:1796-1803.

- Hung, Y.T., A.R. Hanson, P.E. Urriola, L.J. Johnston, B.J. Kerr, and G.C. Shurson. 2019. Addition of tert-butylhydroquinone (TBHQ) to maize oil reduces lipid oxidation but does not prevent reduction in serum vitamin E in nursery pigs. *J. Anim. Sci. Biotech.* 10:51.
- Hung, Y.T., A.R. Hanson, G.C. Shurson, and P.E. Urriola. 2017. Peroxidized lipids reduce growth performance of poultry and swine: A meta-analysis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 231:47-58.
- Lindblom, S.C., N.K. Gabler, and B.J. Kerr. 2018. Influence of feeding thermally peroxidized soybean oil on growth performance, digestibility, and gut integrity in growing pigs. 96:558-569.
- Liu, P., C. Chen, B.J. Kerr, T.E. Weber, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2014. Influence of thermally oxidized vegetable oils and animal fats on growth performance, liver gene expression, and liver and serum cholesterol and triglycerides in young pigs. *J. Anim. Sci.* 92:9260-9270.
- Liu, Y. 2015. Fatty acids, inflammation and intestinal health in pigs. *J. Anim. Sci. Biotech.* 6:41.
- Lu, T., A.F. Harper, J. Zhou, M.J. Estienne, and R.A. Dalloul. 2014a. Supplementing antioxidants to pigs fed diets high in oxidants: I. Effects on growth performance, liver function, and oxidative status. *J. Anim. Sci.* 92:5455-5463.
- Lu, T., A.F. Harper, J.J. Dibner, J.M. Scheffler, B.A. Corl, M.J. Estienne, J. Zhao, and R.A. Dalloul. 2014b. Supplementing antioxidants to pigs fed diets high in oxidants: II. Effects on carcass characteristics, meat quality, and fatty acid profile. *J. Anim. Sci.* 92:6464-5475.
- Meadus, W.J., P. Duff, B. Uttaro, J.L. Aalhus, D.C. Roland, L.L. Gibson, and M.E.R. Dugan. 2010. Production of docosahexaenoic acid (DHA) enriched bacon. *J. Agric. Food Chem.* 58:465-472.
- Meeker, D.L., and C.R. Hamilton. 2006. An overview of the rendering industry. *Essential Rendering*, p. 1-16. http://assets.nationalrenderers.org/essential_rendering_book.pdf.
- Monahan, F.J., A. Asghar, J.I. Gray, D.J. Buckley, and P.A. Morrissey. 1994. Effect of oxidized dietary lipid and vitamin E on the colour stability of pork chops. *Meat Sci.* 37:205-215.
- Monahan, F.J., J.I. Gray, A.M. Booren, E.R. Miller, D.J. Buckley, P.A. Morrissey, and E.A. Gomma. 1992. Influence of dietary treatment on lipid and cholesterol oxidation in pork. *J. Agric. food Chem.* 40:1310-1315.
- National Pork Producers Council (NPPC). 1991. Procedures to evaluate market hogs. 3rd ed. Natl. Pork Prod. Council, Des Moines, IA.
- National Pork Producers Council (NPPC). 1999. Official color and marbling standards. Natl. Pork Prod. Council, Des Moines, IA.
- Okubo, T., Y. Yokoyama, K. Kano, and I Kano. 2003. Cell death induced by phenolic antioxidant tert-butylhydroquinone and its metabolite tert-butylquinone in human monocyte leukemia U937 cells. *Food Chem. Toxicol.* 41:679-688.
- Overholt, M.F., A.C. Dilger, D.D. Boler, and B.J. Kerr. 2018a. Influence of feeding thermally peroxidized soybean oil on growth performance, digestibility, and gut integrity in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 96:2789-2803.
- Overholt, M.F., G-D. Kim, D.D. Boler, B.J. Kerr, and A.C. Dilger. 2018b. Influence of feeding thermally peroxidized soybean oil to finishing pigs on carcass characteristics, loin quality, and shelf life of loin chops. *J. Anim. Sci.* 96:2710-2722.

Overholt, M.F., J.E. Lowell, G-D. Kim, D.D. Boler, B.J. Kerr, and A.C. Dilger. 2018c. Influence of feeding thermally peroxidized soybean oil to finishing barrows on processing characteristics and shelf life of commercially manufactured bacon. *J. Anim. Sci.* 96:2723-2733.

Poljsak, B., D. Šuput, and I. Milisav. 2013. Achieving the balance between ROS and antioxidants: when to use synthetic antioxidants. *Oxidative Med. Cell Longev.* 2013:1-11.

Poljsak, B., and I. Milisav. 2012. The neglected significance of “Antioxidative stress”. *Oxidative med. Cell Longev.* 2012:12, Article ID 480895.

Salami, S.A., A. Guinguina, J.O. Agboola, A.A. Omede, E.M. Agbonlahor, and U. Tayyab. 2016. In vivo and postmortem effects of feed antioxidants in livestock: a review of the implications on authorization of antioxidant feed additives. *Animal* 10:1375-1390.

Shahidi, F., and Y. Zhong. 2005. Antioxidants: regulatory status. In: *Bailey's Ind. Oil Fat Prod.*, F. Shahidi and Y. Zhong, eds., Hoboken, Wiley p. 491-512.

St. Angelo, A.J., J. Vercellotti, T. Jacks, and M. Legendre. 1996. Lipid oxidation in foods. *Food Sci. Nutr.* 36:175-224.

Wang, L., A.S. Csallany, B.J. Kerr, G.C. Shurson, and C. Chen. 2016. Kinetics of forming aldehydes in frying oils and their distribution in French Fries revealed by LC-MS-based chemometrics. *J. Agric. Food Chem* 64:3881-3889.

Capítulo



06

Cómo Proteger la Calidad del Aceite de Soya de Estados Unidos

INTRODUCCIÓN

La nutrición animal de precisión no solo implica seleccionar y utilizar ingredientes alimenticios que contengan altas concentraciones de nutrientes energéticos y digestibles, sino también conservar un alto nivel nutricional durante su procesamiento, transporte, almacenamiento y fabricación del alimento balanceado. Uno de los objetivos en la nutrición de precisión es el manejar la variabilidad de la composición de energía y nutrientes de los ingredientes del alimento balanceado para obtener resultados predecibles. Sobre todo, esto es importante cuando se utilizan aceites de alta calidad, tales como el de soya desgomado de Estados Unidos en dietas de cerdos y aves en climas con temperaturas y humedad relativas altas, debido a su susceptibilidad al daño oxidativo al quedar expuesto a altas temperaturas, los rayos del sol, el oxígeno (aire y humedad), así como a los metales de transición. A pesar de que el aceite de soya es superior a otras grasas y aceites por su alto valor energético, es inferior en cuanto a su estabilidad térmica cuando queda expuesto a altas temperaturas. La oxidación del aceite ocurre por una reacción auto catalítica que producen hidroperóxidos provenientes de los acilglicéridos insaturados, lo que ocasiona un sabor y olor desagradable, degradación de las propiedades funcionales y nutricionales, al igual que una menor vida de anaquel. Aunado a lo anterior, la oxidación ocasiona diversos cambios en la química de los aceites, incluyendo la producción de radicales libres que pudieran ocasionar daños irreversibles al reaccionar con el ADN, las proteínas y lípidos (Bansal et al., 2010; Cabiscol et al., 2010). En consecuencia, los efectos de la oxidación lipídica son irreversibles una vez que ésta ocurre, aún cuando se le añadan antioxidantes. Por ende, es fundamental diseñar sistemas de manejo y almacenamiento que minimicen el daño oxidativo a fin de aprovechar al máximo el valor nutricional de las grasas y aceites del alimento balanceado. Desafortunadamente, la mayoría de los importadores y plantas de alimento balanceado prestan poca atención a la importancia de minimizar la oxidación de las grasas y aceites para consumo animal y evitar mayor oxidación antes de añadir estos costosos ingredientes al alimento balanceado. El objetivo de este capítulo es el de describir procedimientos de transporte, almacenamiento y manejo recomendados a fin de reducir al mínimo el daño oxidativo al aceite de soya.

Tabl 1. Efectos de la exposición térmica (60 °C) y tiempo de oxidación del aceite de soya (adaptado de Li et al., 2014)

Tiempo días	Índice de Peróxido, mEq O ₂ /kg de aceite	Valor de p-Anisidina
0	2.34	4.75
4	7.93	7.71
8	13.7	10.8
12	17.5	14.9
16	20.1	27.1
20	25.4	39.1
24	28.3	44.1

CONOZCA DE DÓNDE PROVIENE EL ACEITE DE SOYA Y CÓMO LO MANEJAN DESDE PRODUCCIÓN HASTA SU ENTREGA

Elabore un cuestionario dirigido a sus proveedores prospectos a fin de determinar la duración, condiciones de temperatura y humedad relativa a la que el aceite de soya ha estado expuesto. La información también deberá incluir el índice de peróxido inicial, el TBARS, y el valor de p-anisidina del producto que está usted recibiendo. Aún cuando muchos proveedores incluyen información sobre el índice del peróxido, contenido de ácidos grasos libres, y los MIU de cada embarque con base en las garantías mínimas o máximas estipuladas en las especificaciones comerciales, también deberían incluir la medida de las concentraciones de aldehído (TBARS o valor de p-anisidina) a fin de determinar el grado de oxidación con mayor precisión.

Por ejemplo, Li et al. (2014) mostró que el valor de peróxido y el de p-anisidina del aceite de soya expuesto a 60 °C aumenta durante periodos prolongados de almacenamiento (Tabla 1). Además, las concentraciones de dienos y trienos conjugados aumentan con el tiempo (datos no mostrados). Estas condiciones de exposición térmica probablemente son similares cuando el aceite de soya es transportado y almacenado en climas calientes y húmedos, lo que indica que es necesario tomar medidas preventivas para conservar la calidad del aceite de soya

Es fundamental establecer niveles comparativos de calidad a fin de evaluar la calidad de las grasas y aceites que está recibiendo y utilizando durante un cierto periodo de tiempo. El equipo de análisis para monitorear la calidad de los lípidos puede oscilar desde medidores fotométricos muy sencillos hasta equipos y métodos basados en reactivos, así como otros más costosos como la espectroscopia cercana al infrarrojo (NIR, Near InfraRed spectroscopy, por sus siglas en inglés). En general, aun cuando son más costosos, los ensayos químicos arrojan resultados más confiables y significativos en comparación con los métodos y equipos más sencillos y menos onerosos.

MINIMIZAR LA EXPOSICIÓN AL AIRE

El aire (oxígeno) es un promotor de la oxidación. El índice de reacción entre el oxígeno y los lípidos depende del tipo de oxígeno. El índice de reacción, donde el ácido linoleico (el ácido graso que más abunda en el aceite de soya) reacciona 1,450 veces más rápido con $^1\text{O}_2$ que con $^3\text{O}_2$ (Rawls y van Santen, 1970). Por lo tanto, se debe intentar lo más posible por minimizar la exposición del aceite de soya al aire y al oxígeno a fin de reducir al mínimo su oxidación.

MINIMIZAR LA EXPOSICIÓN A LA LUZ

La oxidación lipídica ocasionada por el $^1\text{O}_2$ ocurre con la presencia de los rayos solares, lo que indica que el tipo de contenedores para su almacenamiento y empaque son sumamente importantes. Las botellas de plástico transparentes y envases IBC promueven la oxidación del aceite, aunque el uso de Tinuvin 234 (2-(2-hidroxi-3,5-di(1,1-dimetilbenzil)fenil) benzotriazol) o Tinuvin 326 (2-(3'-tert-butil-2'-hidroxi-5'-metilfenil)-5-clorobenzo-trazol), que son absorbentes en contenedores de plástico transparente, mejoran la estabilidad oxidativa del aceite de soya cuando está expuesto a la luz (Pascall et al., 1995; Azeredo et al., 2004). Sin embargo, los recipientes preferidos para su almacenamiento son los de acero inoxidable (tipos 302, 303, 316).

La resina de polietileno de alta densidad (HDPE, por sus siglas en inglés) es utilizada en gran medida como material de empaque, debido a su alta fuerza tensil, dureza y buena resistencia química. Los recipientes HDPE moldeados por aire como botellas, tarros y latas de mermelada son utilizadas para envasar aceites comestibles. Coltro et al. (2003) investigó sobre el deterioro de la calidad del aceite de soya envasado en botellas de plástico de 1 lt hechas de HDPE, y coextruídas con una capa que contenía pigmento negro durante un periodo de 113 días de almacenamiento a una temperatura de 23°C. Los resultados fueron comparados con un tratamiento control donde el aceite de soya fue almacenado en un contenedor de metal durante el mismo periodo y temperatura. No se observaron diferencias en cuanto a las propiedades organolépticas del aceite almacenado en recipientes de metal y plástico durante todo el periodo de investigación, aunado a que la calidad química del aceite se mantuvo dentro de los límites de estabilidad.

La superficie y la tensión superficial del aceite es de suma importancia para minimizar la oxidación. Los ácidos grasos libres tienen grupos carboxilo hidrofílicos (que les atrae el agua) en sus estructuras químicas que no se disuelven fácilmente en la porción hidrofóbica (“que repelen el agua”) de la masa del aceite, y están presentes en la superficie del aceite. Estos ácidos grasos libres disminuyen la tensión en la superficie del aceite y aumentan la tasa de difusión del oxígeno del aire superior hacia el aceite con objeto de acelerar la oxidación (Mistry y Min, 1987). Por lo tanto, es fundamental utilizar distintas configuraciones prácticas de carga y descarga, así como de procedimientos de manejo.

DISEÑO DEL TANQUE

El diseño de los tanques de almacenamiento no solo es importante para minimizar la cantidad de exposición de la superficie del aceite, que promueve la oxidación, sino que también es importante para facilitar la eliminación completa del aceite entre lotes. La Figura 1 muestra ejemplos de un mal diseño de tanques horizontales (izquierda), ocasionando que haya una mayor superficie de exposición al aire. Es preferible utilizar tanques verticales (derecha), dado que minimiza el diámetro de la superficie del aceite expuesta al aire y permite un mejor drenado completo del aceite.

Un buen diseño de tanque también incluye un sumidero ligeramente más bajo que la puerta por donde sale el aceite. (Figura 2). Con esto se logran dos objetivos. Primero, permite que el sedimento permanezca debajo del área por donde sale el aceite del tanque, lo cual es beneficioso cuando se utilizan productos lipídicos que tienen grandes cantidades de contaminantes. Segundo, permite que la limpieza se haga en menor tiempo al utilizar un sumidero con una puerta para retirar el material indeseado del tanque desde el punto más bajo posible.

Durante el almacenamiento, el contenedor o tanque deberá llenarse lo más posible a fin de minimizar la cantidad de espacio superior y la exposición al oxígeno. La formación de peróxido también es una función lineal de la relación superficie a volumen (Su, 2003). Going (1968) evaluó el efecto del tamaño del recipiente sobre el deterioro oxidativo del aceite de soya refinado y blanqueado almacenado a 48.9°C durante 5 semanas y mostró que la oxidación no está solamente en función del tiempo y temperatura, sino también del área. Conforme aumenta el tamaño del recipiente, la relación superficie a volumen disminuye, y la producción de peróxidos es una función lineal de la relación superficie a volumen. Estos resultados indican que los tanques de almacenamiento de lípidos necesitan llenarse lo más completamente posible a fin de minimizar la relación superficie a volumen.

Figura 1. Comparación de buenos y malos diseños de tanques para minimizar la exposición al aire (Fuente: Gupta, 2017).

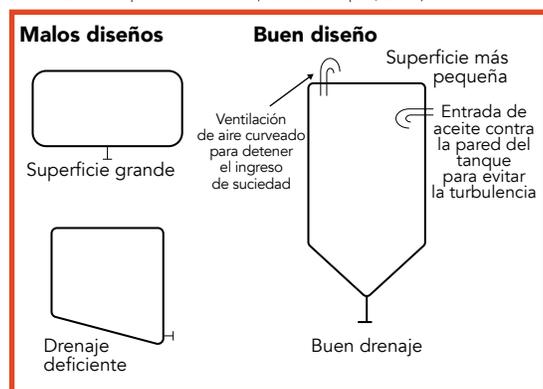
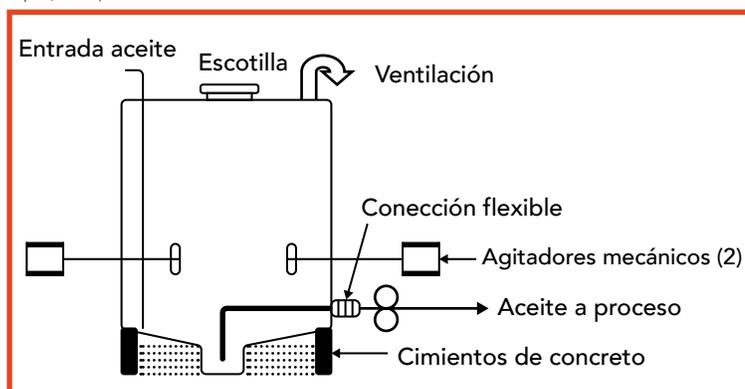


Figura 2. Ejemplo del diseño ideal de un tanque de almacenamiento de lípidos (Fuente: Gupta, 2017).



AGITADORES MECÁNICOS

Si bien es común que la mayoría de los tanques de grasas y aceites no contengan agitadores para mezclar, deberían considerarse como características importantes en un tanque de almacenamiento de aceite de soya, dado que es necesario asegurarse de contar con un buen mezclado de antioxidantes que pudieran agregarse para minimizar la oxidación. El simplemente añadir antioxidantes a la superficie superior de los tanques de almacenamiento de aceite después de llenarlos no es un uso eficiente de un antioxidante, dado que no queda mezclado de forma homogénea con toda la masa de aceite del tanque. Sin embargo, es importante elegir aspas con poco esfuerzo cortante y poca turbulencia, a fin de evitar al mínimo el salpicar y la exposición al aire durante el mezclado (**Figura 3**). Alternativamente, es preferible añadir los antioxidantes utilizando medidores de flujo mientras va vertiendo el aceite al tanque, pues con esto garantiza un mezclado uniforme evitando así la necesidad de agitarlo todavía más. No es recomendable usar los agitadores mecánicos, dado que cualquier movimiento del aceite redundará en su exposición al aire en el espacio superior del tanque. Sin embargo, esto puede contrarrestarse aplicando gas nitrógeno en el espacio superior del tanque.

En caso de utilizar agitadores, éstos deberán colocarse a una altura tal que siempre estén sumergidos en el aceite la mayor parte del tiempo mientras se drena el aceite, y no deberán colocarse verticalmente, ya que ocasionará que el aceite salpique. En todo momento deberá evitar la aeración. Se recomienda controlar los agitadores con un interruptor de llenado (flotadores o dispositivos de medición ultrasónica), a fin de que pueda detenerlos una vez que el aceite en el tanque haya llegado a cierta altura arriba de las aspas. La **Figura 4** muestra un ejemplo de un motor colocado en forma horizontal para mezclar.

Figura 3. Ejemplos de aspas de baja turbulencia y esfuerzo cortante para tanques de almacenamiento de aceite. (Fuente: J. Lechman, J&R Consultants, Ltd., Winnipeg, MB, Canada).

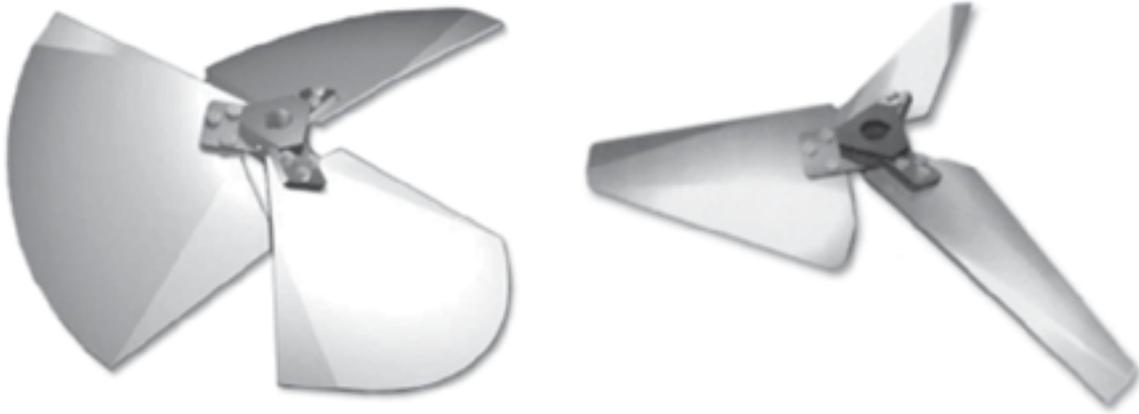


Figura 4. Ejemplo de un motor montado de forma horizontal para mezclado. (Fuente: J. Lechman, J&R Consultants, Ltd., Winnipeg, MB, Canada).



LLENADO MÁXIMO SUFICIENTE DEL TANQUE

Al llenar los tanques o los IBC para almacenar el aceite, es importante considerar el comportamiento expansivo del aceite con base en su temperatura al momento de vaciarlo al tanque. Cuando la temperatura aumenta, la densidad del aceite disminuye, y el volumen aumenta. Por lo tanto, los tanques para el almacenamiento del aceite deberán tener un nivel de “llenado máximo suficiente”, para dejar margen en caso de cambio en la densidad (coeficiente de expansión cúbica) a fin de evitar un sobrellenado o derrame debido a la expansión de los tanques de almacenamiento como resultado de los cambios de temperatura del aceite (**Figura 5**). De igual manera, los tanques y contenedores deberán contar con conductos de ventilación que los proteja de las presiones negativas y positivas.

Figura 5. Ejemplo de la medición externa del volumen de tanque existente (Fuente: J. Lechman, J&R Consultants, Ltd., Winnipeg, MB, Canada).



Figura 6. Ejemplo de la configuración de llenado inferior para tanques de almacenamiento de grasas y aceites. (Fuente: J.P. Burkhalter. 1976. J. Amer. Oil Chem. Soc., 53:332-333.)

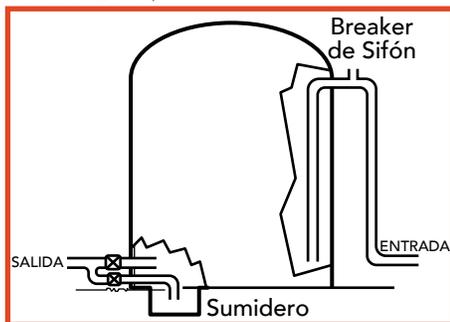
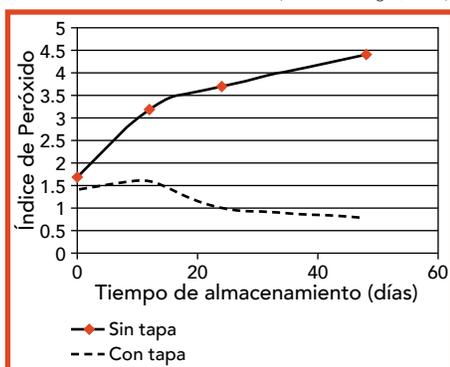


Figura 7. Efectos de usar un depósito cubierto para minimizar la oxidación del aceite. (Fuente: Berger, 1994).



LLENADO DEL TANQUE

Al llenar los tanques de aceite, es preferible llenarlo desde abajo y no desde arriba, pues así el aceite de soya no queda expuesto al aire al ir cayendo hacia un tanque vacío por la tubería superior (**Figura 6**). Los tanques vacíos contienen contaminantes atmosféricos, tales como el aire (oxígeno) y humedad (humedad ambiental). La fuerza de gravedad con la que cae el aceite de alta calidad desde arriba del tanque conduce a la oxidación y a la hidrólisis antes de que el tanque siquiera se haya llenado completamente. El aceite es altamente vulnerable a la oxidación al momento de llenar el tanque, dado que la superficie de todo el volumen de aceite que está siendo vaciado está aumentando exponencialmente; por lo que el uso de antioxidantes en esta situación minimizará su efectividad.

Después de haber terminado de llenar el tanque, evite introducir aire por las tuberías para retirar el aceite remanente. Además, evite soplar o lavar con vapor que no sea excepto nitrógeno. Si no cuenta con nitrógeno y requiere lavar el tanque, coloque estos materiales en un depósito de recolección de residuos a fin de evitar oxidar el aceite de alta calidad en el tanque. Si bien la eliminación del aire en el espacio superior de un tanque evita la oxidación, es impráctico eliminar completamente el aire. La solubilidad del oxígeno del aceite de soya es bastante elevada (2.1 mL/100 mL) de 22 a 23°C, y es suficientemente soluble para rendir un índice de peróxido de 18 mEq/kg (Aho y Wahlroos, 1967).

CUBIERTAS DE LOS TANQUES

Si bien la mayoría de los tanques de almacenamiento de grasas y aceites tienen cubiertas o tapas, algunos no. La **Figura 7** muestra los efectos de la oxidación (medidos como cambios en el índice de peróxido) cuando se usa una cubierta o tapa, en comparación cuando no es así (Berger, 1994). Los tanques siempre deberán tener una tapa, la cual deberá ser la correcta para que cierre perfectamente. El simplemente colocarla encima de la entrada del tanque no garantiza que el tanque quedará bien cerrado, especialmente bajo condiciones climáticas extremas (viento y lluvia).

APLICACIÓN DE NITRÓGENO

La principal causa de oxidación del aceite de soya es durante su manejo y almacenamiento. Por lo tanto, minimizar o eliminar la exposición del aceite de soya es fundamental para conservar su calidad durante mucho tiempo. Cuando el aceite es almacenado al vacío o con aire, la exposición es sustituida por gas nitrógeno y de esta forma no hay oxidación (Shahidi, 2005). Si bien no es práctico el almacenamiento al vacío a nivel comercial, el uso de gas nitrógeno para retirar y sustituir el aire en el espacio superior de los tanques de almacenamiento del aceite y desahogar las tuberías después del llenado, sirve para darle un nivel adicional de protección contra la oxidación. Este método es utilizado normalmente en el aceite de soya y otros aceites vegetales comestibles para minimizar la oxidación durante largos periodos de almacenamiento. Ha quedado demostrado que el desplazamiento del oxígeno (< 2%) en el espacio superior

del tanque o depósito de almacenamiento con nitrógeno o dióxido de carbono es efectivo para reducir la oxidación del aceite vegetal (Bishov et al., 1971). Por lo tanto, debería considerarse el uso de nitrógeno u otros gases inertes siempre que el aceite vaya a ser almacenado durante largos periodos de tiempo o expuesto a temperaturas sumamente calientes. Existe equipo comercial especializado para ser instalado en los tanques de almacenamiento de aceite.

Por lo general, el nitrógeno es aplicado por aspersión o recubrimiento. El nitrógeno por aspersión va incorporando al aceite micro burbujas de nitrógeno mientras éste va siendo vaciado al tanque (**Figura 8**); en tanto que el nitrógeno por recubrimiento va desplazando el aire en el espacio superior de los tanques de aceite (**Figura 9**). Cuando se utiliza el recubrimiento de nitrógeno, la presión dentro del tanque de almacenamiento de aceite se mantiene entre 2 y 15 libras por pulgada cuadrada (psi), la cual se ajusta de acuerdo con el volumen de aceite que haya en el tanque. Esto generalmente se logra usando un proceso completamente automatizado con salvaguardas que incluyen el uso de respiraderos reguladores de presión para permitir que el exceso de gas sea emitido a la atmósfera. Por lo general, puede conseguir el gas nitrógeno de proveedores locales, quienes lo surten en tanques de almacenamiento de nitrógeno. Otra alternativa sería comprar y utilizar en sitio un generador de nitrógeno para abastecerse de nitrógeno, según sea necesario. En cualquier caso, el gas nitrógeno debe ser altamente concentrado (99.998%), aunque hay algunos proveedores que lo abastecen con una pureza superior (99.999%), pero a mayor costo. Dado que la oxidación lipídica es un proceso irreversible, se recomienda la aspersión, recubrimiento de nitrógeno, o una combinación de ambos para proteger el aceite de soya de mayor oxidación al momento de entregarlo.

VACIADO DEL TANQUE

La gestión del inventario de diversos tanques de aceite es también importante para minimizar la exposición del aire en el espacio superior de los tanques individuales. La capacidad de almacenamiento del aceite en la planta de alimento balanceado deberá basarse en la rápida rotación del inventario (menos de una semana). El enfoque de la gestión del inventario de “primeras entradas, primeras salidas” es también fundamental para minimizar el tiempo de almacenamiento del aceite en tanques individuales. Una vez que el aceite va siendo retirado de un tanque, el proceso deberá continuar así hasta que el tanque esté vacío antes de comenzar a usar el aceite del siguiente tanque de almacenamiento. Esto es importante para minimizar la exposición del aire en el espacio superior durante la descarga del aceite, en particular si no se está utilizando gas nitrógeno para desplazar el aire. Otro punto para tomar en cuenta es la de contar con un tanque de “respaldo” que permita extraer cualquier aceite remanente de cualquiera de los principales tanques de almacenamiento de aceite, a fin de que el nuevo aceite que llegue no se vea comprometido por el aceite que pudiera existir en el tanque. Este procedimiento de manejo es importante, sobretodo

Figura 8. Ejemplo de una válvula para introducir gas nitrógeno durante el llenado del tanque de almacenamiento (Fuente: L. Inturrisi, Director Técnico, Mewah Oils, 10th AOCS Biennial Meeting – Lipid Analysis and Oxidation Short Course, Barossa Valley, S. Australia, September 11, 2017).

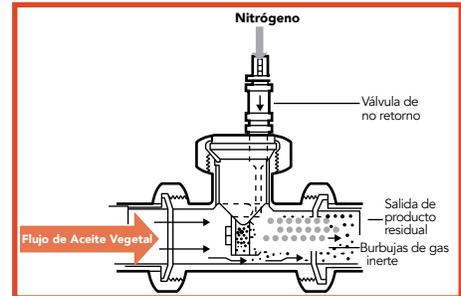


Figura 9. Sistema sencillo de recubrimiento de nitrógeno (Fuente: Bailey's Handbook - Storage, Handling, and Transport of Oils and Fats - Gary R. List, Tong Wang, and Vijai K.S. Shukla)

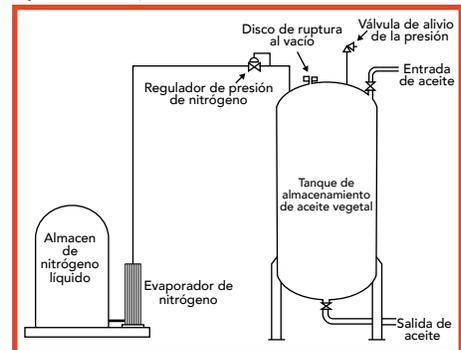


Tabla 2. Efectos de los metales sobre la estabilidad oxidativa del aceite de soya (índice de peróxido después de 20 horas de realizarse la prueba del método de oxígeno)

Iones metálicos	Concentración, ppm	Índice de Peróxido (mEq/kg)
Control	0.0	47
Fe ⁺⁺⁺	3.0	293
Mn ⁺⁺	3.0	85
Cu ⁺⁺	0.3	288

Fuente: Kemin Industries, Inc.

si no se limpia el tanque de almacenamiento regularmente, o si se utilizan tanques con fondo plano donde se acumula el sedimento.

EVITE UTILIZAR ACCESORIOS Y TUBERÍAS DE COBRE Y LATÓN

Tanto el cobre como el hierro son metales prooxidantes sumamente poderosos, los cuales están presentes de forma natural en pequeñas cantidades (2.5 ppb y 0.20 ppm, respectivamente) de aceite de soya refinado (De Leonardis y Macciola, 2002). Los estudios han demostrado que estos metales de transición promueven la oxidación (**Tabla 2**). Por lo tanto, el uso de accesorios, tuberías, o tubos de cobre y latón deben evitarse para el manejo de grasas y aceites, dado que promueven la oxidación. Entre los materiales seguros para el manejo del aceite de soya se encuentran: el neopreno, aluminio, acero al carbón, plástico y acero inoxidable.

Sin embargo, el uso de los agentes quelantes de metales tales como: ácido fosfórico, ácido cítrico, ácido ascórbico, y el EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) han mostrado que disminuyen la oxidación del aceite al convertir los iones del cobre y hierro en complejos insolubles entre metales y peróxidos lipídicos (Halliwell et al., 1995). De hecho, Min y Wen (1983) reportaron que al añadir cada vez más concentraciones de ácido cítrico al aceite de soya de forma lineal se disminuye la oxidación durante el almacenamiento, y que fue necesario agregar 150 ppm de ácido cítrico para impedir los efectos oxidativos de 1 ppm de hierro.

CÓMO MINIMIZAR UNA MAYOR EXPOSICIÓN TÉRMICA

Aún cuando en la mayoría de las condiciones prácticas es difícil minimizar la exposición a temperaturas ambientes, que son las que ocasionan la oxidación, es posible implementar algunos aspectos sencillos de manejo. Siempre que sea posible, mantenga los tanques de almacenamiento del aceite en bodegas o lugares bajo techo a fin de evitar exponerlos directamente al sol o al calor. De igual forma, pinte la parte exterior de los tanques donde se guarda el aceite de color blanco u otros colores claros, con objeto de reflejar el calor en vez de absorberlo, como es el caso cuando se usa el negro u otros colores oscuros. A nivel comercial, existen recubrimientos reflejantes que minimizan la penetración del calor hacia el aceite almacenado en el tanque, ya que hace que la superficie del tanque esté más fresca.

ANTIOXIDANTES COMERCIALES

Uno de los muchos atributos del aceite de soya es que contiene cantidades relativamente altas de tocoferoles y tocotrienoles, que sirven como antioxidantes naturales, en comparación con otras grasas y aceites. Por ende, estos antioxidantes naturales inicialmente se utilizan para prevenir la del aceite de soya hasta que se agotan. La **Tabla 3** muestra que la actividad del aceite de soya contenía 1,500 ppm de tocoferoles naturales ofrece una cantidad importante de protección anti oxidativa, comparado como cuando se

usa negro de carbón para retirar los tocoferoles del aceite (45 ppm; Frankel et al., 1959). Sin embargo, puede presentarse rápidamente un agotamiento de tocoferoles naturales en el aceite de soya, por lo que fue necesario utilizar antioxidantes sintéticos comerciales a fin de evitar mayor oxidación del aceite de soya.

Existen en el mercado muchos antioxidantes sintéticos que han demostrado ser eficientes para prevenir una mayor oxidación del aceite de soya. Los ingredientes activos comunes en estos antioxidantes comerciales incluyen la etoxiquina, la terbutil hidroquinona (TBHQ), el hidrobutilanol (BHA), el butil hidroxitolueno (BHT), propilo galato, ácido ascórbico o palmitato y ácido cítrico. Sin embargo, es importante seleccionar el antioxidante adecuado para ser añadido al aceite de soya porque estos productos varían en su efectividad entre los diversos tipos de grasas y aceites. Tal y como se muestra en la **Tabla 3**, la mayor protección (horas antes de alcanzar un índice de peróxido constante) contra la oxidación del aceite de soya fue cuando se agregó 0.57 mmol/kg de aceite de ácido ascórbico y 0.01% de ácido cítrico, solos o en combinación con BHA, BHT, o α -tocoferol. La **Tabla 4**, muestra otra comparación de la efectividad de los antioxidantes comerciales en el aceite de soya con base en el grado de exposición térmica. Es de observar que el TBHQ y el palmitato ascorbilo fueron los más eficaces para prevenir la oxidación del aceite de soya a 45°C; en tanto que el ácido ascórbico y el TBHQ fueron los más eficaces a 98°C. Azeredo et al. (2004) evaluaron el grado de oxidación del aceite de soya refinado durante un periodo de almacenamiento de 6 meses a 25°C bajo una iluminación constante (1720 lux) al combinar distintos antioxidantes primarios (TBHQ, β -caroteno, ácido cítrico) con el aceite o utilizando un absorbente de luz ultravioleta (Tinuvín P) en botellas de PVC. Los resultados mostraron que el TBHQ fue más eficaz, seguido por el Tinuvín P en reducir la oxidación del aceite de soya; además, el Tinuvín P evita que el aceite cambie de color. Consulte a su proveedor de antioxidantes para conocer cuáles son los más adecuados de acuerdo con sus condiciones climáticas, así como las dosis recomendadas.

De igual forma, es importante asegurarse que cuando se añadan los antioxidantes al aceite de soya a los tanque de almacenamiento, esto se haga de forma uniforme y que el mezclado sea homogéneo a fin de maximizar su efectividad. No se recomienda agregar los antioxidantes encima del aceite ya en el tanque, a menos que cuente con agitadores de baja velocidad para el mezclado, dado que los antioxidantes no se dispersan homogéneamente dentro de la masa de aceite debido a la diferencia en densidad volumétrica y otras propiedades químicas que existe entre los dos líquidos. Por lo tanto, se recomienda utilizar medidores de flujo y controladores de dosificación en las tuberías de entrada y salida para que haya una aplicación y mezclado uniforme de los antioxidantes con aceite de soya y así lograr la máxima efectividad.

Tabla 3. Efectos de los diversos antioxidantes e inactivadores de metales sobre la oxidación del aceite de soya (adaptado de Frankel et al., 1959)

Antioxidante(s)	Actividad Antioxidante ¹
Control (1,500 ppm de tocoferol)	26
C-tratado ² (45 ppm de tocoferol)	17
C-tratado + ácido ascórbico ³	43
C-tratado + BHA ^{3,4}	18
C-tratado + BHA + 0.01% de ácido ascórbico ³	56
C-tratado + BHT ^{3,5}	23
C-tratado + BHT + 0.01% de ácido cítrico ³	53
C-tratado + ácido cítrico ³	50
C-tratado + propilo galato	26
C-tratado + α -tocoferol	21
C-tratado + α -tocoferol + 0.01% de ácido cítrico	53

¹Horas basado en el índice de peróxido del aceite de soya.

²Aceite tratado con negro de carbón para eliminar los tocoferoles naturales, parcialmente.

³La concentración de antioxidantes fue de 0.57 mmol/kg de aceite.

⁴BHA = hidrobutilanol.

⁵BHT = butil hidroxitolueno.

Tabla 4. Efecto de los distintos antioxidantes sobre la oxidación of aceite de soya (adaptado de Cort, 1982)

Antioxidante (0.02%)	Actividad Antioxidante ¹	
	45°C ²	98°C ³
Control (sin antioxidante añadido)	168	5
Ácido ascorbilo	288	43
Palmitato de ascorbilo	456	13
Hidrobutilanol (BHA)	216	9
Butil hidroxitolueno (BHT)	240	11
Propilo galato	360	14
Terbutil hidroquinona (TBHQ)	544	28

¹Horas para alcanzar un índice de peróxido de 70.

²Oxidación al 45°C como una capa fina de aceite.

³Oxidación al 98°C bajo condiciones AOM.

REMOCIÓN DE SEDIMENTOS

Independientemente de la Fuente de grasa o aceite que se utilice, habrá una cantidad de impurezas insolubles que causan sedimentos y promueven la oxidación. Por lo tanto, se deben instalar sistemas de filtración que deben limpiarse semanalmente al momento de llenar los tanques de aceite, así como cuando el aceite es extraído para ser añadido a los alimentos terminados en la planta de alimento balanceado. Este método es relativamente económico y eficaz para prevenir una mayor oxidación del aceite y disminuir el tiempo de limpieza de los tanques de almacenamiento, tuberías y aditamentos. Los filtros (cedazos) deberán estar colocados en dos sitios del sistema de manejo y almacenamiento del tanque de aceite. Uno de los filtros deberá estar colocado en el primer punto de contacto entre el aceite entrante y el sistema del tanque; esto para contar con una primera línea de filtración contra contaminantes que pudieran provenir de la parte exterior del sistema. Un segundo filtro que deberá estar colocado en el primer punto del sistema de descarga del tanque antes de entrar a la planta de alimentos, de los camiones cisterna de llenado, los IBC y los tanques de respaldo. Dado que la oxidación y la hidrólisis del aceite generan sedimentos, la filtración del aceite descargado brinda un valor agregado al mantener la planta de alimentos y el sistema de distribución limpios. La **Figura 10** muestra ejemplos de los típicos filtros de canasta de acero inoxidable.

Figura 10. Filtro de canasta de acero inoxidable cerrado (izquierda), filtro de canasta expuesto donde el filtro está dentro de la cavidad (centro), vista externa del filtro expuesto (derecha).



Figure 11. Example of sediment collected from an oil storage tank. (Source: J. Lochman, I&P Consultants)



LIMPIEZA DE LOS TANQUES

Dependiendo de la rotación de inventario de lípidos en tanques de almacenamiento individuales, los tanques deberán limpiarse por lo menos cada 3 meses para retirar el sedimento de las paredes y de los fondos antes de que se verter un nuevo lote de aceite. La **Figura 11** muestra un ejemplo del sedimento recolectado de un tanque de almacenamiento de aceite después de varios meses. Existen en el mercado productos especializados de limpieza para usarse en grasas y aceites específicos. Los diversos tipos de aceites vegetales son clasificados con base en sus propiedades secantes, no secantes, o semi secantes, las cuales inciden en el tipo de producto de limpieza para lograr una limpieza completa y eficaz. Los aceites como el de coco, la palma, coquito de palma y de oliva tienen valores de yodo de menos de 110 y se clasifican como aceites no secantes. Los aceites semi-secantes, tienen valores de yodo entre 110 y 140, en tanto que los aceites secantes, como el aceite

de soya tienen un valor de yodo entre 140 y 190, y generan residuos sólidos sobre las superficies de los tanques de almacenamiento de aceite que son difíciles de remover.

Los distintos productos de limpieza que existen en el mercado adecuados para el aceite de soya pueden aplicarse utilizando un aspersor manual o una lavadora eléctrica con boquilla para espuma a todas las superficies de los tanques de almacenamiento de aceite. Las recomendaciones de los productos de limpieza más eficaces y sus condiciones de uso en tanques de aceite de soya pueden conseguirse de fabricantes y proveedores reconocidos. Para ciertos productos de limpieza, algunos fabricantes recomiendan iniciar con agua a que tenga una temperatura más fresca y que gradualmente se vaya incrementando la temperatura del agua mediante una aspersión presurizada repetitiva sobre la superficie interna del tanque. Sin embargo, es importante observar que tanto la sosa cáustica como los limpiadores ácidos se usan en tándem (separadamente) para ir degradando los distintos compuestos en todas las paredes del equipo. Estos mismos productos de limpieza también deberán ser utilizados para limpiar tuberías, aditamentos y filtros, los cuales forman parte del sistema de distribución de aceite.

RESUMEN

La producción de aceite de soya crudo y desgomado de Estados Unidos redonda en un aceite de alta calidad, el cual se oxida al mínimo para ser utilizado en dietas para cerdos y aves. Sin embargo, debido a que el aceite de soya contiene altas cantidades de ácidos grasos poliinsaturados es altamente susceptible a la oxidación durante el transporte desde la planta donde se produce hasta el almacén de las plantas de alimento balanceado, y cuando se incorpora a los alimentos balanceados que son llevados a las áreas de producción. Para conservar la alta calidad y el valor energético del aceite de soya de Estados Unidos, deberán considerarse diversos diseños para el almacenamiento del aceite y factores de distribución para minimizar su exposición al aire, la luz y los metales de transición para reducir la oxidación a lo largo de este proceso y capturar el máximo valor económico y nutricional. El primer factor por considerar es conocer la fuente de su aceite de soya y cuál es su manejo desde la producción hasta la entrega. Una vez que el aceite de soya ha sido entregado se deberán implementar diversos pasos de manejo para evitar la oxidación del aceite hasta que sea incorporado al alimento de los animales. Los factores de diseño incluyen la óptima configuración para descargar el aceite desde abajo, consideraciones para usar agitadores mecánicos, tapas para los tanques y evitar usar aditamentos y tuberías de cobre y latón. El manejo adecuado deberá incluir el uso de nitrógeno para desplazar el aire en el espacio superior del tanque, minimizar la exposición del exceso de calor, el uso de antioxidantes comerciales, remover los sedimentos con filtros en línea, manejar un inventario de “primeras entradas-primeras salidas”, usar tanques de “reemplazo” para retirar el aceite remanente antes de llenarlo con aceite fresco y limpiar el tanque. Si se cumplen todos estos factores de diseño y manejo, se pueden obtener todos los beneficios que brinda el aceite de soya de Estados Unidos de alta calidad en programas de alimentación de cerdos y aves. El apéndice “Guía y Lista de Control del Aseguramiento de Calidad del Aceite de Soya Crudo de Estados Unidos” que aparece en este capítulo puede ser utilizado como una excelente guía para identificar las oportunidades para mejorar el manejo de la calidad del aceite de soya en las plantas de alimentos para animales.

RECONOCIMIENTO

Deseamos expresar nuestro profundo agradecimiento y reconocimiento por las invaluable contribuciones del Sr. Jeremiah Lechman, Director de Nutrición – Porcina y Avícola, J & R Livestock Consultants, Ltd., Winnipeg, MB, Canada, en la redacción de este capítulo y elaboración de la Guía y Lista de Control que aparece en el Apéndice de este capítulo.

REFERENCIAS

Aho, L., and Ö. Wahlroos. 1967. A comparison between determinations of the solubility of oxygen in oils by exponential dilution and chemical methods. 44:65-66.

Azeredo H.M.C., J.A.F. Faria, M. Aparecida, and A.P. da Silva. 2004. Minimization of peroxide formation rate in aceite de soya by antioxidant combinations. Food Res. Int. 37:689-694.

- Bansal, G., W. Zhou, P.J. Barlow, 2010. Review of rapid tests available for measuring the quality changes in frying oils and comparison with standard methods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutri.* 50:503-514.
- Berger, K.G. 1994. Practical measure to minimize rancidity in processing and storage. In: *Rancidity in Foods*, J.C. Allen and R.J. Hamilton, Eds. Blackie Academic and Profession, Glasgow, pp. 70-75.
- Bishov, S.J., A.S. Henick, J.W. Giffie, I.T. Nii, P.A. Prell, and M. Wolf. 1971. Quality and stability of some freeze-dried foods in "zero" oxygen headspace. *J. Food Sci.* 36:532-535.
- Cabiscol, E., J. Tamarit, and J. Ros. 2010. Oxidative stress in bacteria and protein damage by reactive oxygen species. *Inter. Microbiol.* 3:3-8.
- Coltro, L.B., M. Padula, E. Segantini Saron, J. Borghetti, and A.E. Penteadó Buratin. 2003. Evaluation of a UV absorber added to PET bottles for edible oil packaging. *Packaging Technol. Sci.* 16:15-20.
- Cort, W.M. 1982. Antioxidant properties of ascorbic acid in foods. *Adv. Chem. Ser.* 200:533-550.
- De Leonardis, A., and V. Macciola. 2002. Catalytic effect of the Cu(II)- and Fe(III)-cyclo-hexanebutyrates on olive oil oxidation measured by Rancimat. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 104:156-160.
- Frankel, E.N., P.M. Cooney, H.A. Moser, J.C. Cowan, and C.D. Evans. 1959. Effect of antioxidants and metal inactivators in tocopherol-free aceite de soya. *Fette Seifen, Anstrichm.* 10:1036-1039.
- Going, L.H. 1968. Oxidative deterioration of partially processed aceite de soya. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 45:632-634.
- Gupta, M.K. 2017. *Practical Guide to Vegetable Oil Processing*, 2nd ed., AOCS Press. <https://doi.org/10.1016/B978-1-63067-050-4.00018-0>
- Halliwell, B., M. Antonia Murcia, S. Chirico, and O.I. Aruoma. 1995. Free radicals and antioxidants in food and in vivo: What they do and how they work. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 35:1-2, 7-20.
- Li, Y., W.-J. Ma, B.-K. Qi, S. Rokayya, D. Li, J. Wang, H.-X. Feng, X.-N. Sui, and L.-Z. Jiang. 2014. Blending of aceite de soya with selected vegetable oils: Impact on oxidative stability and radical scavenging activity. *Asian Pac. J. Cancer Prev.* 15:2583-2589.
- Min, D.B., and J. Wen. 1983. Effects of citric acid and iron levels on the flavor quality of oil. *J. Food Sci.* 48:791-793.
- Mistry, B.S., and D.B. Min. 1987. Effects of fatty acids on the oxidative stability of aceite de soya. *J. Food Sci.* 52:831-832.
- Pascall, M., B.R. Harte, J.R. Giacín, and J.I. Gray. 2006. Decreasing lipid oxidation in aceite de soya by a UV absorber in the packaging material. *J. Food Sci.* 60:1116-1119.
- Rawls, H.R., and P.J. Van Santen. 1970. A possible role for singlet oxygen in the initiation of fatty acid autoxidation. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 47:121-125.
- Shahidi, F. 2005. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, 6th Ed., F. Shahidi, ed. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Su, C. 2003. Fatty acid composition of oils, their oxidative, flavor and heat stabilities and the resultant quality in foods. Ph.D. Dissertation, Iowa State University, Ames.

APÉNDICE

Lista de Verificación de Adquisiciones de Lípidos - USSEC						Fecha:
Evaluación de las Adquisiciones						
Tipo de producto y nombre:	Aceite Vegetal	Grasa Animal	Mezcla	Otro		
¿Se entregaron las especificaciones y el certificado de análisis del producto?	Sí		No			
¿Las especificaciones del producto están aprobadas por el departamento de nutrición?	Sí		No			
Evaluación de riesgos:	Alto	Medio	Bajo			
Tiempo de tránsito esperado desde el punto de origen hasta el lugar de destino:						
¿Se aplicó un antioxidante antes de salir de las instalaciones del proveedor?	Sí		No			
En caso afirmativo, ¿cuál es el nombre del producto, tipo y dosificación?						
Evaluación del Envío						
Factores de riesgo:	Temperatura	Tiempo	Contaminación	Aire	Humedad	
Transporte:	Buque	Camión Cisterna	Contenedor	Contenedor IBC / Contenedor		
¿Su pedido llenó el tanque de transporte?	Sí		No			
En caso negativo, ¿cuál es la diferencia con respecto a la capacidad total?	<50%		<75%			
Manejo del espacio de cabeza:	Lleno	Inertización con Nitrógeno	Ninguno			
¿Se utilizaron sistemas de medición de temperatura en ruta?	Sí	No	N/A			
¿Hubo picos de temperatura durante el transporte?	Sí	No	N/A			
¿Se cuenta con un registrador de datos de temperatura?	Sí	No	N/A			
¿La línea de descarga del tanque se enjuaga antes de vaciarlo?	Sí	No	N/A			
¿Esa misma línea se purga con nitrógeno antes de descargar?	Sí	No	N/A			
¿Cuál es el protocolo de limpieza para el tanque de los vehículos de transporte?						
¿El puerto de descarga del tanque se encuentra en el punto más bajo posible (remolque)?	Sí	No	N/A			
Evaluación de la Recepción						
¿Cuáles tanques receptores se limpiaron antes de la entrega?	Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3	Tanque 4	Tanque 5	Colector
¿Se utilizó un desengrasante o descalcificador para limpiarlos?	Sí		No			
¿Cuál es el nombre del producto usado para limpiar los tanques?						
Después de limpiar el tanque, ¿cómo se seca y prepara para llenarlo?	Aire Caliente	Aire Atmosférico Soplado	Cobertura con Nitrógeno	Nada		
¿Existen filtros para el ingreso y extracción del producto?	Sí- Ingreso	No- Ingreso	Sí- Extracción	No- Extracción		
¿Con qué frecuencia se limpian los filtros?						
¿Cómo se llena el tanque?	Parte superior		Parte inferior			
¿Cuál es el volumen o la presión de la bomba que se usa para llenar los tanques?						
¿Cuánto tiempo tardó en recibir su pedido? ¿Qué volumen recibió?						
¿Es necesario enjuagar las líneas de recepción después de la descarga?	Sí		No			
En caso afirmativo, explique cómo se hace.						
¿El producto del pedido anterior (remanente) permanece en el tanque o se mezcla?	Sí		No			

Receiving Assessment				
¿El producto remanente se pasa a otro tanque antes de volverlo a llenar?		Sí	No	
En caso afirmativo, ¿cuál es el identificador del tanque?				
¿La <u>apar</u> encia del nuevo producto recibido coincide con la de muestras anteriores?		Sí	No	
¿El <u>olor</u> del nuevo producto recibido coincide con el de muestras anteriores?		Sí	No	
¿Su personal está enterado de los protocolos adecuados para tomar y manipular muestras de aceite?		Sí	No	
¿Se retuvo una muestra al <u>inicio</u> de la recepción?		Sí	No	
¿Se retuvo una muestra al <u>final</u> de la recepción?		Sí	No	
¿Cuál fue la temperatura del producto en el momento de la entrega?				
¿Las conexiones y tuberías relacionadas están instaladas con materiales aprobados?		Sí	No	Accesorios de Cobre / Hierro / Bronce Identificados
Tanque de Recepción / Toma de Muestras de Producto				
Identificador de Tanque	# de Seguimiento de Recepción	¿Dónde se tomó la muestra?	# de Seguimiento de Sobrante	¿Dónde se tomó la muestra?
Tanque 1				
Tanque 2				
Tanque 3				
Tanque 4				
Tanque 5				
Evaluación del Almacenamiento				
¿Dónde se ubican los tanques en que se almacena el aceite?		Interiores	Exteriores	Bajo Tierra
Si los tanques están en el exterior, ¿se encuentran fuera de la luz directa del sol?		Sí	No	N/A
¿Cómo están colocados los tanques?		Horizontalmente		Verticalmente
¿Los tanques tienen forma de silo o tienen el mismo ancho y alto?		Más Altos que Anchos		Igual de Anchos que Altos
¿Cuáles son las dimensiones y volúmenes de los tanques?				
¿Cuál es el color exterior de los tanques?		Blanco	Negro	Otro
¿Hay un espacio de cabeza significativo en el tanque cuando no está lleno?		Sí	No	
¿Los tanques cuentan con aislamiento de la temperatura del aire exterior?		Sí	No	
¿El puerto de limpieza de descarga se encuentra en el punto más bajo (sumidero) del tanque?		Sí	No	
¿El puerto de extracción del producto es más alto que el puerto de drenado, o tienen la misma altura?		Sí	No	Igual
¿Dónde se localizan los puertos para la toma de muestras en los tanques?		En el Fondo	1/3 del Fondo	En medio 1/3 del Tope Superior
¿Los tanques están hechos de un material aprobado?		Sí	No	
¿Los tanques cuentan con termostatos internos precisos?		Sí	No	
¿Existe un dispositivo para medir el nivel de llenado del tanque?		Sí	No	
¿Cuál es el espacio de cabeza promedio del tanque después del llenado?		>50%	<50%	<75% Ninguno - Completo
¿Se utiliza aspersión o inertización con nitrógeno?		Inertización	Aspersión	Ninguno
¿Hay agitadores en los tanques?		Sí	No	
En caso afirmativo, ¿cuál es la altura de los agitadores?				
¿Cómo se controlan los agitadores?		Manualmente	Automatizados	No Hay Agitadores
¿Las hélices de los agitadores están diseñadas para reducir salpicaduras y turbulencias?		Sí	No	
¿Se adicionan antioxidantes complementarios?		Sí	No	
En caso afirmativo, ¿cómo se agrega el antioxidante al sistema?				
¿Cuál es el nombre del producto antioxidante?				

Evaluación del Almacenamiento		
Si se agrega antioxidante, ¿cuál es la dosis de adición por tonelada?		
¿Se ha verificado el procedimiento de adición del antioxidante?	Sí	No
¿Cuál es la longitud de las líneas de descarga del tanque?		
¿Las líneas de descarga del tanque cuentan con protección de temperatura?	Sí	No
¿Hay válvulas de retención en funcionamiento?	Sí	No
¿Las tapas de los tanques están cerradas adecuadamente?	Sí	No
¿Hay algún punto por el que pueda entrar aire y humedad al sistema?		
Decisiones Complementarias		
¿Su gerente de adquisiciones tiene una copia de este documento?	Sí	No
¿Su nutriólogo tiene una copia de este documento?	Sí	No
Notas Especiales:		
		

Tipo de productos que se utilizan: <i>por ejemplo, aceite vegetal, grasa animal, mezcla, ácido graso</i>	1)				
	2)				
Etiqueta - Producto 1	Sí	No	Nombre del producto del proveedor - Producto 1)	Sí	No
Etiqueta - Producto 2	Sí	No	Nombre del producto del proveedor - Producto 2)	Sí	No
Tiempo de tránsito esperado desde el punto de origen hasta el lugar de destino, Producto 1)			Tipo de Transporte, Producto 1)		
Tiempo de tránsito esperado desde el punto de origen hasta el lugar de destino, Producto 2)			Tipo de Transporte, Producto 2)		
Antioxidante aplicado antes del envío, Producto 1			Dosis de aplicación, Producto 1)		
Antioxidante aplicado antes del envío, Producto 2			Dosis de aplicación, Producto 2)		

Fecha de Toma	Nombre	# de Seguimiento	Nombre de la Muestra	Empresa	Temperatura	Estado	Anti-oxidante	Índice de Peróxido (meq)	Ácidos Grasos Libres	Índice de Anisidina	Notas
4-05-2019	John Doe	98764	Grasa Amarilla	XYZ	30	Vacío	No	5	15		
4-20-2019	John Doe	98764	Grasa Amarilla	XYZ	30	Recibido	No	5	15		
5-25-2019	John Doe	98764	Grasa Amarilla	XYZ	33	Almacenado	No	15	35		
6-27-2019	John Doe	98765	Grasa Amarilla	XYZ	30	Vacío	No	4	15		
6-28-2019	John Doe	98765	Grasa Amarilla	XYZ	30	Recibido	No	7	20		
7-25-2019	John Doe	98765	Grasa Amarilla	XYZ	33	Almacenado	No	20	40		
2-01-2019	John Doe	123455	Aceite de Soya	ABC	30	Recibido	Sí	1	1		
2-15-2019	John Doe	123455	Aceite de Soya	ABC	30	Almacenado	Sí	1	2		
3-15-2019	John Doe	123455	Aceite de Soya	ABC	30	Vacío	Sí	3	5		
4-22-2019	John Doe	123456	Aceite de Soya	ABC	30	Recibido	Sí	1	1		
5-05-2019	John Doe	123456	Aceite de Soya	ABC	30	Almacenado	Sí	2	5		
6-20-2019	John Doe	123456	Aceite de Soya	ABC	30	Vacío	Sí	11	7		



Capacidad, Inventario y Uso de Antioxidante

Proceso de 3 pasos para saber lo siguiente...

- 1) Capacidad Instalada
- 2) Inventario
- 3) Requerimientos de Antioxidante

1) Capacidad Instalada

Identificador de Tanque	Altura	Diámetro	Volumen m ³ sin incluir el cono	Capacidad a Baja Temperatura (toneladas) 20.0° C	Capacidad a Alta Temperatura (toneladas) 35.0° C
T1 - CD-SBO	14.00	7.00	538.78	494.71	490.03 1
T2 - CD-SBO	12.00	6.00	339.29	311.54	308.59 1
T3 - CD-SBO	12.00	6.00	339.29	311.54	308.59 1
T4 - YG	12.00	6.00	339.29	311.54	308.59 1
T5 - YG	12.00	6.00	339.29	311.54	308.59 1
Totales			1,895.95 m ³	1,740.86 toneladas	1,724.41 toneladas

2) Inventario

Identificador de Tanque	Capacidad (toneladas)	Toneladas Sobrantes	Porcentaje de Capacidad	Tonelaje Disponible para Llenado	Toneladas Dirigidas al Tanque	Porcentaje de Capacidad
T1 - CD-SBO	490.03	0.00	0.00 %	490.03	485.00	98.97 %
T2 - CD-SBO	308.59	20.00	6.48 %	288.59	285.00	98.76 %
T3 - CD-SBO	308.59	0.00	0.00 %	308.59	305.00	98.84 %
T4 - YG	308.59	3.00	0.97 %	305.59	300.00	98.17 %
T5 - YG	308.59	5.00	1.62 %	303.59	300.00	98.82 %

3) Requerimientos de Antioxidante

Dosis de Adición de Antioxidante (kg/Tm) 2.00

Identificador de Tanque	Toneladas Totales en el Tanque	Antioxidante Requerido por Tanque
T1 - CD-SBO	485.00	970.00
T2 - CD-SBO	285.00	570.00
T3 - CD-SBO	305.00	610.00
T4 - YG	300.00	600.00
T5 - YG	300.00	600.00

requerimiento total de antioxidante en kilogramos: 3,350.00

Recomendaciones de Aplicación

	<10°C	10°C - 25°C	>25°C
Alimento Terminado	100-200 g/MT	150-300 g/MT	250-500 g/MT
Premezclas	750-1250 g/MT	1250-1750 g/MT	1750-2250 g/MT
Grasas	1000-1750 g/MT	1750-2500 g/MT	2500-3500 g/MT
Harinas	1750-2500 g/MT	2500-3250 g/MT	3250-4000 g/MT

* La C indica la temperatura ambiente

** Las dosis antes indicadas son para matrices y condiciones de humedad típicas. Póngase en contacto con su representante de servicio técnico de Novus para obtener una dosis personalizada optimizada para sus necesidades y matrices.

Reglas para Obtener Resultados más Consistentes de sus Muestras

Tome su muestra de un puerto de descarga limpio.

Evite que contaminantes externos del puerto de descarga produzcan valores analíticos tergiversados. Tómese el tiempo para limpiar el área de la que tomará la muestra. No toque el interior del recipiente en el que colocará la muestra, ni la muestra en sí, para evitar una posible contaminación. Etiquete previamente sus recipientes de manera que mantenga su visibilidad bajo diversas condiciones.

Mantenga las muestras de lípidos en un recipiente de vidrio o contenedor no transparente (opaco).

Factores de oxidación como el oxígeno, la luz y el calor pueden alterar la química de la muestra. Recuerde que una muestra es representativa de todo el lote de aceite, y se ajustará a las condiciones atmosféricas de forma más agresiva, lo que podría producir resultados analíticos inexactos. Son preferibles los recipientes de vidrio porque no se expanden cuando se congelan. Algunos contenedores de plástico tienen películas de filtro UV como parte de su diseño para bloquear la luz. También se puede bloquear la luz en recipientes de vidrio colocándolos en bolsas de papel kraft.

Almacene las muestras de lípidos en el refrigerador o congelador.

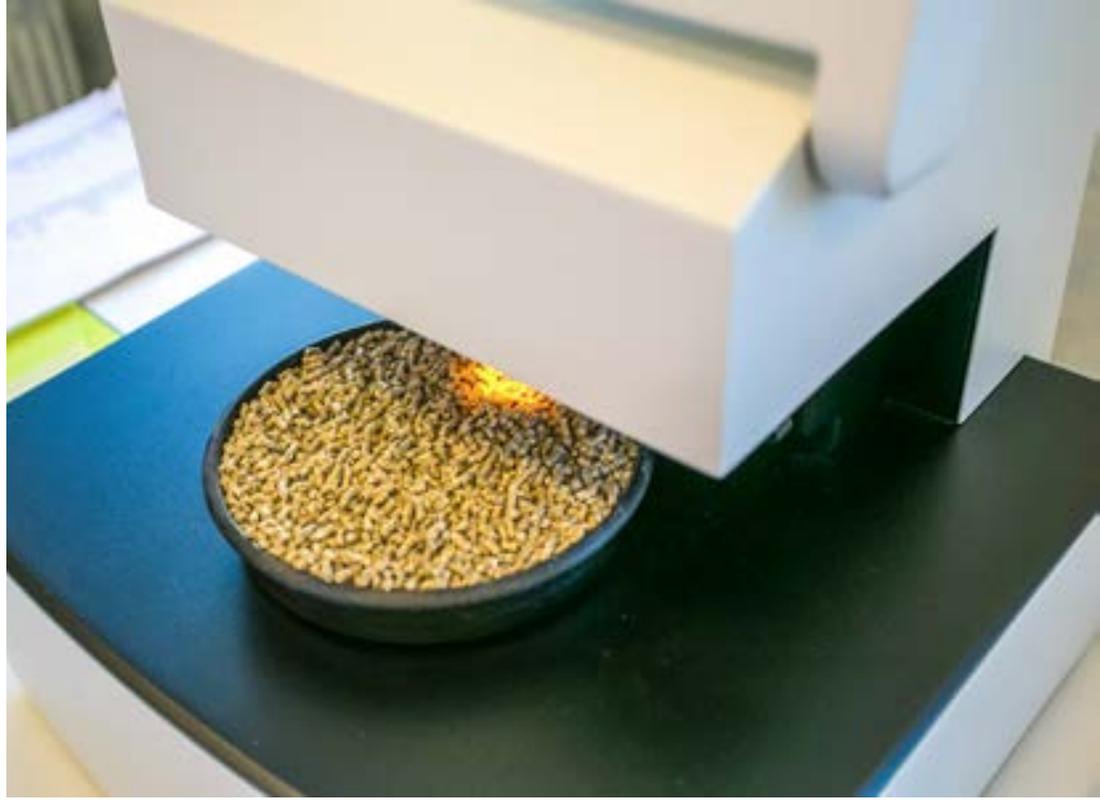
Debido a que las muestras de aceite permanecen en un estado de constante oxidación, es primordial almacenarlas en un ambiente que permita reducir al mínimo cualquier oxidación adicional hasta ser analizadas. Los resultados analíticos obtenidos son un reflejo directo de la forma en que se almacenó el producto antes de su análisis. La forma preferible para almacenar muestras de lípidos hasta ser analizadas es la congelación, aunque refrigerarlas siempre es mejor que mantenerlas a temperatura ambiente.

Asegúrese de que las muestras se tomen, almacenen y envíen a analizar de manera oportuna.

Los laboratorios de análisis generalmente no tienen información sobre cómo se tomaron y almacenaron las muestras de lípidos antes de recibirlas. Cuando mande muestras a un laboratorio comercial siempre indique cómo quiere que las almacenen antes de analizarlas. Si esta opción no es posible, envíe las muestras únicamente a principios de semana para prevenir que la integridad de su muestra se vea comprometida por permanecer almacenada durante un fin de semana antes de que pueda realizarse el análisis. Esta misma estrategia debe aplicarse para su transporte. No permita que las muestras permanezcan durante una noche o un fin de semana en los camiones o en la oficina. La exposición a cualquier condición ambiental después de la congelación solo dará como resultado un valor reportado diferente al de las condiciones de oxidación al momento de la toma de la muestra.

Asegúrese de que el equipo de análisis esté calibrado.

Inclusive las mejores muestras pueden ser tergiversadas si los métodos de análisis son inapropiados. Siempre asegúrese que se utilicen procedimientos aprobados por la AOCS (Sociedad Americana de Químicos de Aceites) y que se especifiquen en el informe del análisis, además de solicitar documentación pertinente que indique que el equipo empleado se calibró adecuadamente. Evite usar los resultados de NIR (Espectroscopia de Infrarrojo Cercano) para determinar la composición de lípidos, a menos que el laboratorio de análisis proporcione información suficientemente detallada para verificar la precisión de las calibraciones y los resultados. Si se utiliza un equipo para pruebas fotométricas, analice una muestra de control conocida para verificar la precisión de las lecturas.



Capítulo

07

**Papel del Aceite de Soya Estadounidense en la
Manufactura de Alimentos de Alta Calidad**

INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos de alta calidad para cerdos y aves es esencial para lograr una óptima nutrición, y la adición de aceite de soya como una fuente suplementaria de energía a los alimentos para animales juega un papel importante en éstos procesos. Los alimentos para cerdos son producidos en forma de harinas o son peletizados, especialmente las dietas para cerdos destetados o si los alimentos terminados deben ser transportados largas distancias de la fábrica de alimentos a la granja. En contraste, para los pollos de engorde y gallinas de postura, los alimentos son peletizados.

Para los alimentos en harina, el aceite de soya ha mostrado ser efectivo en reducir los niveles de polvo en las fábricas de alimento y en las instalaciones de confinamiento de los cerdos. El control del polvo es esencial para minimizar los efectos adversos sobre la salud respiratoria en humanos trabajando en éstas instalaciones, así como para los animales en confinamiento en áreas de producción. Además, el minimizar el polvo en las fábricas de alimento prolonga la longevidad y funcionalidad del equipo con el paso del tiempo, y reduce los costos de mantenimiento y reemplazo.

El peletizado es el proceso térmico utilizado para la producción de alimentos para cerdos (Miller, 2012) y aves (Abdollahi et al., 2013). En comparación con el alimento en harina, las dietas peletizadas proveen varias ventajas incluyendo una mayor densidad aparente para reducir el espacio de almacenamiento, mejorar las características de manejo, junto con una reducción en el polvo, segregación de ingredientes durante el transporte, patógenos y el sorteado de grandes partículas que pueden ocurrir al alimentar en forma de harinas (Abdollahi et al., 2012; NRC, 2012). Además, el peletizado de las dietas también mejora la conversión alimenticia debido a la reducción en la pérdida de alimento y al incremento en la digestibilidad de la energía y los nutrientes (Richert y DeRouchey, 2010; NRC, 2012). Sin embargo, la adición de aceite de soya a las dietas peletizadas puede reducir el índice de durabilidad del pellet (PDI) si no es manipulado adecuadamente. Una reducción significativa del PDI está usualmente asociada con un incremento de finos y puede conllevar a un desempeño en crecimiento sub-óptimo en cerdos y en aves. Por lo tanto es importante entender los efectos del aceite de soya sobre la calidad del pellet y los enfoques que pueden ser utilizados para optimizar la calidad del pellet cuando se incluye aceite de soya en la formulación del alimento.

LA ADICIÓN DE ACEITE DE SOYA A DIETAS EN HARINA REDUCE SIGNIFICATIVAMENTE EL POLVO EN LAS PLANTAS DE ALIMENTO Y EN LAS INSTALACIONES DEL CONFINAMIENTO

Las plantas de alimento generan una tremenda cantidad de polvo procedente de varios procesos incluyendo la reducción en el tamaño de partícula (molido) del grano, mezclado de ingredientes, movimientos a través de una tolva y transportadora y cargados a los silos de almacenamiento y camiones. La adición de grasas y aceites a los ingredientes alimenticios y a los alimentos terminados durante las etapas tempranas del proceso de producción de alimentos es un método efectivo para minimizar el polvo en las plantas de alimentos. Por ejemplo, Mankell et al. (1995) compararon los efectos del nivel de suplementación de aceite de soya (0, 1, o 3%), densidad aparente del maíz (normal = 730 kg/m³; bajo = 600 kg/m³), tiempo de adición del aceite (antes o después de moler el maíz), y tiempo de almacenamiento (0, 7 y 14 días) sobre el polvo producido a partir del alimento. Los resultados de éste estudio muestran que al agregar aceite de soya en 1% reduce las concentraciones de polvo (**Tabla 1**). Se generó mayor cantidad de polvo al moler maíz de baja densidad aparente en comparación con el maíz normal. Por lo tanto puede ser necesario adicionar aceite de soya a más del 3% cuando se utiliza maíz de baja densidad para lograr la misma reducción de polvo que lo observado para maíz normal. La reducción de polvo también fue más efectiva cuando se agregó aceite de soya al alimento terminado después de molerlo en comparación con agregar el aceite de soya al maíz previo a su molienda. Sin embargo el tiempo de almacenamiento no tuvo efecto sobre la supresión de polvo cuando se adicionó el aceite de soya. Estos resultados muestran claramente la importancia de utilizar el aceite de soya para reducir sustancialmente el polvo en las fábricas de alimentos.

Tabla 1. Información del polvo transformado en logaritmo de 12kg de alimento con porcentajes variados de aceite de soya, densidad aparente de maíz, tiempo de aplicación del aceite relativo a la molienda, y tiempo de almacenamiento (adaptado de Mankell et al., 1995)

Aceite de soya, %	Densidad aparente del maíz g/m ³	Tiempo de aplicación del aceite con respecto al molido	Tiempo de almacenamiento, días			
			0	7	14	Todo
0	730	-	3.381	3.312	3.301	3.331 ^b
0	600	-	3.604	3.819	4.090	3.838 ^c
1	730	Antes	1.914	1.923	5.297	3.044 ^{bd}
1	730	Después	1.364	1.045	1.016	1.142 ^e
1	600	Después	1.898	2.221	2.219	2.113 ^d
3	730	Antes	-0.029	0.092	0.110	0.057 ^f
3	730	Después	-0.180	-0.313	-0.289	-0.261 ^g
3	600	Después	0.369	0.181	0.535	0.362 ^h

^{a,b,c,d,e,f,g,h} Medias con superíndices no comunes son diferentes (P<0.001).

Además de la necesidad de controlar el polvo en las fábricas de alimento, las instalaciones de confinamiento tienen constantemente concentraciones significativas de polvo y gases que pueden ser dañinos para la salud respiratoria de humanos y cerdos. Varios estudios han demostrado que cuando se expone a los cerdos a elevadas concentraciones de polvo y gases, el crecimiento y la eficiencia son a menudo reducidas (Curtis et al., 1974) y la salud respiratoria se ve comprometida (Doig y Willoughby, 1971; Bundy y Hazen, 1975; Drummond et al. 1981). Las partículas de polvo que son menores a 5.2 µm de diámetro son capaces de penetrar los pulmones de humanos y cerdos (Anderson, 1985) y pueden ser vehículos para virus y bacterias (Roller, 1961; 1965; Carlson y Whenham, 1967), que hacen que el polvo sea un problema de salud. Además, se ha demostrado que los ambientes empolvados reducen la longevidad y la eficiencia operativa de los sistemas de ventilación mecánica en las instalaciones de confinamiento para los animales (Person et al., 1977; Martin y Crisp, 1984). Por lo tanto, es esencial hacer esfuerzos para controlar el polvo en instalaciones de confinamiento para cerdos para minimizar los efectos adversos sobre la salud de cerdos y personas.

Gore et al. (1986) evaluaron los efectos de adicionar 5% de aceite de soya a dietas isocalóricas maíz-pasta de soya para cerdos de cría sobre el desempeño en crecimiento y calidad del aire (gases, polvo, y conteos de colonias bacterianas). Los resultados de éste estudio mostraron que la adición de aceite de soya a las dietas no tuvo efecto sobre las concentraciones de amonio y de dióxido de carbono (que fueron muy bajas, 1.1 a 2.8 ppm y 900 a 1,900 ppm, respectivamente) y desempeño en crecimiento, pero las concentraciones de polvo fueron reducidas en 45 a 47% y los conteos de colonias bacterianas en aerosol fueron reducidas en 27% comparado con alimentar con dietas carentes de aceite de soya suplementario. Estos resultados fueron similares a los reportados por Chiva et al. (1985) cuando se adicionó un 5% de sebo a dietas de crecimiento-finalización de cerdos. Además, Chiba et al. (1985) también reportaron una reducción en lesiones en el pulmón de cerdos consumiendo dietas con sebo en comparación a aquellos consumiendo dietas sin sebo suplementario. Wathes et al. (2004) evaluaron las respuestas en desempeño en crecimiento de cerdos destetados después de 42 días de una exposición crónica a polvo en el aire y amonio y observaron una reducción en la tasa de crecimiento y consumo de alimento al ser expuestos a concentraciones de polvo de 5.1 mg/m³ y 9.9 mg/m³ (fracción inhalable) a través de las concentraciones de amonio de hasta 37 ppm, pero la eficiencia alimenticia no se vio afectada. Estos resultados indican que la adición de lípidos, especialmente aceite de soya a las dietas de cerdos en forma de harina, es efectivo en reducir sustancialmente el polvo así como los conteos bacterianos en aerosol, que pueden ayudar a mantener la salud respiratoria y el desempeño en crecimiento en cerdos.

EFFECTOS DEL ACEITE DE SOYA SOBRE DIETAS PELETIZADAS PARA CERDOS Y AVES

Las tres metas principales en la producción de dietas peletizadas para cerdos y aves es producir un pellet de alta durabilidad, así como un buen rendimiento de la peletizadora, al mismo tiempo que minimizamos los costos de energía por el proceso de peletizado. En general, el alcanzar una alta durabilidad de pellets incrementa la posibilidad de que los pellets permanezcan intactos desde el momento en que son manufacturados hasta que son consumidos por los animales. Sin embargo, casi cualquier ajuste realizado para incrementar la durabilidad del pellet causa un decremento en el rendimiento de la peletizadora e incrementa los costos de energía (Behnke, 2006). La producción de un pellet de alta calidad está influenciada por factores como el tipo de alimento, la cantidad de grasas y aceites adicionados y el espacio entre la roladora y el dado (California Pellet Mill Co., 2016). Los principales contribuyentes para el uso de energía y el costo de ésta durante el proceso de peletizado son la producción de vapor para la fase de acondicionamiento y la electricidad (medida en horas kilowatt por tonelada) requerida para operar las alimentadoras, acondicionadoras, peletizadora y el sistema de enfriado de los pellets. La mayor parte de la energía (72%) usada en el proceso de la peletización es para el acondicionamiento con vapor (Sloch et al., 1983). Payne (2004) sugirió que de 15 a 10 horas kilowatt por tonelada métrica debería ser una meta razonable para peletizar dietas de cerdos y aves respectivamente. Debido a los diversos factores y la complejidad del proceso de peletizado, se han desarrollado sistemas de soporte de decisión eficaces para optimizar la calidad del pellet, la tasa de producción y costo mientras que sólo se reduce ligeramente la durabilidad del pellet. (Thomas et al., 1997).

La composición de los ingredientes y nutrientes en dietas de cerdos y aves tiene una mayor influencia sobre la calidad del pellet, tasa de producción y uso de energía. Cavalcanti y Behnke (2005^a) evaluaron los efectos del contenido de almidón, lípidos y fibra de dietas sobre la calidad del pellet usando diseños de respuesta de superficie y mostraron un efecto cuadrático en el contenido de almidón sobre el PDI, con valores máximos de PDI observados cuando las dietas contenían 65% de almidón. Hubo una interacción entre el contenido de proteína y almidón, donde al incrementar el contenido de proteína reducía el PDI, pero mejoraba el PDI en dietas altas en almidón. Sin embargo, la inclusión de lípidos en la dieta resultó en valores bajos de PDI, que parecen ser independientes a cualquier otro componente en la dieta. En un estudio subsecuente, Cavalcanti y Behnke (2005^b) evaluaron la durabilidad del pellet utilizando 13 dietas conteniendo concentraciones variadas de maíz, pasta de soya y aceite de soya. Los resultados fueron similares a su estudio previo, que mostró que los valores más elevados de PDI ser obtuvieron cuando la tasa de inclusión de aceite de soya se encontraba en los niveles más bajos. Sin embargo, en este estudio al incrementar el contenido de proteína en la dieta resultó en una mejora en la durabilidad del pellet, pero parecía estar asociada más bien con la cantidad de pasta de soya en la dieta que con el contenido total de proteína. El efecto del contenido de almidón sobre la durabilidad del pellet fue altamente dependiente de la proporción de otros ingredientes. Estos resultados, junto con aquellos reportados por Stark (1994) y Briggs et al. (1999), sugieren que la adición de lípidos (ej. aceite de soya) a las dietas puede esperarse de manera general que reduzcan la durabilidad del pellet.

Sin embargo, es importante reconocer que la temperatura del vapor para el acondicionamiento es un importante factor que no sólo afecta la durabilidad del pellet, sino también tiene un impacto significativo sobre el consumo de energía. El uso de la mayor temperatura de acondicionamiento posible ha mostrado mejorar la durabilidad del pellet, así como el consumo de energía de la peletizadora en dietas sin suplementación de lípidos o con un bajo contenido de lípidos, así como mejorar la durabilidad de pellets en dietas con un elevado contenido de lípidos (Pfof, 1964). Estos efectos pudieron ser el resultado de un incremento en el vapor de acondicionamiento causando una disminución en la fricción mecánica durante el peletizado (menor incremento de temperatura a través del dado del pellet), resultando en una disminución en el consumo de energía eléctrica y una mejora en la durabilidad del pellet (Skoch et al., 1981). Además, Pfof (1964) observaron una interacción entre el contenido de lípidos de la dieta y la longitud de dado de pellet a rango de diámetro (L:D), donde la durabilidad del pellet fue afectada por el dado L:D en dietas bajas en lípidos, pero no fue afectado por el dado L:D en dietas altas en lípidos. Fahrenholz (2012) sugieren que el contenido de lípidos en la dieta tuvo un mayor efecto proporcional sobre el PDI que con respecto a todos los otros factores a excepción de la temperatura de acondicionamiento.

Otros estudios han demostrado que la adición de grasas y aceites previo y posterior al peletizado pueden tanto mejorar como disminuir la calidad del pellet, dependiendo de la tasa de inclusión en la dieta. Una manera de lograr una calidad de pellet aceptable es el agregar un rango bajo de inclusión a la dieta (1%) de lípidos a la mezcladora antes del peletizado y adicionar el resto del lípido posterior al peletizado (Wamsley y Moritz, 2013). Sin embargo, de manera general es considerado ventajoso el agregar crecientes cantidades de lípidos durante el mezclado y previo al peletizado para minimizar las reducciones en digestibilidad de nutrientes y pérdidas en la potencia de vitamina que puedan ocurrir durante el proceso de peletizado, ya que las grasas o aceites pueden disminuir la fricción y el calor generado entre el dado del pellet y el alimento en harina (Gehring et al., 2011). Briggs et al. (1999) reportaron que adicionar menos del 5.6% de lípidos a las dietas conteniendo 20% de proteína cruda no redujo la calidad del pellet, pero Wamsley y Moritz (2013) observaron que adicionando 3% de lípidos durante el mezclado y previo al peletizado, al utilizar un dado más grueso (44.9mm), se reducía la calidad del pellet. Briggs et al. (1999) también mostraron que al agregar demasiados lípidos (más del 7.5%) en la mezcladora es perjudicial para la calidad del pellet. En contraste, Stark (1994) reportaron que la adición de relativamente bajas concentraciones (1.5 y 3%) de lípidos disminuían el PDI en 2% y 5% respectivamente. Esta reducción en el PDI parece ser un resultado de la reducción en la penetración de vapor y transferencia de calor debido a la cubierta de lípidos sobre las partículas del alimento, lo que agrega humedad durante el proceso de acondicionamiento. La decisión de si los lípidos son agregados pre o post peletizado debe basarse también en consideraciones sobre el riesgo de introducir patógenos al alimento si las grasas o aceites son adicionados post-peletizado debido a la mínima exposición a la temperatura de inactivación utilizadas durante el proceso de peletizado (Lambertini et al. 2016)

A pesar las potenciales reducciones en el PDI por adicionar grasas y aceites suplementarios a las dietas, los lípidos sirven como agentes lubricantes para reducir la fricción y calor generados a través del dado de peletizado al mantener la humedad en la superficie de las partículas (Fahrenholz, 2012). Esto es especialmente importante cuando se peletizan las dietas de iniciación de cerdos conteniendo elevadas tasas de inclusión de productos lácteos ya que son susceptibles de quemado, lo que reduce la digestibilidad de aminoácidos. Este efecto lubricante de los lípidos puede también tener un efecto positivo en reducir el consumo de energía, pero este efecto no siempre ocurre debido a interacciones con otras variables del proceso o debido a propiedades físicas de las fuentes de lípidos utilizadas (Briggs et al., 1999). Fahrenholz (2012) y Stark (1994) reportaron que el contenido de lípidos de la dieta fue uno de los factores más influyentes afectando el consumo de energía en las peletizadoras, con sólo la temperatura de acondicionamiento y el dado de pellet L:D contribuyendo grandemente al uso de energía.

El uso de aglutinantes para pellets ha demostrado ser efectivo para mejorar la calidad del pellet cuando se adiciona aceite de soya a dietas para aves. Un estudio reciente de Abadi et al. (2019) evaluaron los efectos de agregar 0, 1.5 o 3% de aceite de soya a dietas con base maíz-pasta de soya para pollos de engorde en finalización con y sin bentonita (0,1 o 2%) o calcio lignosulfonato (0, 0.5 o 1%) en la dureza del pellet, longitud e índice de durabilidad. Dos métodos comunes se utilizaron para evaluar el índice de durabilidad de pellet, que incluían la caja de “tumbling” de Pfast (PDIT) y el evaluado Holmen NHP100 (PDIH). El método PDIT fue diseñado específicamente para imitar los sistemas de transporte de los Estados Unidos, mientras el método PDIH es más duro (Winowski, 1998) y fue diseñado para imitar los sistemas de entrega en Europa (Pope, 2016). El método PDIT ha demostrado tener una elevada asociación con el porcentaje de finos real en las líneas de producción de granjas en comparación con los valores de PDIH obtenidos del evaluador Holmen (Hancock, 2010; Fahrenholz, 2012) y algunos investigadores han sugerido que el evaluador Holmen no es confiable (Salas-Bringas et al., 2007; Singh et al., 2014).

Los resultados de este estudio (Abadi et al., 2019) mostraron que a medida que se incrementaban los niveles de aceite de soya en la dieta sin agregar aglutinantes, todas las medidas de calidad del pellet disminuían a excepción del PDIT (**Tabla 2**). Cuando se incrementaron los niveles de bentonita a las dietas con 1.5% de aceite de soya el PDIH y la dureza del pellet mejoraron. Sin embargo, el incrementar los niveles de bentonita del 1 a 2% en las dietas con 3% de aceite de soya, no se previno la reducción en el PDI. De hecho, incrementar la tasa de inclusión del aceite de soya de 1.5% a 3% sin aglutinante de pellet, resultó en una reducción de 12 puntos porcentuales en PDIH. La adición de 0.5% de lignosulfato de calcio (CaLS) a

las dietas con 1.5% de aceite de soya mejoraron el PDIH en 7 puntos porcentuales, pero el PDIH mejoró en 28 puntos porcentuales cuando se agregó a dietas con 3% de aceite de soya. Las dietas con 3% de aceite de soya y 0.5% de CaLS tuvieron la mayor dureza y largo del pellet entre todos los tratamientos. Basado en estos resultados, la combinación óptima de PDIH, dureza de pellet y largo de pellet fue cuando las dietas contenían 3% de aceite de soya y 0.5% de CaLS.

Tabla 2. Efectos de la tasa de inclusión de aceite de soya y tipo de rango de inclusión de aglutinantes de pellet en los índices de durabilidad de pellets, dureza y longitud en dietas de finalización de pollo de engorde (adaptado de Abadi et al., 2019)

Aceite de soya, %	Tipo de aglutinante	Alguticante, %	PDIT (Pfast) ¹ , %	PDIH (Holmen) ² , %	Dureza del pellet ³ , N	Largo del pellet ⁴ , mg/pellet
0	Nada	0	94.7	59.2	32.5	111.0
0	Bentonita	2	96.0	82.9	40.6	123.2
1.5	Nada	0	94.5	69.0	31.5	111.9
1.5	Bentonita	1	94.7	74.1	40.2	114.4
1.5	Bentonita	2	95.3	80.4	45.2	113.7
1.5	CaLS	0.5	93.3	76.7	17.7	109.0
1.5	CaLS	1	94.9	78.7	9.5	126.9
3	Nada	0	94.5	56.9	24.1	144.6
3	Bentonita	1	95.3	65.7	33.3	106.0
3	Bentonita	2	89.7	22.0	24.3	87.0
3	CaLS	0.5	96.3	85.7	53.5	144.6
3	CaLS	1	91.7	38.4	31.0	96.4

¹Índice de durabilidad del pellet (PDI) basados en la caja de "tumbling" Pfast.

²Índice de durabilidad del pellet (PDI) basados en Holmen NHP100.

³Dureza del pellet basados en Brookfield CT3.

⁴Longitud del pellet basado en el procedimiento de Winowski (1995).

Se reportaron resultados similares por Abadi et al. (2019), Pope (2016) reportaron que los incrementos en la inclusión de aceite de soya de 1.5% a 3% reducían el PDIH en 21 puntos porcentuales. Además, Pope (2016) reportaron un incremento en 22 puntos porcentuales en PDIH cuando se agregó 0.5% de CaLS a una dieta con 3% de aceite de soya comparado con los 11 puntos porcentuales de incremento cuando se agregó a una dieta con 1.5% de aceite de soya. Cavalcanti y Behnke (2005b) sugirieron que el uso de dietas con alto contenido de aceite de soya reducía la fricción de calor por medio de la reducción en las fuerzas de compresión y flujo de material plastificado dentro del orificio del dado del pellet. El lignosulfonato de calcio es un polvo soluble en agua que puede penetrar la capa hidrofóbica de las partículas de alimento para facilitar los enlaces de hidrógeno en la superficie externa de los pellets (Pope, 2016).

El pelletizado ha demostrado de manera general que mejora la gelatinización del almidón, lo que contribuye a incrementar la digestibilidad de la energía (Richer y De Rouche, 2010; NRC, 2012). Algunos investigadores han sugerido que niveles crecientes de aceite de soya a las dietas reduce la gelatinización del almidón (Cavalcanti y Behnke, 2005b), mientras que otros han demostrado que la gelatinización del almidón se incrementa cuadráticamente cuando se adiciona aceite de soya hasta un 3.5% a las dietas (Muramatsu et al., 2014). Sin embargo, otros investigadores han sugerido que la gelatinización del almidón no es un factor que contribuya a la calidad del pellet (Moritz et al., 2003; Svihus et al., 2004; Zimonja, 2009) Zimonja et al. (2007) mostraron como el aceite de soya genera problemas de capas de barrera que reducen la gelatinización de los gránulos de almidón y limita la penetración del vapor durante el proceso de pelletización.

CONCLUSIONES

La adición de aceite de soya a dietas en harina ha demostrado consistentemente que reduce sustancialmente el polvo en las plantas de alimento y en las instalaciones de confinamiento, brindando efectos benéficos para la salud respiratoria de humanos y animales. En general, el incremento en la inclusión de rangos de aceite de soya a dietas para cerdos y aves reduce la durabilidad del pellet, pero la magnitud de este efecto es dependiente de la temperatura del vapor de acondicionamiento utilizada durante el proceso de peletizado. La adición de un aglutinante de pellet, como un 0.5% de lignosulfato de calcio, puede ser efectivo en mejorar la calidad del pellet en dietas para pollos de engorde conteniendo 3% de aceite de soya. Una durabilidad de pellet aceptable puede lograrse agregando 1% de aceite a la mezcladora antes del peletizado y agregar el aceite restante posterior al peletizado. Sin embargo, las desventajas de agregar mayores cantidades de aceite de soya a la dieta se corre el riesgo potencial de reducir la digestibilidad de nutrientes y la pérdida de la potencia de vitaminas ya que las grasas y aceites pueden disminuir la fricción y calor generado entre el dado del pellet y alimento en harina. El efecto lubricante del aceite de soya durante el proceso de peletizado es uno de los principales factores asociados con una reducción en el consumo de energía en plantas de alimentos.

REFERENCIAS

- Abadi, M.H.M.G., H. Moravej, M. Shivazad, M.A.K. Torshizi, and W.K. Kim. 2019. Effect of different types and levels of fat addition and pellet binders on physical pellet quality of broiler feeds. *Poult. Sci.* 98:4745-4754.
- Abdollahi, M.R., V. Ravindran, and B. Svihus. 2013. Pelleting of broiler diets: an overview with emphasis on pellet quality and nutritional value. *Anim. Feed Sci. Technol.* 179:1-23.
- Abdollahi, M.R., V. Ravindran, T.J. Wester, G. Ravindran, and D.V. Thomas. 2012. The effect of manipulation of pellet size (diameter and length) on pellet quality and performance, apparent metabolisable energy and ileal nutrient digestibility in broilers fed maize-based diets. *Anim. Prod. Sci.* 53:114-120.
- Anderson, A.A. 1958. New sampler for the collection, sizing and enumeration of viable airborne particles. *J. Bacteriol.* 76:471.
- Behnke, K.C., 2006. The art (science) of pelleting. Tech. Rep. Series: Feed Tech. American Soybean Association, Singapore.
- Boroogeni, F., et al. 2016. The effects of hydrothermal processing on feed hygiene, nutrient availability, intestinal microbiota and morphology in poultry - A review, *Animal Feed Science and Technology* 220: 187-215.
- Briggs, J.L., D.E. Maier, B.A. Watkins, and K.C. Behnke. 1999. Effect of ingredients and processing parameters on pellet quality. *Poult. Sci.* 78:1464-1471.
- Bundy, D.S., and T.E. Hazen. 1975. Dust levels in swine confinement systems associated with different feeding methods. *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.* 18:137.
- California Pellet Mill Co., 2016. The Pelleting Process. https://www.cpm.net/downloads/Animal_Feed_Pelleting.pdf
- Carlson, H.C., and G.R. Whenham. 1967. Coliform bacteria in chicken broiler house dust and their possible relationship to coli-septicemia. *Avian Dis.* 12:297.
- Cavalcanti, W.B., and K.C. Behnke. 2005a. Effect of composition of feed model systems on pellet quality: A mixture experimental approach. I. *Cereal Chem.* 82:455-461.

- Cavalcanti, W.B., and K.C. Behnke. 2005b. Effect of composition of feed model systems on pellet quality: A mixture experimental approach. II. *Cereal Chem.* 82:462-467.
- Chiba, L.I., E.R. Peo, Jr., A.J. Lewis, M.C. Brumm, R.D. Fritschen, and J.D. Crenshaw. 1985. Effect of dietary fat on pig performance and dust levels in modified-open-front and environmentally regulated confinement buildings. *J. Anim. Sci.* 61:763-781.
- Curtis, S.E., A.H. Jensen, J. Simon, and D.L. Day. 1974. Effects of aerial ammonia, hydrogen sulfide, and swine-house dust, alone and combined, on swine health and performance. *Proc. Int. Livestock Environ. Symp.*, SP-0174. p. 209. *Amer. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI.*
- Doig, D.A., and R.A. Willoughby. 1971. Response of swine to atmospheric ammonia and organic dust. *J. Amer. Vet. Med. Assoc.* 159:1353-1361.
- Drummond, J.G., S.E. Curtis, R.C. Meyer, J. Simon, and H.W. Borton. 1981. Effects of atmospheric ammonia on young pigs experimentally infected with *Bordetella bronchiseptica*. *Amer. J. Vet. Res.* 42:963-968.
- Fahrenholz, A. 2012. Evaluating factors affecting pellet durability and energy consumption in a pilot feed mill and comparing methods for evaluating pellet durability. Ph.D. Thesis, Kansas State University, Manhattan, Kansas.
- Gehring, C.K., K.G.S. Lilly, L.K. Shires, K.R. Beaman, S.A. Loop, and J.S. Moritz. 2011. Increasing mixer-added fat reduces the electrical energy required for pelleting and improves exogenous enzyme efficacy for broiler. *J. Appl. Poult. Res.* 20:75-89.
- Gore, A.M., E.T. Kornegay, and H.P. Veit. 1986. The effects of soybean oil on nursery air quality and performance of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 63:1-7.
- Hancock, C.J. 2010. Impact of feed form and nutrient distribution in an automated commercial broiler feeding system. Masters Thesis, Kansas State University, Manhattan, KS.
- Lambertini, E., A. Mishra, M. Guo, H. Cao, R.L. Buchanan, and A.K. Pradhan. 2016. Modeling the long-term kinetics of *Salmonella* survival on dry pet food. *Food Microbiol.* 58:1-6.
- Mankell, K.O., K.A. Janni, R.D. Walker, M.E. Wilson, J.E. Pettigrew, L.D. Jacobson, and W.F. Wilcke. 1995. Dust suppression in swine feed using soybean oil. *J. Anim. Sci.* 73:981-985.
- Martin, B., and D. Crisp. 1984. Fan performance relative to shutter application and maintenance. *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.* 84-4529.
- Miller, T.G. 2012. Swine feed efficiency: Influence of pelleting. Iowa Pork Industry Center Fact Sheet 12. http://lib.dr.iastate.edu/ipic_factsheets/12.
- Moritz, J. S., K. R. Cramer, K. J. Wilson, and R. S. Beyer. 2003. Feed manufacture and feeding of rations with graded levels of added moisture formulated to different energy densities. *J. Appl. Poult. Res.* 12:371-381.
- Muramatsu, K., A. Maiorka, F. Dahlke, A. S. Lopes, and M. Pasche. 2014. Impact of particle size, thermal processing, fat inclusion, and moisture addition on starch gelatinization of broiler feeds. *Rev. Bras. Cienc. Avic.* 16:367-374.

- NRC. 2012. Nutrient requirements of swine. 11th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Payne, J.D. 2004. Predicting pellet quality and production efficiency. *World Grain* 3:68-70.
- Person, H.L., L.D. Jacobson, and K.A. Jordan. 1977. Effect of dust, louvers and other attachments on fan performance. *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.* 22:612-633.
- Pfost, H.B. 1964. The Effect of lignin binder, die thickness, and temperature on the pelleting process. *Feedstuffs* 36(22):20.
- Pope, J. T. 2016. Alternative Methods in Feed Manufacturing Affecting Pelleting Parameters and Broiler Live Performance. Master Thesis, North Carolina State University. <https://repository.lib.ncsu.edu/bitstream/handle/1840.20/33261/etd.pdf>.
- Richert, B. T., and J.M. DeRouche. 2010. Swine feed processing and manufacturing. In: National Swine Nutrition Guide, D. J. Meisinger, ed., Pork Center of Excellence, Ames, IA. p. 245–250.
- Roller, W.L. 1965. Need for study of effects of air contaminants on equipment and animal performance. *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.* 8:353.
- Roller, W.L. 1961. Dust creates problems in air-conditioning. *Agric. Eng.* 44:436.
- Salas-Bringas, C., L. Plassen, O. Lekang, and R.B. Schuller. 2007. Measuring physical quality of pelleted feed by texture profile analysis, a new pellet tester and comparisons to other common measurement devices. *Ann. Trans.-Nordic rheology Soc.* 15:149-157.
- Singh, Y., V. Ravindran, T.J. Wester, A.L. Molan, and G. Ravindran. 2014. Influence of prepelleting inclusion of whole corn on performance, nutrient utilization, digestive tract measurements, and cecal microbiota of young broilers. *Poult. Sci.* 93:3073-3082.
- Skoch, E.R., S.F. Binder, C.W. Deyoe, G.L. Allee, and K.C. Behnke. 1983. Effects of steam pelleting condition and extrusion cooking on a swine diet containing wheat middlings. *J. Anim. Sci.* 57:929-935.
- Skoch, E.R., K.C. Behnke, C.W. Deyoe, and S.F. Binder. 1981. The effect of steam conditioning rate on the pelleting process. *Anim. Feed Sci. Technol.* 6:83-90.
- Stark, C. R. 1994. Pellet quality and its effect on swine performance: functional characteristics of ingredients in the formation of quality pellets. Ph.D. Dissertation. Kansas State Univ., Manhattan, KS.
- Svihus, B., K. H. Kløvstad, V. Perez, O. Zimonja, S. Sahlström, R. B. Schüller, W. K. Jeksrud, and E. Prestløkken. 2004. Physical and nutritional effects of pelleting of broiler chicken diets made from wheat ground to different coarseness by the use of roller mill and hammer mill. *Anim. Feed Sci. Technol.* 117:281–293.
- Thomas, M., D.J. van Zuilichem, and A.F.B. van der Poel. 1997. Physical quality of pelleted animal feed. 2. Contribution of processes and its conditions. *Anim. Feed Sci. Technol.* 64:173–192.
- Thomas, M., et al. 1998. Physical quality of pelleted animal feed 3. Contribution of feedstuff components. *Animal Feed Science Technology* 70: 59-78.

- Wamsley, K.G.S., and J.S. Moritz. 2013. Resolving poor pellet quality and maintaining amino acid digestibility in commercial turkey diet feed manufacture. *J. Appl. Poult. Res.* 22:439–446.
- Wathes, C.M., T.G.M. Demmers, N. Teer, R.P. White, L.L. Taylor, V. Bland, P. Jones, D. Armstrong, A.C.J. Gresham, J. Hartung, D.J. Chennells, and S.H. Done. 2004. Production responses of weaned pigs after chronic exposure to airborne dust and ammonia. *Anim. Sci.* 78:87-97.
- Winowski, T. 1998. Examining a new concept in measuring pellet quality: which test is best? *Feed Mgmt.* 49:23-26.
- Winowiski, T. S. 1995. Pellet Quality in Animal Feeds. American Soybean Association, Lingo Tech., FT. 21:1–5.
- Zimonja, O. 2009. Current issues in pelleting in respect to physical pellet analyses. Pages 45–50 in 1st Workshop Feed-to-Food FP7 REGPOT-3. XIII Sym. Feed Technol. Proc. Institute for Food Technology. Novi Sad, Serbia.
- Zimonja, O., A. Stevnebo, and B. Svihus. 2007. Nutritional value of diets for broiler chickens as affected by fat source, amylose level and diet processing. *Can. J. Anim. Sci.* 87:553–562.

Capítulo



08

Aplicaciones del Aceite de Soya de los Estados Unidos en Dietas para Cerdos

INTRODUCCIÓN

A lo largo de pasadas décadas, se han llevado a cabo numerosos trabajos de investigación que han demostrado los múltiples beneficios de utilizar el aceite de soya estadounidense en dietas para cerdos en comparación con otras grasas y aceites comercialmente disponibles. Los nutricionistas de cerdos alrededor del mundo consideran al aceite de soya estadounidense como “el estándar de oro” debido a su abundante suministro, calidad consistente, elevado contenido energético y precio competitivo. El uso de aceite de soya estadounidense de alta calidad en dietas para cerdos en crecimiento provee un “efecto calórico extra”, que significa que el porcentaje de mejora en la conversión alimenticia excede el incremento en el porcentaje de contenido energético de la dieta (Campbell, 2005).

Además del elevado contenido de energía, se ha demostrado que el aceite de soya estadounidense provee beneficios adicionales, como el de reducir los niveles de polvo en las unidades de confinamiento de los cerdos para mejorar la salud respiratoria de los cerdos y de las personas. Además, aunque el aceite de soya contiene altas concentraciones de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA/AGPI), que reduce la firmeza de la grasa al utilizarlo en cerdos en crecimiento-finalización, también incrementa el contenido de PUFA (AGPI) en los productos derivados del cerdo, que se ha demostrado que provee ventajas a la salud humana. El consumo de productos cárnicos altos en grasas saturadas se ha asociado con potenciales riesgos de aterosclerosis y enfermedades cardiovasculares en humanos. Por lo tanto, existe la oportunidad de producir más productos derivados de cerdo “buenos para la salud” si se agrega aceite de soya estadounidense a dietas para cerdos en crecimiento-finalización.

Otro beneficio de valor agregado del aceite de soya estadounidense involucra los efectos benéficos sobre el desempeño reproductivo en cerdas. Está bien documentado que el uso de aceite de soya norteamericana en cerdas incrementa el consumo calórico, especialmente bajo condiciones de estrés calórico, lo que a su vez mejora el contenido de grasa en la leche y la tasa de crecimiento de la camada. Además, el aceite de soya contiene elevadas concentraciones de ambos ácidos grasos esenciales (ácido linoleico y linolénico), que son necesarios para una óptima fertilidad. De hecho, estudios recientes han demostrado que las cerdas modernas están consumiendo dietas deficientes en ácidos grasos esenciales, especialmente a medida que avanzan en edad o en número de partos. Este balance negativo en ácidos grasos esenciales puede ser corregido fácilmente agregando cantidades adecuadas de aceite de soya estadounidense a dietas de lactancia para reducir el intervalo destete-estro y mejorar el tamaño de la camada en partos subsecuentes. Por lo tanto, el aceite de soya estadounidense desgomada debería de ser considerado como la fuente de lípidos a suplementar preferentemente en dietas para cerdas ya que es la única fuente de lípidos comercialmente disponible que contiene elevadas concentraciones de ambos ácidos linoleico y linolénico.

CONTENIDO DE ENERGÍA DIGESTIBLE Y METABOLIZABLE DEL ACEITE DE SOYA

Uno de los grandes retos para capturar el valor completo de cualquier ingrediente alimenticio, incluyendo el aceite desgomado de soya estadounidense, es el usar valores de energía precisos para las fuentes que se utilizan en la formulación de dietas para cerdos. Igual que para cualquier ingrediente alimenticio, hay una variabilidad sustancial entre las estimaciones publicadas en diferentes estudios para los valores de energía digestible (ED), energía metabolizable (EM), y energía neta (EN). Esta alta variabilidad es causada por diversos factores incluyendo la fuente, tasa de inclusión en la dieta, edad del cerdo, tipo de dieta basal utilizada y el grado de oxidación de la fuente de aceite de soya que serán evaluados en estos trabajos.

La energía digestible y la energía metabolizable (EM) son comúnmente utilizadas para la formulación de dietas para cerdos a pesar de las inexactitudes inherentes, como no tomar en cuenta las pérdidas por incremento calórico de la digestión y metabolismo, que son consideradas al utilizar el sistema de energía neta (EN) (Velayudhan et al., 2015; NRC, 2012). Muchos nutricionistas de cerdos utilizan los valores publicados de ED y EM del aceite de soya de los Estados Unidos (NRC, 2012), Francia (Sauvant et al., 2004) o Brasil (Rostagno, 2017). Es muy raro que los investigadores identifiquen el país de origen o la fuente específica de los lípidos evaluados en estudios

de la determinación energética o de desempeño animal. Como resultado, no es sorprendente el que sea difícil diferenciar entre los valores de ED y EM para el aceite de soya de los Estados Unidos o de otras fuentes, lo que explica parcialmente por qué los estimados de EM varían de 7,906 kcal/kg (Francia; Sauvant et al., 2004) a 8,300 kcal/kg (Brasil; Rostagno, 2017) a 8,574 (U.S.; NRC, 2012). Además, la composición de las fuentes de lípidos, incluyendo el aceite de soya, pueden cambiar con el tiempo debido a mejoras genéticas de los cultivos y los procesos de extracción de aceite, que pueden afectar la diferencia en el contenido de ED y EM reportados en experimentos históricos comparados con trabajos más recientes. Por lo tanto, parece prudente el enfocar la atención en los valores publicados de ED y EM más recientemente que los reportados en estudios de 10 o más años.

Además, es comúnmente aceptado que el contenido de ED y EM de algunas fuentes de lípidos varían dependiendo de la edad del cerdo y de la tasa de inclusión en la dieta. Sin embargo, estas respuestas no son siempre consistentes. Por ejemplo, a pesar de los incrementos numéricos en el contenido de ED y EM del aceite de soya con tasas de inclusión crecientes, estas diferencias mostraron no ser tan significativamente diferentes (Su et al., 2015). En cambio, Su et al. (2016) indicaron que los valores de ED y EM fueron afectados en mayor medida por la tasa de inclusión en la dieta, pero no por la composición de la dieta basal del experimento. Sin embargo, es importante considerar que a pesar de los valores más elevados de energía reportados para el aceite de soya a tasas de inclusión mayores al 5%, es inusual agregar más del 5% de cualquier fuente de lípidos a dietas para cerdos. Por lo tanto, se debe enfocar la atención a utilizar valores de ED y EM para un rango de peso corporal específico en cerdos a niveles de inclusión en la dieta de 5% o menor. En adición, también se asume de manera generalizada que el contenido de EM de lípidos es 98% del contenido de ED (van Milgen et al., 2001; NRC, 2012), pero esta relación también puede variar entre resultados reportados.

Un resumen de valores de ED y EM publicados para cerdos se muestran en la **Tabla 1**. Nótese que el contenido de ED tiene un rango de 7,977 a 9,979 kcal/kg, y el contenido de EM va de 7,906 a 8,868 kcal/kg para el aceite de soya. Esto genera un dilema para los nutricionistas y formuladores de alimentos al tener que decidir a cuál valor de ED o EM debe asignarse el aceite de soya estadounidense para la formulación precisa de una dieta. Usando un estimado conservador bajo, puede limitar el uso de aceite de soya en las formulaciones de mínimo costo, mientras que usando los valores máximos reportados puede sobreestimar el contenido de EM de la fuente de aceite de soya utilizada, resultando en respuestas subóptimas en desempeño. Otro enfoque que se ha desarrollado es utilizar ecuaciones de predicción de ED y EM para estimar dinámicamente el contenido de ED y EM de una fuente de aceite de soya específico, en lugar de depender de “valores de libro” publicados. Si se desarrollaran ecuaciones de predicción de energía precisas, éstas eliminan el reto de estimar de manera precisa el contenido de ED, EM y EN de la fuente de aceite de soya estadounidense utilizada. Sin embargo, como se discute en una sección posterior de este capítulo, la mayoría de las ecuaciones de predicción publicadas ya sea sobreestiman o subestiman el contenido actual de EX y EM de las fuentes de lípidos, incluyendo al aceite de soya.

Tabla 1. Estimaciones publicadas del contenido de ED y EM del aceite de soya en dietas para cerdos.

Peso corporal del cerdo	Tasa de inclusión en la dieta	ED, kcal/kg	EM, kcal/kg	Referencia
13 kg	5%	8,993 – 9,038	8,813 – 8,856	Kellner and Patience (2017)
50 kg	5%	8,181 – 9,049	8,017 – 8,868	Kellner and Patience (2017)
38 kg	4, 6, 8, 10%	4% = 8,243 6% = 8,419 8% = 8,775 10% = 8,911	4% = 7,966 6% = 8,190 8% = 8,422 10% = 8,797	Su et al. (2015)
34 kg	5 y 10% utilizando dos dietas basales diferentes	Maíz - pasta de soya 5% = 8,357 10% = 8,410 Almidón de maíz caseína 5% = 8,054 10% = 8,410	Maíz - pasta de soya 5% = 8,099 10% = 8,854 Almidón de maíz caseína 5% = 7,896 10% = 8,319	Su et al. (2016)
19 kg	7.13%	9,979	-	Kerr et al. (2018)
10 kg	6.7%	8,567	8,469	Kerr et al. (2009)
15 kg	10%	8,315	8,368	Kerr and Shurson (2016)
-	-	8,749	8,574	NRC (2012)
-	-	7,977	7,906	Sauvant et al. (2004)
-	-	8,600	8,300	Rostagno (2017)

CONTENIDO DE ENERGÍA NETA EN ACEITE DE SOYA

El uso de los sistemas de ED y EM no son tan precisos como el sistema de EN para evaluar el valor energético productivo de los lípidos y de otros ingredientes alimenticios (de Lange y Birkett, 2005). Sin embargo, así como los valores de ED y EM, los valores publicados de EN del aceite de soya y otras grasas y aceites son altamente variables entre estudios (van Heugten et al., 2015). Kil et al. (2011) determinaron el valor de EN del aceite de soya usando una técnica comparativa de sacrificio, pero los valores promedio de EN reportados (4,882 kcal/kg) fueron sustancialmente menores que los reportados por Sauvant et al. (2004; 7,110 kcal/kg) y NRC (2012; 7,545 kcal/kg). Esta discrepancia en la determinación de EN para lípidos usando la técnica de sacrificio comparativa se debe posiblemente a los valores de EN atribuibles a los requerimientos de energía de mantenimiento (Noblet et al., 1994) y son posiblemente mucho mayores para cerdos confinados en condiciones de producción prácticas (Verstegen et al., 2001). Por lo tanto, el uso de calorimetría indirecta parece proveer de estimados más precisos de EN de lípidos para cerdos. Los lípidos de la dieta tienen un bajo incremento calórico durante la digestión y metabolismo en comparación con otros componentes nutricionales (Kleiber, 1961; Kronfeld, 1996). Además, cuando alimentamos dietas con un bajo contenido de lípidos que contienen elevadas concentraciones de ácidos grasos insaturados, una porción sustancial de estos ácidos grasos es depositada directamente en el tejido adiposo lo que lleva a una baja producción de calor y un mayor valor de EN (Leveille et al., 1975; Black, 1995). En contraste, cuando se alimentan dietas conteniendo altas tasas de inclusión de fuentes de lípidos insaturados, una mayor proporción de estos ácidos grasos son utilizados como fuente de energía y liberados como calor. Como resultados, los rangos de inclusión de los lípidos incluyendo el aceite de soya, afecta el contenido de EN (Stahly, 1984; Allee et al., 1971; 1972). En general, se asume que el contenido de EM de lípidos es el 98% del contenido de ED y el contenido de EN el 88% del contenido de EM (van Milgen et al., 2001; NRC, 2012).

Tabla 2. Estimaciones de contenido de EN del aceite de soya en dietas para cerdos de publicaciones recientes.

Peso corporal del cerdo	Tasa de inclusión en la dieta	EN, kcal/kg	Referencia
22 kg	5 or 10%	5% = 4,561 10% = 4,781	Kil et al. (2011)
84 kg	5 or 10%	5% = 5,585 10% = 4,578	Kil et al. (2011)
31 kg	5 or 10%	5% = 7,989 10% = 8,132	Li et al. (2018)
13 kg	5%	7,756 – 7,795	Kellner and Patience (2017)
50 kg	5%	7,055 – 7,804	Kellner and Patience (2017)
-	-	7,545	NRC (2012)
-	-	7,117	Sauvant et al. (2004)
-	-	7,364	Rostagno (2017)

ECUACIONES DE PREDICCIÓN DE ENERGÍA

Se han desarrollado varias ecuaciones de predicción de ED, EM y EN para estimar el contenido de energía de varias grasas y aceites. Sin embargo, es importante darse cuenta de que, si las ecuaciones de predicción son utilizadas para estimar el contenido de energía de grasas y aceites, éstos deberían ser derivados de experimentos en los que el contenido de ED, EM y EN ha sido determinado directamente y no a partir de estudios donde se evaluó otros ingredientes alimenticios. Teóricamente, se asume de manera frecuente que las ecuaciones de predicción de energía derivadas de lípidos con perfiles múltiples de ácidos grasos deberían resultar en predicciones razonablemente precisas al compararlas con los valores de energía determinados directamente con experimentos in vivo. Sin embargo, resultados de experimentos recientes han demostrado que éste no siempre es el caso. Pueden existir al menos dos explicaciones para esto. Primero, la mayoría de las ecuaciones de predicción se derivaron sin considerar el grado de oxidación de los lípidos evaluados. La oxidación en lípidos típicamente reduce el contenido de energía de los lípidos, pero no siempre (Liu et al., 2014; Lindblom et al., 2018). Segundo, es importante darse cuenta de que, aunque las ecuaciones de predicción pueden estimar de manera precisa el contenido de ED, EM o EN de las fuentes de lípidos en un experimento a partir del cual se derivaron, pueden no resultar en predicciones precisas cuando se aplican a fuentes de lípidos y composición no incluidas en el conjunto de datos originales.

Por ejemplo, Kerr et al. (2018) determinaron que el contenido de ED (9,979 kcal/kg) del aceite de soya para cerdos de 19 kg era mayor que cualquier otra grasa y aceite evaluado (grasa de mantequilla, aceite de canola, aceite de coco, aceite de pescado, aceite de linaza, manteca, aceite de olivo, aceite de palma, sebo), con valores de ED en un rango de 8,071 a 9,606 kcal/kg. Sin embargo, cuando Powles et al. (1995) y Kellner y Patience (2017) usaron ecuaciones de predicción para estimar el contenido de ED del aceite de soya, el contenido de ED fue subestimado con un rango de 8,944 kcal/kg y 8,769 kcal/kg respectivamente.

Rosero et al. (2015) determinaron que la fuente de aceite de soya evaluado en su estudio contenía 9,086 kcal/kg de ED. Cuando usaron la composición química de esta fuente de aceite de soya y su ED derivada de la ecuación de predicción, el contenido de ED se estimó en 8,900 kcal/kg (diferencia de 186 kcal/kg), que fue razonablemente similar al actual valor in vivo de ED (Tabla 4). Sin embargo, cuando utilizaron la ecuación para ED de Powles et al. (1995) para ésta misma fuente de aceite de soya, el contenido predicho de ED fue de 8,805 kcal/kg, que fue 281 kcal/kg menos que lo observado (Tabla 4). Por lo tanto, debe tenerse cuidado al seleccionar y usar las ecuaciones de predicción para estimar la ED, EM y EN contenidas en el aceite de soya.

Tabla 3. Ecuaciones de predicción para ED, EM, y EN de lípidos alimentados a cerdos.

Peso corporal del cerdo	Ecuación	R ²	Referencia
19 kg	ED (kcal/kg) = 10,267 – (110.3 × AGL, %) – (41.8 × C16:0, %) – (39.7 × C18:0, %) – (98.0 × I:S) + (6.4 × valor de yodo)	0.97	Kerr et al. (2018) ¹
13 kg	ED (Mcal/kg) = 9.363 – (0.097 × AGL, %) – (0.016 × n-6: n-3) – (1.24 × C20:0, %) – (5.054 × impurezas insolubles, %) + (0.014 × C16:0, %)	0.81	Kellner and Patience (2017) ²
	EM (Mcal/kg) = 9.176 – (0.095 × AGL, %) – (0.016 × n-6: n-3) – (1.215 × C20:0, %) – (4.953 × impurezas insolubles, %) + (0.014 × C16:0, %)	0.81	Kellner and Patience (2017)
	EN (Mcal/kg) = 8.075 – (0.093 × AGL, %) – (0.014 × n-6: n-3) – (1.07 × C20:0, %) – (4.359 × impurezas insolubles, %) + (0.013 × C16:0, %)	0.81	Kellner and Patience (2017)
	ED (kcal/kg) = 37.89 – (0.0051 × AGL, g/kg) – 8.20 ^{(-0.515 × I:S)/0.004184}	-	Powles et al. (1995)
50 kg	ED (Mcal/kg) = 8.357 + (0.189 × I:S) – (0.195 × AGL, %) – (6.768 × C22:0, %) + (0.024 × AGPI, %)	0.81	Kellner and Patience (2017)
	EM (Mcal/kg) = 8.19 + (0.185 × I:S) – (0.191 × AGL, %) – (6.633 × C22:0, %) + (0.023 × AGPI, %)	0.81	Kellner and Patience (2017)
	EN (Mcal/kg) = 7.207 + (0.163 × I:S) – (0.168 × AGL, %) – (5.836 × C22:0, %) + (0.021 × AGPI, %)	0.81	Kellner and Patience (2017)
	ED (kcal/kg) = 36.898 – (0.0046 × AGL, g/kg) – 7.33 ^{(-0.906 × I:S)/0.004184}		Powles et al. (1995)
Cerdas lactantes	ED (kcal/kg) = 8,381 – (80.6 × AGL, %) + (0.4 × AGL2, %) + (248.8 × I:S) – (28.1 × I:S2) + (12.8 × AGL, % × U:S)	0.74	Rosero et al. (2015) ³

¹Ecuación derivada de determinar el contenido de ED y composición química de la grasa de mantequilla, aceite de canola, aceite de coco, aceite de pescado, aceite de linaza, manteca, aceite de oliva, aceite de palma, aceite de soya y sebo.

²Las ecuaciones derivadas de la determinación del contenido de ED, EM y EN de la composición química de una mezcla de grasas animal-vegetal, aceite de canola, dos fuentes de grasa blanca selecta, aceite de coco, dos fuentes de aceite de maíz, aceite de pescado, aceite de linaza, aceite de palma, grasa de ave, dos fuentes de aceite de soya y sebo.

³Ecuación derivada de la determinación de ED y de la composición química de la grasa blanca selecta, aceite acidulado de grasa blanca selecta, aceite de soya, aceite acidulado de soya-algodón y mezcla de grasas animales- vegetales

AGL = Ácidos Grasos Libres (FFA)

AGPI= Ácidos Grasos Poliinsaturados (PUFA)

Tabla 4. Comparación de la ED (Mcal/kg) de aceite de soya real contra predicha utilizando ecuaciones de Powles et al., (1995) y Kellner y Patience (2017).

	ED Real	Powles et al. (1995) ED predicha	Kellner y Patience (2017) ED predicha
13 kg Peso Corporal			
Aceite de soya fuente A	9.04	8.81	8.95
Aceite de soya fuente B	8.99	8.81	8.97
50 kg			
Aceite de soya fuente A	9.05	8.81	8.66
Aceite de soya fuente B	8.18	8.81	8.71

Tabla 5. Efecto de forma en la dieta (intacto vs. extraído) del aceite de soya sobre digestibilidad de materia seca, energía, lípidos y nitrógeno en cerdos destetados (adaptado de Adams y Jensen, 1984).

Medición	Aceite de soya intacto en soya tostada	Aceite de soya extraído
Digestibilidad aparente total en tracto, %		
Materia seca	83.0 ^b	92.8 ^a
Energía bruta	78.2 ^b	93.0 ^a
Lípidos	72.1 ^b	96.9 ^a
Nitrógeno	73.2 ^b	87.0 ^a
Energía metabolizable, %	75.1 ^b	90.1 ^a
Nitrógeno retenido, %	52.7 ^b	56.9 ^a

^{a,b}Medias con superíndices desiguales son diferentes (P < 0.005)

Tabla 6. La digestibilidad ileal aparente de materia seca, proteína cruda y aminoácidos en dietas conteniendo 0% o 5% de aceite de soya o 5% de grasa blanca selecta (adaptado de Kil et al., 2011)

Medición, %	Control	5% aceite de soya	5% grasa blanca selecta
Materia seca	69.0	71.7	71.0
Proteína cruda	85.5	84.3	83.7
Arginina	85.8 ^a	87.3 ^b	87.4 ^b
Histidina	81.0 ^x	83.2 ^{xy}	83.5 ^y
Isoleucina	77.2 ^x	79.7 ^y	79.5 ^{xy}
Leucina	81.5 ^a	84.0 ^b	83.5 ^{ab}
Lisina	77.0	79.7	79.0
Metionina	82.7	84.7	84.3
Fenilalanina	80.1 ^x	82.6 ^y	82.0 ^{xy}
Treonina	69.2	71.3	70.2
Triptofano	81.6	81.9	83.0
Valina	74.6 ^a	78.0 ^b	77.9 ^b
Total indispensable	79.2 ^x	81.6 ^y	81.2 ^{xy}

^{a,b}Valores dentro de la fila que no tengan los mismos superíndices son diferentes (P < 0.05).

^{x,y}Valores dentro de la fila que no tengan los mismos superíndices son diferentes (0.05 < P < 0.10).

DIFERENCIAS EN LA DIGESTIBILIDAD DE LÍPIDOS AL ALIMENTAR SOYA INTEGRAL COMPARADO CON ACEITE DE SOYA EXTRAÍDO

A lo largo de varias décadas, ha existido considerable interés en alimentar a cerdos con soya tostada o soya integral extruida, a manera de una fuente suplementaria combinada de lípidos y aminoácidos. Sin embargo, una de las potenciales limitantes para usar soya integral procesada con calor en dietas para cerdos es asegurarse de aplicar el tratamiento térmico adecuado para reducir efectivamente los factores antinutricionales (ej. inhibición de tripsina) que causan una disminución en la digestibilidad de aminoácidos. Una segunda limitante es la digestibilidad del aceite de soya intacto sin proceso de calor, ya que es menor que el aceite de soya extraído.

Adams y Jensen (1984) compararon el contenido de energía y digestibilidad de nutrientes de dietas conteniendo soya tostada alimentando dietas isocalóricas e isonitrogenadas conteniendo la misma cantidad de aceite de soya extraído en cerdos de 6 kg. Las dietas que contenían aceite de soya extraído tuvieron significativamente mayor materia seca, energía, lípidos y digestibilidad de nitrógeno y retención de nitrógeno comparadas con los cerdos alimentados con dietas conteniendo una cantidad equivalente de aceite de soya a partir de soya integral tostada (Tabla 5). Similarmente, Agunbiade et al (1992) compararon el contenido de ED en la dieta de cerdos en crecimiento, alimentando dietas conteniendo concentraciones crecientes (4,8 y 12%) de aceite de soya a partir de soya integral extruida, o pasta de soya y aceite de soya extraído. Estos investigadores reportaron un menor contenido de ED en la soya integral extruida comparado con las dietas conteniendo una combinación de aceite de soya extraído y pasta de soya. Además, estas respuestas estuvieron relacionadas linealmente al rango de inclusión en la dieta, pero el peso corporal del cerdo (32 a 70 kg) no tuvo efecto. Estos resultados indican que al agregar aceite de soya extraído a dietas de cerdos mejora considerablemente la digestibilidad de energía comparado a alimentar dietas conteniendo la misma cantidad de aceite de soya a partir de soya integral procesada con calor. Además, el usar aceite de soya extraído y pasta de soya elimina la preocupación del tratamiento adecuado con calor a la soya integral para asegurar una digestibilidad óptima de aminoácidos y desempeño en crecimiento.

EFFECTOS DEL ACEITE DE SOYA SOBRE DIGESTIBILIDAD DE AMINOÁCIDOS

Se llevaron a cabo dos estudios para demostrar que al adicionar 5% de aceite de soya o grasa blanca selecta a dietas (conteniendo maíz, pasta de soya y 20% de DDGS de maíz) de cerdos en crecimiento, incrementaba la digestibilidad de aminoácidos (Kil et al., 2011). La digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos indispensables (arginina, histidina, isoleucina, leucina, fenilalanina y valina) así como de varios aminoácidos no esenciales se mejoró al adicionar ya sea aceite de soya o grasa blanca

selecta a la dieta (**Tabla 6**). La adición de lípidos suplementarios a dietas para cerdos ha demostrado el reducir la tasa de vaciado gástrico (Low et al., 1985) y disminuir la tasa de paso de digesta (Valaja y Siljander-Rasi, 2001), que muy posiblemente incrementa el tiempo para una digestión de proteína y absorción de aminoácidos más completa (Li y Sauer, 1994). Albin et al. (2001) también observaron mejoras en la digestibilidad ileal aparente de aminoácidos como leucina y arginina cuando se suplementaba la dieta de cerdos en crecimiento (78 kg peso corporal) con 2% de aceite de soya. Estos investigadores también observaron mejoras lineales en la digestibilidad ileal aparente de serina, histidina, arginina, tirosina y leucina con niveles de inclusión crecientes (0, 1 y 2%) de aceite de soya en las dietas. Sin embargo, aunque éstas mejoras en la digestibilidad de aminoácidos al alimentar dietas conteniendo aceite de soya son positivas, las magnitudes relativamente pequeñas en las mejoras no obligan a hacer ajustes en las formulaciones.

EFECTOS DEL ACEITE DE SOYA SOBRE DIGESTIBILIDAD DE MINERALES

Sólo se han llevado a cabo pocos estudios para evaluar la digestibilidad de minerales en dietas conteniendo aceite de soya (Steiner et al., 2006; Gonzalez-Vega et al., 2015; Merriman et al., 2016). Estudios efectuados por Steiner et al. (2006) y Gonzalez-Vega et al. (2015) reportaron que al alimentar dietas conteniendo aceite de soya a cerdos no tenía efecto sobre la digestibilidad de calcio ni de fósforo. Sin embargo, un estudio más reciente llevado a cabo por Merriman et al. (2016) demostró que la adición de 7% de aceite de soya a dietas de cerdos de 16 kg mejoraba la digestibilidad aparente del tracto total (DAT) de varios minerales en comparación con alimentar otras fuentes de lípidos (**Tabla 7**). La adición de aceite de soya, aceite de maíz y aceite de palma mejoraron la digestibilidad de materia seca, extracto etéreo (lípido) y extracto etéreo hidrolizado con ácido (EEA) comparado con alimentar grasas (sebo, grasa blanca selecta) a la dieta basal. De hecho, el aceite de soya tuvo el mayor valor numérico de (DAT) de estas medidas de digestibilidad. Además, las dietas con 7% de aceite de soya, aceite de maíz, aceite de palma y sebo tuvieron mejores digestibilidades de calcio, fósforo y azufre en comparación con la grasa blanca o la dieta basal. Nuevamente, al alimentar la dieta con aceite de soya resultó en un valor numérico de (DAT) mayor de calcio y fósforo comparado con alimentar otras fuentes de lípidos. Sin embargo, no hubo diferencias en el DAT de magnesio, sodio, potasio, manganeso o zinc entre dietas conteniendo diferentes fuentes de lípidos. Estos resultados sugieren que al incluir lípidos suplementarios en la dieta no se reduce la digestibilidad de calcio o lípidos y el aceite de soya tuvo el mayor efecto mejorando la digestibilidad de materia seca, lípidos, calcio y fósforo de entre todas las fuentes de lípidos evaluadas.

Tabla 7. Digestibilidad Aparente de Tracto Total de materia seca, extracto etéreo (EE), extracto etéreo hidrolizado con ácido (EEHA) y macro y micro-minerales en la dieta conteniendo 7% de sebo, grasa blanca selecta (GBS) aceite de palma, aceite de maíz o aceite de soya a cerdos jóvenes (adaptado de Merriman et al., 2016).

DATT, %	Basal	Sebo	GBS	Aceite de palma	Aceite de maíz	Aceite de soya
Materia seca	89.79 ^{bc}	90.68 ^{ab}	89.25 ^c	90.88 ^{ab}	90.73 ^{ab}	91.59 ^a
EE	29.62 ^c	81.59 ^{ab}	77.77 ^b	83.23 ^a	84.59 ^a	86.15 ^a
EEHA	39.75 ^c	81.17 ^{ab}	79.05 ^b	82.77 ^{ab}	82.84 ^{ab}	85.17 ^a
Calcio	51.65 ^b	65.13 ^a	54.07 ^b	66.07 ^a	67.47 ^a	71.71 ^a
Fósforo	52.06 ^b	62.00 ^a	53.52 ^b	61.06 ^a	59.80 ^a	62.98 ^a
Magnesio	25.62	24.73	23.53	26.94	30.91	35.37
Sodio	90.40	90.00	90.66	90.69	91.30	91.95
Potasio	76.68	74.25	72.60	77.37	73.89	79.17
Azufre	81.70 ^b	83.75 ^a	81.31 ^b	83.98 ^a	84.03 ^a	83.40 ^a
Manganeso	14.70	20.59	10.96	21.43	22.49	19.38
Zinc	13.51	11.14	11.74	13.68	17.00	12.29

ACEITE DE SOYA EN DIETAS PARA CERDOS DESTETADOS

Se llevó a cabo un estudio multi-universitario (n=9) para reevaluar las respuestas en desempeño en crecimiento y utilización de energía en cerdos de cría alimentados con niveles crecientes (1,3 y 5%) de aceite de soya estadounidense (Adeola et al., 2013). Las dietas fueron alimentadas en 3-fases (fase 1= día 0 al 7, fase 2= día 8 al 21, fase 3= día 22 al 35) y fueron formuladas para mantener una relación caloría a lisina constante dentro de cada fase. Los valores de energía del aceite de soya estadounidense fueron obtenidos del NRC (2012). Se utilizó

Tabla 8. Efecto del nivel de aceite de soya en la dieta sobre desempeño en crecimiento en general (día 0 a 35 post-destete) en cerdos de cría (adaptado de Adeola et al, 2013)

Medición	1% aceite de soya	3% aceite de soya	5% aceite de soya
Peso corporal, kg			
Día 0	6.76	6.72	6.74
Día 35	24.36	24.02	24.02
GDP, g	501	490	500
CAPD, g ¹	697	669	661
G:A ¹	724	737	747

¹Efecto lineal del nivel de inclusión de aceite de soya en la dieta (P < 0.001).

Tabla 9. Efecto del nivel de aceite de soya en la dieta sobre la digestibilidad aparente de tracto total, materia seca, nitrógeno, lípidos y energía del día 7 al 21 y del 22 al 35 en cerdos de cría (adaptado de Adeola, et al., 2013)

Medición	1% aceite de soya	3% aceite de soya	5% aceite de soya
Digestibilidad de dieta - día 7 a 21			
Materia seca, %	88.95	88.99	90.01
Nitrógeno, %	89.06	87.73	89.87
Lípidos ¹ , %	68.08	75.08	79.63
Digestibilidad de energía, %	89.97	90.19	90.87
Metabolicidad de energía, %	85.03	85.78	86.78
EM ¹ , kcal/kg	3,787	3,918	4,061
Digestibilidad de la dieta - día 22 al 35			
Materia seca, %	85.07	85.43	85.94
Nitrógeno, %	82.02	84.22	84.21
Lípidos ¹ , %	72.38	80.33	86.89
Energía digestible, %	85.34	86.17	86.61
Metabolicidad de energía, %	82.05	83.05	83.26
EM ¹ , kcal/kg	3,473	3,647	3,763

¹Efecto lineal del nivel de inclusión de aceite de soya en la dieta (P < 0.001).

una fuente de aceite de soya estadounidense de muy alta calidad con 94.6% de ácidos grasos totales, 0.02% de humedad, 0.01% de insolubles, 0.49% de insaponificables y 1.13% de ácidos grasos libres. En la **Tabla 8** se muestra un resumen del desempeño en crecimiento y del uso eficiente de energía de dietas conteniendo aceite de soya estadounidense en este estudio multi-universitario. Los niveles crecientes de aceite de soya estadounidense incluidos en la dieta no tuvieron efecto sobre el peso corporal de los cerdos al día 35 del período de alimentación, ni en la ganancia diaria promedio en general (GDP). Sin embargo, como se esperaba al agregar cantidades crecientes de aceite de soya a las dietas de cerdos de cría, se redujo linealmente el consumo de alimento promedio por día (CAPD) y mejoró linealmente ganancia: consumo (G:C). Además, los niveles crecientes de aceite de soya estadounidense de 1 % a 5% no tuvieron efecto sobre la digestibilidad de materia seca, nitrógeno y energía y metabolicidad de la energía, pero se incrementó linealmente el contenido de EM y digestibilidad de lípidos del día 7 al 21 y del día 22 al 35 de cerdos de cría (**Tabla 9**). Al calcular la eficiencia del uso de energía para ganancia de peso de cerdos de cría alimentados con dietas con niveles crecientes de aceite de soya norteamericana, no hubo diferencias del día 7 al 21 y del día 22 al 35 post-destete (**Tabla 10**). Estos resultados indican que los valores de energía para el aceite de soya estadounidense obtenidos del NRC (2012) son razonablemente precisos.

Jung et al., (2003) determinaron los efectos de alimentar dietas conteniendo 5% de aceite de maíz, aceite de soya, sebo y aceite de pescado a cerdos destetados de 5.8 kg sobre el desempeño en crecimiento, digestibilidad de nutrientes, componentes lípidos en suero y morfología intestinal a lo largo de un período de 28 días. La tasa de crecimiento fue mayor, y el consumo: ganancia (C:G) fue menor para los cerdos consumiendo las dietas suplementadas con aceite de maíz y aceite de soya en comparación con los que consumieron la dietas suplementadas con sebo y aceite de pescado (**Tabla 11**). La digestibilidad de energía bruta, materia seca, extracto etéreo y cenizas de las dietas suplementadas con aceite de maíz y aceite de soya fue similar, pero los cerdos consumiendo la dieta conteniendo aceite de soya tuvieron mayor digestibilidad de proteína cruda que los que consumieron dietas con aceite de maíz, sebo y aceite de pescado (**Tabla 11**). Los aceites vegetales tales como el aceite de soya contienen una mayor proporción de ácidos grasos insaturados en relación con ácidos grasos saturados, lo que resulta en una mayor digestibilidad aparente de extracto etéreo comparado con fuentes de grasa animal (Cera et al., 1988b, 1989^a, 1990b; Li et al., 1990). La mayor digestibilidad del aceite de soya se debe a la creciente habilidad de los ácidos grasos insaturados para fraccionarse en la fase micelar durante la digestión y absorción que con respecto a los ácidos grasos saturados (Freeman, 1969). Los cerdos alimentados con aceite de maíz, aceite de soya y sebo tuvieron alturas de vellosidades muy similares tanto en el duodeno como en el yeyuno, que a su vez fue mayor que en los cerdos consumiendo aceite de pescado. Sin embargo, la altura de las vellosidades en el íleon fue mayor para los cerdos consumiendo dietas con aceite de maíz comparado con los alimenta-

dos con dietas con aceite de soya, sebo o aceite de pescado (**Tabla 11**). Se ha sugerido que una reducción en la altura de las vellosidades puede disminuir el área de absorción de vellosidades lumbinales, lo que puede subsecuentemente resultar en una actividad enzimática y absorción de nutrientes subóptima (Cera et al., 1988a). Se debe tener extrema precaución al asumir ésta asociación hipotética. En el terreno de las ciencias animales, está ampliamente aceptado que las vellosidades más largas tienen mayor capacidad de absorción y en consecuencia las vellosidades largas son consideradas como un indicador de una mejora en la salud intestinal. Sin embargo, no hay ningún estudio publicado que demuestre que intestinos con vellosidades más largas efectivamente absorben más nutrientes. Por otra parte, mayores alturas de las vellosidades intestinales y criptas más profundas pueden inferir que el tracto gastrointestinal sea más pesado, lo que es indeseable en relación con el desempeño en el crecimiento del cerdo. Sería más útil el poder demostrar mayor número de vellosidades por longitud de intestino, lo que implicaría el tener una mayor capacidad de absorción aún si las vellosidades no cambian en altura, pero estas mediciones raramente se han reportado en la literatura científica. Por lo tanto, la interpretación de cambios en la altura de las vellosidades y profundidad de criptas requiere ser apoyada por mediciones funcionales. Actualmente, se desconoce la altura óptima de vellosidad, la profundidad de la cripta y la proporción ideal de estas medidas que deberían estar presentes en cada sección del intestino del cerdo a diferentes edades para soportar el crecimiento óptimo. Por lo tanto, a menos de que haya un daño claro al tejido o que las vellosidades se encuentren severamente embotados, los cambios en la morfología intestinal no son evidencia de la salud del intestino.

Tabla 10. Efecto del nivel de aceite de soya en la dieta sobre el uso eficiente de la energía para ganancia de peso corporal (PC) en cerdos de cría del día 7 al 21 y del día 22 al 35 post destete (adaptado de Adeola et al., 2013)

Medición	1% aceite de soya	3% aceite de soya	5% aceite de soya
Día 7 a 21			
PC ganancia/consumo de ED, kg/kcal	192	189	188
PC ganancia/consumo de EM, kg/kcal	203	199	198
PC ganancia/consumo de EN, kg/kcal	282	276	269
PC ganancia/consumo de EM por encima del mantenimiento, kg/kcal	329	325	319
PC ganancia/consumo de EN por encima de mantenimiento, kg/kcal	455	451	435
Día 22 a 35			
PC ganancia/consumo de ED, kg/kcal	186	187	184
PC ganancia/consumo de EM, kg/kcal	194	191	191
PC ganancia/consumo de EN, kg/kcal	264	264	259
PC ganancia/consumo de EM por encima de mantenimiento, kg/kcal	287	286	284
PC ganancia/consumo de EN por encima de mantenimiento, kg/kcal	391	390	385

Tabla 11. Efecto al agregar 5% de varias fuentes de lípidos en dietas de cerdos destetados sobre el desempeño en crecimiento, digestibilidad de energía aparente de la dieta, digestibilidad de nutrientes y morfología intestinal (adaptado de Jung et al., 2003).

Medición	Aceite de maíz	Aceite de soya	Sebo	Aceite de pescado
Desempeño en crecimiento (0-28 días)				
GDP, g	390 ^a	387 ^a	346 ^b	336 ^b
CDA, g	545	559	535	513
C:G	1.40 ^b	1.44 ^{ab}	1.55 ^a	1.53 ^{ab}
Digestibilidad aparente, %				
Energía bruta	86.4 ^a	86.1 ^{ab}	85.9 ^b	85.8 ^b
Materia seca	86.9	86.8	86.7	86.8
Proteína cruda	82.2 ^b	83.3 ^a	81.8 ^b	82.0 ^b
Extracto etéreo	83.0 ^a	82.7 ^{ab}	78.5 ^c	78.8 ^{bc}
Cenizas	59.5 ^b	60.9 ^b	63.8 ^a	62.2 ^{ab}
Morfología intestinal				
Duodeno				
Altura de vellosidades μm	512 ^a	518 ^a	492 ^a	398 ^b
Profundidad de criptas, μm	170	201	216	170

Continuación Tabla 11. Efecto al agregar 5% de varias fuentes de lípidos en dietas de cerdos destetados sobre el desempeño en crecimiento, digestibilidad de energía aparente de la dieta, digestibilidad de nutrientes y morfología intestinal (adaptado de Jung et al., 2003).

Medición	Aceite de maíz	Aceite de soya	Sebo	Aceite de pescado
Yeyuno				
Altura de vellosidades, µm	541 ^a	411 ^{ab}	482 ^{ab}	365 ^c
Profundidad de criptas, µm	168 ^a	159 ^{ab}	160 ^{ab}	129 ^b
Ileon				
Altura de vellosidades, µm	464 ^a	397 ^b	370 ^b	363 ^b
Profundidad de criptas, µm	158	127	146	150

^{a,b,c}Medias con superíndices desiguales son diferentes (P < 0.05).

ACEITE DE SOYA EN DIETAS PARA CERDOS EN CRECIMIENTO-FINALIZACIÓN

Kil et al. (2013) determinaron los efectos de incluir 0 u 8% de aceite de soya a dietas de cerdos en crecimiento (28 kg) y finalización (87 kg) sobre el desempeño en crecimiento y retención de energía, proteína y lípidos. Como se muestra en las **Tablas 12 y 13**, hubo una tendencia a mejorar la GDP, el contenido de ED de la dieta y el peso corporal libre de digesta (PC) cuando se agregó 8% de aceite de soya a las dietas. Estas mejoras fueron probablemente el resultado de mejoras significativas en digestibilidad aparente de tracto total (DAT^T) de la digestibilidad de extracto etéreo hidrolizado con ácidos (EEHA) y energía bruta (EB) al incluir 8% de aceite de soya a las dietas comparado con alimentar las dietas control. Sin embargo, el alimentar dietas con aceite de soya al 8% no tuvo efectos sobre el consumo diario promedio (CDI), G:C (ganancia: consumo) o retención de energía, proteína y lípidos.

Tabla 12. Efectos de alimentar dietas conteniendo 0 u 8% de aceite de soya a cerdos en crecimiento-finalización sobre el desempeño en crecimiento, digestibilidad de energía de la dieta y nutrientes (adaptado de Kil et al., 2013)

Medición	Cerdos en crecimiento		Cerdos en finalización	
	0% aceite de soya	8% aceite de soya	0% aceite de soya	8% aceite de soya
PC inicial, kg	27.3	27.3	85.3	86.2
PC final, kg	54.3	55.9	129.3	133.7
GDP ¹ , kg	0.96	1.02	1.26	1.36
CPAD, kg	2.06	2.19	3.89	3.80
G:C	0.47	0.47	0.33	0.36
Proteína cruda DAT ^T , %	77.2	76.2	74.2	76.4
Extracto etéreo hidrolizado con ácido, DAT ^{T2} , %	47.5	70.1	42.9	67.9
EB DAT ^{T2} , %	80.9	81.9	82.4	84.3
ED ¹ dieta, kcal/kg	3,067	3,394	3,134	3,455

¹Tendencia (P < 0.12) para una mejora con aceite de soya.

²Mejora con aceite de soya (P < 0.05)

Tabla 13. Efectos de alimentar dietas conteniendo 0 u 8% de aceite de soya a cerdos en crecimiento-finalización sobre la composición de la canal y retención de energía, proteína y lípidos (adaptado de Kil et al., 2013)

Medición	Cerdos en crecimiento		Cerdos en finalización	
	0% aceite de soya	8% aceite de soya	0% aceite de soya	8% aceite de soya
PC ¹ , kg	51.5	53.3	125.6	130.0
Peso Canal Caliente, kg	41.9	43.3	105.2	109.0
Porcentaje de canal, %	81.4	81.3	83.7	83.8
PC ¹ libre de digesta, kg	49.5	51.3	124.4	128.9
Proteína total, kg/cerdo	8.5	8.5	19.5	19.6
Lípidos totales, kg/cerdo	6.2	7.3	33.9	34.3
Energía total, Mcal/cerdo	107.2	120.5	428.5	444.6
Proteína retenida, g/d	143.3	146.5	174.1	173.1
Lípidos retenidos, g/d	143.2	182.4	506.3	511.0
Energía retenida, Mcal/d	2.3	2.7	5.8	6.2

¹Tendencia (P < 0.12) a una mejora con aceite de soya.

²Mejora con aceite de soya (P < 0.05).

Benz et al. (2011) compararon el desempeño en crecimiento y características de la canal de cerdos en crecimiento- finalización consumiendo dietas conteniendo 5% de grasa blanca selecta o 5% de aceite de soya estadounidense (Tabla 14). Los cerdos alimentados con aceite de soya tendieron a tener mayor GDP (ganancia diaria de peso) comparados con cerdos alimentados con dietas con grasa blanca selecta, pero no hubo diferencias en el CDAP (consumo diario de alimento promedio) o en G:C (ganancia: consumo) entre las dietas. El alimentar las dietas con grasa blanca selecta mejoró el rendimiento en canal comparado con el consumo de aceite de soya, pero no hubo diferencias en el grosor de la grasa dorsal, profundidad del lomo o porcentaje de canal magra entre estas dietas. Sin embargo, alimentar dietas con aceite de soya incrementó sustancialmente la grasa de la papada y el valor de yodo de la grasa dorsal (contenido de ácido graso insaturado: saturado) comparado con alimentar dietas con grasa blanca selecta. Un incremento en el valor de yodo de la grasa en el cerdo es indicativo de una reducción en la firmeza de la grasa, lo que puede reducir la estabilidad de la vida de anaquel y la preferencia de los consumidores en mercados específicos.

Tabla 14. Desempeño en crecimiento y características de la canal de cerdos alimentados con dietas a base de maíz-pasta de soya sin lípidos suplementados (control), 5% de grasa blanca selecta, o 5% de aceite de soya por un período de 82 días (adaptado por Benz et al., 2011)

Medición	Control	5% Grasa blanca selecta	5% Aceite de soya
Desempeño en crecimiento			
GDP, kg	0.99	1.04 ^x	1.07 ^y
CADP, kg	3.15	2.96	3.11
G:C	0.35	0.38	0.39
Características de la canal			
Canal caliente peso, kg	90.6	94.3	95.9
Rendimiento, %	72.5	73.3 ^a	73.1 ^b
Grasa dorsal de la última costilla, mm	24.4	22.4	26.4
Grasa dorsal 10 ^a costilla, mm	17.8	17.8	20.1
Profundidad del lomo, mm	56.4	60.2	59.9
Canal magra, %	54.5	55.2	53.7
Valor de yodo de la grasa de papada, g/100 g	67.1	71.5 ^a	82.0 ^b
Valor de yodo de la grasa dorsal, g/100 g	63.3	68.8 ^a	84.3 ^b

^{a,b}Medias con superíndices desiguales son diferentes (P < 0.05).

^{x,y}Medias con superíndices desiguales son diferentes (P < 0.07).

Penner et al. (2018) fueron los últimos en llevar a cabo un trabajo para evaluar el uso de aceite de soya norteamericana en cerdos en crecimiento- finalización. El objetivo de este estudio fue comparar el desempeño en crecimiento, características de la canal, y la relación de ácidos grasos poliinsaturados a saturados en la carne de cerdo para mejorar la alimentación en humanos. Resultados en numerosos trabajos de nutrición en humanos han sugerido que el consumo de dietas conteniendo cantidades crecientes de grasas saturadas pueden llevar a una hipercolesterolemia, desarrollo de aterosclerosis y mayor riesgo de enfermedades coronarias. Sin embargo, el consumo de dietas conteniendo ácidos grasos poliinsaturados en lugar de grasas saturadas han demostrado disminuir este riesgo. Por lo tanto, se alimentaron cerdos en crecimiento-finalización con dietas a base de maíz- pasta de soya conteniendo ya sea grasa blanca selecta (fuente de grasa saturada) o aceite de soya (fuente de aceite poliinsaturado) a niveles crecientes del consumo calórico total (0, 10, 20, 30 o 40% del consumo calórico total). Los resultados en desempeño en crecimiento se muestran en la Tabla 15. Donde no hubo diferencias en GDP (ganancia diaria de peso) entre dietas, pero al agregar ya sea grasa blanca selecta o aceite de soya resultó en una reducción lineal de CDAP (consumo diario de alimento promedio). Se esperaba este resultado ya que está bien documentado que un incremento en la densidad energética a partir de la adición de grasa suplementaria o de aceite reduce el consumo de alimentos en los cerdos. Como resultado, hubo un incremento lineal en la eficiencia en ganancia (G: C) cuando las dietas contenían proporciones crecientes de calorías a partir de grasa blanca selecta o de aceite de soya. Estos resultados son consistentes con los reportados en un estudio previo (Morgan et al., 1992), pero diferentes de los reportados por Apple et al. (2009), que no mostraron diferencias en GDP, CDAP o G: C cuando se alimentaron las dietas conteniendo 5% de sebo de res, grasa de ave o aceite de soya. Benz et al (2011) reportaron que alimentando dietas con 5% de aceite de soya mejoraban la GDP, pero no se observaron mejoras cuando las dietas contenían 5% de grasa blanca selecta. Penner et al. (2018) demostraron que el consumo diario promedio de EM fue similar entre tratamientos a excepción de cuando los cerdos eran

alimentados el 40% de las calorías de la dieta a partir de grasa blanca selecta. Estos resultados sugieren que, sin importar la fuente de lípidos, el alimentar dietas con proporciones crecientes de calorías a partir de grasa blanca selecta o de aceite de soya incrementan linealmente la eficiencia de ganancia magra.

Tabla 15. Desempeño en crecimiento de cerdos alimentados con dietas conteniendo grasa blanca selecta o aceite de soya adicionados a 0, 10, 20, 30 ó 40% del total del consumo calórico (adaptado por Penner et al., 2018)

Medición	Control	Grasa Blanca Selecta				Aceite de Soya			
		10%	20%	30%	40%	10%	20%	30%	40%
GDP, kg/day	0.88	0.85	1.03	0.98	0.89	0.92	0.96	0.92	0.93
CDAP, kg/day	3.14 ^a	2.83 ^{bcd}	2.96 ^{abc}	2.58 ^{cd}	2.17 ^f	3.01 ^{ab}	2.71 ^{bcd}	2.48 ^{def}	2.35 ^{ef}
G:C	0.276 ^c	0.295 ^c	0.347 ^b	0.381 ^{ab}	0.403 ^a	0.307 ^c	0.354 ^b	0.370 ^{ab}	0.394 ^a
Consumo promedio diario de EM, Mcal	11.9 ^{ab}	11.3 ^{abc}	12.4 ^a	11.5 ^{abc}	10.2 ^c	11.9 ^b	11.3 ^{bc}	10.9 ^{bc}	10.4 ^{bc}
Eficiencia de ganancia magra, g/kg	97 ^e	105 ^{de}	113 ^{cde}	131 ^{ab}	116 ^a	110 ^{de}	120 ^{bcd}	127 ^{abc}	128 ^{ab}

^{a,b,c,d,e,f}Medias dentro de hileras con superíndices distintos son diferentes (P < 0.05).

Aunque se observaron algunas diferencias en características y composición de canal entre cerdos consumiendo las dietas, no hubo mayores tendencias en respuestas al alimentar la grasa blanca selecta o el aceite de soya, excepto que los cerdos consumiendo la grasa blanca selecta tendieron a tener mayor grosor de grasa dorsal que los cerdos alimentados con el aceite de soya (Tabla 16). Aunque no hubo diferencias significativas entre tratamientos, la ganancia diaria promedio de canal magra parece mejorar con la adición de niveles crecientes de calorías a partir de la grasa blanca selecta o del aceite de soya en las dietas. Además, los cerdos alimentados con las dietas suplementadas con lípidos parecen tener más grasa de canal y piel y son menos magros que los cerdos consumiendo la dieta control. Estos resultados son similares a los reportados por (Benz et al., 2011), donde no observaron diferencias en la grasa dorsal, profundidad de lomo, porcentaje de canal magra cuando los cerdos consumieron dietas ya sea con grasa blanca selecta o con aceite de soya en comparación con las dietas control.

Tabla 16. Características y composición de la canal de cerdos alimentados con dietas conteniendo grasa blanca selecta o aceite de soya adicionados en 0, 10, 20, 30, o 40% del consumo calórico total (adaptado de Penner et al., 2018)

Medición	Control	Grasa Blanca Selecta				Aceite de Soya			
		10%	20%	30%	40%	10%	20%	30%	40%
Característica									
Peso de la canal, kg	80.7 ^a	81.2 ^{ab}	83.9 ^{bc}	85.2 ^c	83.6 ^{bc}	83.4 ^{bc}	83.4 ^{abc}	82.1 ^{ab}	82.3 ^{ab}
Rendimiento, %	74.2 ^{ab}	74.3 ^{ab}	74.9 ^{ab}	75.1 ^a	74.3 ^{ab}	74.8 ^{ab}	74.3 ^{ab}	73.6 ^a	74.1 ^{ab}
Longitud de canal, cm	80.8	81.1	81.5	81.3	81.1	81.9	81.8	82.6	80.7
Grasa dorsal 10 ^o costilla, cm	2.50	2.41	2.94	2.99	2.93	2.54	2.58	2.56	2.94
Area muscular del lomo, cm ²	38.2	35.6	37.6	38.0	38.3	39.7	38.1	35.8	35.0
Ganancia magra de la canal, g/día	298	298	333	338	313	328	321	315	306
Puntaje de color magro	2.83 ^{ab}	2.83 ^{ab}	3.00 ^a	2.83 ^{ab}	2.35 ^b	2.67 ^{ab}	2.83 ^{ab}	3.00 ^a	2.67 ^{ab}
Puntaje de marmoleado	2.67 ^{ab}	2.67 ^{ab}	2.83 ^a	2.50 ^{ab}	2.33 ^{ab}	2.67 ^{ab}	2.00 ^b	2.83 ^d	2.33 ^{ab}
Puntaje de firmeza magra	2.83 ^d	2.50 ^{de}	2.83 ^d	2.67 ^{de}	2.35 ^{de}	2.50 ^{de}	2.33 ^{de}	2.83 ^d	2.17 ^e
Composición									
Magro, %	50.2	47.3	48.0	46.0	48.5	48.2	48.1	48.4	46.9
Grasa, %	30.7 ^a	32.9 ^{ab}	33.5 ^{ab}	36.6 ^b	33.1 ^{ab}	33.7 ^{ab}	33.8 ^{ab}	31.6 ^{ab}	34.7 ^{ab}
Hueso, %	13.8 ^{ab}	14.9 ^a	13.9 ^{ab}	12.4 ^a	13.3 ^{ab}	13.0 ^b	13.7 ^{ab}	14.7 ^a	13.5 ^{ab}
Piel, %	5.33 ^a	4.89 ^{ab}	4.67 ^{ab}	4.91 ^{ab}	5.18 ^{ab}	5.10 ^{ab}	4.50 ^b	5.27 ^a	4.87 ^{ab}

^{a,b,c}Medias dentro de hileras con distintos superíndices son diferentes (P < 0.05).

^{d,e}Medias dentro de hileras con superíndices distintos son diferentes (P < 0.10).

Los cambios en la composición de ácidos grasos de la grasa dorsal fueron más pronunciados en cerdos consumiendo las dietas con aceite de soya que aquellos alimentados con la dieta con grasa blanca selecta. Alimentar dietas con grasa blanca selecta a cerdos en crecimiento-finalización resulta en una disminución de los ácidos grasos saturados (AGS), incremento en los ácidos grasos monoinsaturados (AGM), sin cambios en el contenido de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA/AGPI) de la grasa dorsal (la información no se muestra). Cuando se alimentaba la dieta conteniendo el 40% de las calorías a partir de aceite de soya, el contenido de AGS de la grasa dorsal decrecía en casi 50%, el contenido de AGM decrecía en 33% y el contenido de

PUFA/AGPI incrementaba a más del doble, resultando en casi un incremento en 5-veces la tasa de PUFA/AGPI (ácidos grasos poliinsaturados) a AGS (ácidos grasos saturados). Se esperaban estos resultados ya que el aceite de soya contiene una alta concentración de ácido linoleico a partir del cual una gran proporción es depositada en el tejido adiposo. Apple et al. (2009) reportaron incrementos similares en el contenido de PUFA/AGPI (ácidos grasos poliinsaturados) de la grasa dorsal al consumir dietas con 5% de aceite de soya.

La deposición de grasa intermuscular en jamón tuvo cambios similares a los lípidos de la dieta como se observa en el perfil de ácidos grasos de la grasa dorsal (**Tabla 17**). En contraste la adición de calorías crecientes de aceite de soya a las dietas disminuía linealmente el contenido de AGS (ácidos grasos saturados) y AGM (ácidos grasos monoinsaturados) e incrementaba linealmente el contenido de AGPI (ácidos grasos poliinsaturados) por encima del 140%. Además, las concentraciones de AGS y de AGM fueron ligeramente mayores y las concentraciones de AGPI fueron ligeramente menores en el músculo Longissimus comparado con los músculos triceps brachii o bíceps femoris (no se muestra la información). Estos resultados indican que la inclusión de aceite de soya en las dietas de cerdos en crecimiento-finalización a las 10 semanas previas al sacrificio es efectivo para disminuir el contenido de AGS (ácidos grasos saturados) y de AGM (ácidos grasos Monoinsaturados), e incrementar el contenido de PUFA/AGPI (ácidos grasos poliinsaturados) en el músculo del cerdo sin afectar negativamente el desempeño en crecimiento y otra característica de la canal. En un estudio previo en que los humanos consumieron carne y manteca de cerdos alimentados con la dieta control comparado con estos productos derivados de cerdos consumiendo dietas conteniendo el 40% de las calorías con dietas con aceite de soya, el colesterol total en plasma y el colesterol-LDL se redujeron y la composición de ácidos grasos tuvo un cambio hacia más PUFAS/AGPIs (ácidos grasos poliinsaturados) en plasma y eritrocitos (Stewart et al., 2001). Como resultado, el consumir carne de cerdos alimentados con dietas conteniendo aceite de soya puede ser efectivo para reducir el riesgo de aterosclerosis y afecciones cardiacas en humanos. Estos beneficios no se observaron al alimentar a cerdos en crecimiento finalización con dietas conteniendo grasa blanca selecta.

Tabla 17. Composición de ácidos grasos (porcentaje del total de ácidos grasos) de la grasa intermuscular de los músculos del jamón y del lomo (Longissimus dorsi) de cerdos consumiendo dietas conteniendo ya sea grasa blanca selecta o aceite de soya agregados al 0, 10, 20, 30, ó 40% del total del consumo calórico (adaptado de Penner et al., 2018)

Medición	Control	Grasa Blanca Selecta				Aceite de Soya			
		10%	20%	30%	40%	10%	20%	30%	40%
Jamón									
C16:0, %	26.7 ^a	25.7 ^a	26.6 ^a	25.1 ^a	24.5 ^{ab}	25.8 ^a	21.9 ^b	18.2 ^c	16.4 ^c
C18:0, %	11.4 ^a	10.6 ^{ab}	10.0 ^{ab}	9.3 ^b	10.1 ^{ab}	10.2 ^{ab}	9.6 ^b	7.7 ^{cd}	7.2 ^d
C18:1, %	41.7 ^a	43.8 ^a	41.3 ^a	43.6 ^a	44.8 ^a	35.7 ^b	31.1 ^{bc}	30.4 ^c	29.9 ^c
C18:2, %	13.8 ^f	14.1 ^f	15.1 ^f	15.3 ^f	14.6 ^f	21.9 ^g	30.9 ^h	37.7 ⁱ	39.4 ⁱ
C18:3, %	0.29 ^a	0.29 ^a	0.39 ^a	0.43 ^a	0.39 ^a	1.07 ^b	2.07 ^c	2.93 ^d	3.39 ^e
AGS totales, %	39.9 ^a	38.0 ^a	38.6 ^a	36.3 ^{ab}	36.3 ^{ab}	37.9 ^a	32.9 ^b	27.1 ^c	24.6 ^c
AGM totales, %	45.6 ^a	47.4 ^a	45.6 ^a	47.6 ^a	48.4 ^a	38.8 ^b	33.7 ^c	32.2 ^c	31.9 ^c
AGP totales, %	14.5 ^f	14.6 ^f	15.8 ^f	16.1 ^f	15.2 ^f	23.4 ^g	33.5 ^h	40.7 ⁱ	43.5 ⁱ
I:S	1.52 ^a	1.65 ^a	1.61 ^a	1.77 ^{ab}	1.78 ^{ab}	1.68 ^a	2.12 ^b	2.76 ^c	3.15 ^c
Lomo									
C16:0, %	27.5 ^a	26.9 ^a	26.4 ^a	26.0 ^{ab}	26.1 ^{ab}	26.8 ^a	24.5 ^b	22.3 ^c	19.3 ^d
C18:0, %	12.3 ^a	12.0 ^{ab}	11.2 ^{ab}	11.0 ^{bc}	11.2 ^{ab}	11.7 ^{ab}	11.5 ^{ab}	10.1 ^c	8.7 ^d
C18:1, %	43.2 ^{ab}	46.0 ^a	45.2 ^a	44.4 ^{ab}	40.8 ^{bc}	39.1 ^c	38.5 ^c	32.5 ^d	31.6 ^e
C18:2, %	7.4 ^a	6.8 ^a	8.1 ^a	9.9 ^{ab}	12.8 ^b	12.6 ^b	16.6 ^c	25.8 ^d	31.4 ^e
C18:3, %	0.19 ^f	0.19 ^f	0.33 ^f	0.25 ^f	0.54 ^{fg}	0.60 ^{fg}	1.03 ^g	2.41 ^h	3.16 ⁱ
AGS totales, %	41.4 ^a	40.4 ^{ab}	39.2 ^{abc}	38.6 ^{bc}	39.0 ^{abc}	40.2 ^{abc}	37.4 ^c	33.8 ^d	29.3 ^e
AGM totales, %	49.8 ^{ab}	51.7 ^a	51.0 ^a	50.2 ^a	46.4 ^b	45.0 ^c	43.5 ^c	36.1 ^d	34.6 ^d
AGP totales, %	8.8 ^a	8.0 ^a	9.8 ^a	11.2 ^{ab}	14.6 ^b	14.8 ^b	19.1 ^c	30.0 ^d	36.1 ^e
Lípidos totales, %	3.24 ^{ab}	3.82 ^a	3.25 ^{ab}	3.47 ^a	3.18 ^{ab}	2.47 ^b	2.60 ^b	3.07 ^{ab}	3.46 ^a
I:S	1.42 ^a	1.48 ^{ab}	1.57 ^{ab}	1.60 ^{ab}	1.58 ^{ab}	1.50 ^{ab}	1.68 ^b	1.97 ^c	2.44 ^d

^{a,b,c,d,e} Medias dentro de hileras con superíndices distintos son diferentes (P < 0.05).

^{f,g,h,i} Medias dentro de hileras con superíndices distintos son diferentes (P < 0.05).

Tabla 18. Tasa de crecimiento promedio y respuestas en consumo: ganancia de cerdos bajo condiciones moderadas de estrés calórico alimentados con niveles crecientes de aceite de soya (AS) en la dieta con niveles altos y bajos de proteína cruda comparada con cerdos confinados en condiciones termoneutrales (adaptado de Wolp et al., 2012)

Medición	Control	1.5% AS	3.0% AS	4.5% AS
GDP, g	1,017	911 ^b	940 ^{ab}	985 ^a
C:G	2.29	2.62 ^a	2.50 ^{ab}	2.42 ^a

BENEFICIOS DE DIETAS CON ACEITE DE SOYA EN CERDOS EN CRECIMIENTO- FINALIZACIÓN BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS CALÓRICO

Cuando los cerdos son expuestos a calor excesivo en condiciones de producción comercial, la tasa y eficiencia de crecimiento se ve comprometida debido a varios factores como es la reducción en el consumo de alimento (Witte et al., 2000; Kiefer et al., 2005). Estos efectos adversos de estrés calórico sobre el desempeño en crecimiento pueden ser minimizados disminuyendo los niveles de proteína cruda en la dieta por medio de una adecuada suplementación de aminoácidos cristalinos para satisfacer los requerimientos diarios de aminoácidos digestibles, que se ha demostrado reduce la producción de calor corporal (Stahly y Cromwell, 1986). La adición de lípidos suplementarios a dietas de cerdos puede tener un mayor efecto reduciendo el incremento calórico comparado con la reducción del contenido de proteína cruda de la dieta (Li y Saur, 1994; Noblet et al., 2001; Spencer et al., 2005). Por lo tanto, Wolp et al. (2012) evaluaron los efectos de alimentar dietas isocalóricas conteniendo niveles crecientes de aceite de soya (1.5, 3.0 y 4.5%) y reduciendo el contenido de proteína cruda (15.5% vs 18%) con una suplementación de cantidades adecuadas de aminoácidos cristalinos, sobre el desempeño en crecimiento de cerdos confinados en condiciones de estrés calórico (32°C, 60 – 70% de humedad relativa) comparado con un ambiente termoneutral (22°C, 60 a 70% de humedad relativa). Los resultados de este estudio mostraron que las condiciones de temperatura elevadas redujeron la tasa de crecimiento y conversión alimenticia en comparación con cerdos confinados bajo condiciones termoneutrales (**Tabla 18**). Sin embargo, la adición de 4.5% de aceite de soya mejoró la GDP (ganancia diaria de peso) y redujo la tasa C: G (consumo: ganancia) en cerdos confinados bajo condiciones de estrés calórico, comparado con alimentar dietas con 1.5% de aceite de soya sin importar si los niveles de proteína cruda fueron reducidos. Por lo tanto, la adición de 4.5% de aceite de soya a dietas de cerdos en crecimiento- finalización pueden ser efectivas para restaurar parcialmente el desempeño en crecimiento de cerdos bajo condiciones moderadas de estrés calórico.

SUPLEMENTACIÓN CON ACEITE DE SOYA DE DIETAS DE CERDAS GESTANTES Y LACTANTES

Está bien documentado que el adicionar grasa o aceite a las dietas de cerdas en lactancia, se incrementan la densidad energética de las dietas y el consumo energético, aunque el consumo de alimento disminuya (Schoenherr et al., 1989; Renaudeau et al., 2001). Además, el alimentar lípidos suplementarios a las dietas de cerdas en lactancia resulta en incrementos en el contenido de grasa de la leche (Schoenherr et al., 1989; van den Brand et al., 2000; Tenaudeau et al., 2001) pero generalmente no afecta la pérdida de peso corporal, grasa dorsal o el desempeño reproductivo de las cerdas. Sin embargo, cuando se alimentan lípidos suplementarios a las dietas de las cerdas previo al parto, el incremento en el contenido de lípidos en el calostro puede reducir la mortalidad pre-destete, especialmente si los índices de mortalidad pre-destete en la piara son elevados (Pettigrew, 1981).

Quiniou et al. (2008) citaron un trabajo francés por Mourot (2001) en donde proveía evidencia de que la adición de lípidos suplementarios a dietas de gestación y lactación incrementaba el número de células adiposas en el tejido adiposo y en el músculo Longissimus dorsi de lechones al nacimiento, que puede llevar a la acumulación de mayor cantidad de lípidos en estos tejidos. Aunque muy pocos estudios han evaluado los efectos subsecuentes de alimentar dietas con lípidos suplementarios a cerdas sobre el crecimiento y composición de la canal de sus camadas, esta respuesta puede ser benéfica para mejorar la calidad del cerdo debido a que las líneas genéticas modernas han reducido la deposición de lípidos en el tejido adiposo y músculo (Tribout y Bidanel, 1999; Labroue et al., 2001). Por lo tanto, Quiniou et al. (2008) llevaron a cabo un estudio para comparar los efectos en el desempeño al alimentar dietas isocalóricas conteniendo 11% de almidón de maíz o 5% de aceite de soya (formulado con base en EN) durante la gestación (día 35 hasta el parto) y lactancia (28 días) o sólo lactancia. También se evaluaron el desempeño de la cerda y la camada durante el destete y el posterior desempeño en crecimiento y características de la canal y de las camadas desde el destete hasta el peso a mercado.

Como se muestra en la **Tabla 19**, el alimentar dietas con 5% de aceite de soya durante la gestación y la lactancia no tuvieron efecto sobre el número total de cerdos nacidos, nacidos vivos y destetados, pero incrementaron los pesos de los cerditos y de la camada al destete (Quiniou et al., 2008) Además, las cerdas que consumieron la dieta con aceite de soya, redujeron el número de lechones nacidos muertos, la mortalidad de cerdos nacidos vivos dentro de las primeras 24 horas después del nacimiento y en general la mortalidad pre-destete comparada con cerdas alimentadas con dietas con un nivel equivalente de energía pero a partir de almidón de maíz. Se observaron efectos similares cuando se alimentaron las dietas con 5% de aceite de soya solamente durante la lactancia, donde hubo una mejoría en la ganancia de peso de la camada, aunque las camadas consumieron menos alimento de iniciación (creep-feed) que aquellas de cerdas consumiendo la dieta a base de almidón de maíz (**Tabla 19**). Debido a un relativamente bajo número de cerdas por tratamiento, no hubo diferencias significativas en pérdida de peso ni en grasa dorsal durante la lactancia entre las dietas. Sin embargo, cuando las cerdas fueron alimentadas con dietas con aceite de soya durante la lactancia solamente, ellas presentaron un intervalo destete – estro más corto (**Tabla 20**). Además, no hubo diferencias en el desempeño en crecimiento de la progenie de estas cerdas durante los períodos de cría y de crecimiento-finalización, ni diferencias en las características de las canales al sacrificio. Sin embargo, los cerdos de las cerdas consumiendo las dietas con 5% de aceite de soya durante gestación y lactancia tuvieron mayor contenido de lípidos en la canal al destete, lo que se debió al incremento en el número de células adiposas en el tejido adiposo subcutáneo dorsal y en el músculo (la información no se muestra). Esta ventaja de alimentar dietas con aceite de soya a hembras desde el inicio a lo largo del período de crecimiento- finalización hasta el sacrificio, donde el contenido de lípidos del músculo Longissimus dorsi fue mucho mayor, en comparación con la progenie de las cerdas alimentadas con dietas a base de almidón de maíz (**Tabla 21**). Estos resultados sugieren que el adicionar 5% de aceite de soya a dietas de cerdas en gestación y lactancia puede ser benéfico para mejorar el contenido de lípidos y la calidad de cerdos de la camada.

Tabla 19. Efectos de alimentar dietas isocalóricas con almidón de maíz y con aceite de soya durante la gestación y lactancia, o durante la lactancia solamente sobre el desempeño y mortalidad de la camada (adaptado de Quiniou et al., 2008)

Medición	Gestación y Lactancia		Lactancia	
	Almidón de maíz	Aceite de soya	Almidón de maíz	Aceite de soya
No. cerdas	32	35	70	73
No. lechones/camada				
Total nacidos	14.5	14.0	14.5	13.7
Nacidos vivos	13.5	13.4	13.5 ^a	12.7 ^b
Destetados	11.2	11.3	11.4	11.3
Peso corporal, kg/lechon				
Nacimientos (total nacidos)	1.51	1.51	1.54	1.53
Destete	9.09 ^b	9.49 ^a	8.85	8.95
Peso corporal, kg/camada				
Nacimientos (total nacidos)	21.2	21.1	21.7	20.7
Destete	101.0 ^b	107.8 ^a	100.2	101.2

Continuación Tabla 19. Efectos de alimentar dietas isocalóricas con almidón de maíz y con aceite de soya durante la gestación y lactancia, o durante la lactancia solamente sobre el desempeño y mortalidad de la camada (adaptado de Quiliou et al., 2008)

Medición	Gestación y Lactancia		Lactancia	
	Almidón de maíz	Aceite de soya	Almidón de maíz	Aceite de soya
Ganancia diaria de peso de camada, kg/camada	3.01 ^b	3.20 ^a	2.83 ^b	2.92 ^a
Consumo de alimento, kg/camada	3.7	3.6	4.2 ^a	3.4 ^b
Mortalidad, %				
Nacidos muertos	7.5 ^b	4.0 ^a		
Dentro de las primeras 24h post-parto	6.3	6.9		
Después de 24 horas post-parto	12.6 ^y	8.7 ^x	10.7 ^b	8.1 ^a
Total pre-destete	24.3 ^b	18.6 ^a		

^{a,b}Medias con superíndices distintos dentro de períodos alimenticios son diferentes (P < 0.05).

^{x,y}Medias con superíndices distintos dentro de períodos alimenticios son diferentes (P < 0.06).

Tabla 20. Efectos de alimentar dietas isocalóricas con almidón de maíz y aceite de soya a cerdas durante la gestación y lactancia o sólo la lactancia, sobre características corporales de la cerda y desempeño reproductivo después del destete (adaptado de Quiniou et al., 2008)

Medición	Gestación y Lactación		Lactación	
	Almidón de maíz	Aceite de soya	Almidón de maíz	Aceite de soya
Promedio de parición	3.5	3.5	3.0	3.4
Peso corporal, kg				
Día 7 de gestación	202	201	198	201
Post- parto	253	252	254	257
Destete	231 ^x	225 ^y	227	234
Grosor grasa dorsal (P2), mm				
Día 7 de gestación	16.6	16.8	15.7	15.6
Día 108 de gestación	19.8	20.3	19.4	19.4
Destete	16.2	15.6	15.7	15.4
CDAP, kg/cerda	6.53	6.36	6.27	6.09
EN consumo, Mcal/día/cerda	14.83	15.31	14.24	14.55
% de cerdas en anestro	9.4	8.6	5.7	4.1
Intervalo de destete a estro, días	4.0	4.0	5.1 ^b	4.7 ^a

^{a,b}Medias con superíndices distintos dentro del período de alimentación son diferentes (P < 0.05).

^{x,y}Medias con superíndices distintos dentro del mismo período de alimentación son diferentes (P < 0.08).

Tabla 21. Efectos de alimentar dietas isocalóricas con almidón de maíz y aceite de soya a cerdas durante la gestación y lactancia o solamente la lactancia sobre el desempeño en crecimiento y características de la canal de la progenie, desde el destete hasta el sacrificio (adaptado de Quiniou et al., 2008)

Medición	Gestación y Lactación		Lactación	
	Almidón de maíz	Aceite de soya	Almidón de maíz	Aceite de soya
Cría				
Peso corporal, kg				
Destete (28 días de edad)	9.26	9.69	8.00	8.49
61 días de edad	26.1	26.7	24.8	25.7
GDP, g	509	516	509	523
CADP, g	710	713	737	758
C:G	1.40	1.39	1.45	1.45
Crecimiento-finalización				
Peso corporal inicial, kg	26.4	27.0	25.0	26.1
Peso corporal final, kg	112.6	112.4	109.2	110.2
Período de consumo, días	100.4	97.7	93.8	93.1
GDP, g	861	877	897	904
C:G	2.63	2.67	2.52	2.52
Peso de canal caliente, kg	89.5	88.9	86.9	86.5
Canal magra, %	61.3	61.2	61.7	61.2
Lípidos totales en tejidos adiposo subcutáneo dorsal, %	70.37	71.77	-	-
Lípidos totales en Longissimus dorsi, %	2.58 ^b	3.46 ^a	-	-

^{a,b}Medias con superíndices distintos dentro del mismo período de alimentación son diferentes (P < 0.05).

EL ACEITE DE SOYA NORTEAMERICANA DESGOMADO ES UNA EXCELENTE FUENTE DE ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES PARA CERDAS

La productividad de las cerdas se ha incrementado dramáticamente a lo largo de las últimas décadas, con las líneas genéticas más productivas maternalmente, capaces de producir hasta más de 15 lechones nacidos/camada y más de 9.2 kg de leche producida por día (Stalder, 2003). Estas cerdas tan prolíficas, es frecuente que tengan menos reservas corporales de grasa y menor consumo de alimento (Hermesch et al., 2000), mientras que las demandas por energía y nutrientes para la producción de leche se incrementan. Por lo tanto, la necesidad de suplementar lípidos en dietas para cerdas en lactancia, especialmente bajo condiciones de estrés calórico (Pettigrew, 1981) es mayor que nunca.

Es esencial el asegurar un adecuado consumo de ácidos grasos esenciales (ácidos linoleico y linolénico) durante la gestación y la lactancia para lograr mantener la gestación e incrementar el subsecuente tamaño de camada (Rosero et al., 2016a). El aceite de soya es único comparado con otras fuentes de lípidos debido a que contiene altas concentraciones de ambos ácido linoleico y linolénico. Estos ácidos grasos son considerados como esenciales y deben estar presentes en cantidades adecuadas en las dietas ya que los animales no cuentan con enzimas desaturadas capaces de agregar dobles ligaduras más allá del carbón 0 de los ácidos grasos octadecaenóicos. Sin embargo, el ácido octadecaenóico (linoleico y α -linolénico) pueden ser convertidos a ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga por medio de enzimas elongasas y desaturasa microsomal (Sprecher, 2000; Jacobi et al., 2001). Por lo tanto, el ácido linoleico puede ser convertido a γ -linolénico (C18:3n-6), dihomo- γ -linolénico (C20:3 n-6) y araquidónico (C20:4n-6) y otros ácidos grasos. El ácido alfa-linolénico puede ser convertido a eicosatetraenóico (C20:4n-3), eicosapentaenóico (C20:5n-3), docosahexaenóico (C22:6n-3) y otros importantes ácidos grasos de cadena larga (Palmquist, 2009). Estos ácidos grasos esenciales son importantes para un número de procesos metabólicos incluyendo la reproducción (Palmquist, 2009). Sin embargo, la recomendación actual de consumo diario de ácido linoleico para cerdas es de 6g/día (0.1% de la dieta) sin recomendación para el ácido α -linolénico (NRC, 2012). Por lo tanto, el requerimiento para estos ácidos grasos esenciales en dietas para cerdas requiere ser reevaluado.

Rosero (2016b) resumió la información de 6 estudios publicados y estimó que las cerdas consumiendo dietas sin suplementación de ácido linoleico durante la lactancia tenían un balance negativo de -25.49 g/día, y un balance negativo de -2.75 g/día de α -ácido linolénico, lo que resultó en una disminución en la tasa de partos (<75%) e incremento en la tasa de muertes (> 25% den cerdas destetadas). Estos efectos fueron más dramáticos con el incremento en la edad de la cerda (paridad), debido a una reducción progresiva del estatus de los ácidos grasos esenciales durante ciclos reproductivos sucesivos.

El proveer consumos adecuados de ácidos linoleico durante la gestación incrementó la proporción de cerdas que parieron y se incrementó el número total de lechones nacidos en el ciclo reproductivo subsecuente. Incrementando el consumo de ácido α -linolénico resultó en un retorno a estro más rápido después del destete (intervalo destete-a-estro - 4 días), cerdas preñadas: cerdas destetadas (94%), y mayor retención de gestación (cerda gestante: cerda preñada = 98%). Basado en estos resultados, Rosero et al. (2016b) concluyeron que el consumo mínimo de ácido linoleico y de ácido linolénico en la dieta son de 125 g/día y de 10g/día respectivamente durante la lactancia para lograr un desempeño reproductivo óptimo. El aceite de soya puede servir como excelente fuente de ambos ácidos linoleico y linolénico para lograr estos niveles de consumo de ácidos grasos para un óptimo desempeño reproductivo de la cerda

RESUMEN

Se ha demostrado que el aceite de soya estadounidense de alta calidad tiene un mayor contenido de ED, EM y EN comparado con otras fuentes de grasas y aceites utilizadas en dietas para cerdos. Aunque las estimaciones para el aceite de soya varían entre publicaciones, existe evidencia de que las estimaciones del NRC (2012) son razonablemente precisas. Varias ecuaciones de predicción para ED, EM y EN, han sido desarrolladas, pero resultan en estimaciones imprecisas o requieren validación posterior para su uso. Aunque el alimentar soya

integral procesada con calor (extruida o tostada) puede proveer de energía suplementaria a dietas para cerdos, la digestibilidad de la soya integral es sustancialmente menor que el del aceite de soya extraído, lo que requiere ser considerado previo a adoptar este método para la suplementación de lípidos. El agregar aceite de soya estadounidense a dietas para cerdos ha demostrado incrementar la digestibilidad de aminoácidos, así como la digestibilidad de algunos minerales, especialmente calcio y fósforo, comparado con otras fuentes de lípidos. El aceite de soya norteamericana es una excelente fuente de energía suplementaria en cerdos destetados y en dietas de crecimiento -finalización para lograr un desempeño en crecimiento óptimo, así como eficiencia calórica y nutritiva y características de canal. Aunque el aceite de soya, al igual que otros aceites vegetales contiene elevadas concentraciones de ácidos grasos poliinsaturados, que reducen la firmeza de la grasa de la canal en cerdos, las concentraciones de ácidos grasos poliinsaturados en la carne de cerdo pueden proveer de beneficios a la salud para humanos y reducir los riesgos de enfermedades cardiovasculares. Alimentar dietas conteniendo aceite de soya estadounidense suplementario también ha demostrado aliviar parcialmente los efectos adversos en el desempeño en crecimiento ante condiciones de estrés calórico. Finalmente, hay numerosos beneficios al agregar aceite de soya norteamericana a dietas de cerdas que incluye una mejora en el desempeño de la cerda y de la camada y el incremento en la suplementación de ácidos linoleico y linolénico a partir de aceite de soya puede mejorar el desempeño reproductivo de cerdas maduras de alta producción.

REFERENCIAS

- Adams, K.L., and A.H. Jensen. 1984. Comparative utilization of in-seed fats and the respective extracted fats by the young pig. *J. Anim. Sci.* 59:1557-1566.
- Adeola, O., D.C. Mahan, M.J. Azain, S.K. Baidoo, G.L. Cromwell, G.M. Hill, J.E. Pettigrew, C.V. Maxwell, and M.C. Shannon. 2013. Dietary lipid sources and levels for weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 91:4216-4225.
- Agunbiade, J.A., J. Wiseman, and D.J.A. Cole. 1992. Utilization of dietary energy and nutrients from soya bean products by growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 36:303-318.
- Albin, D.M., M.R. Smircky, J.E. Wubben, and V.M. Gabert. 2001. The effect of dietary level of soybean oil and palm oil on apparent ileal amino acid digestibility and postprandial flow patterns of chromic oxide and amino acids in pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 81:495-503.
- Allee, G.L., D.H. Baker, and G.A. Leveille. 1971. Influence of level of dietary fat on adipose tissue lipogenesis and enzymatic activity in the pig. *J. Anim. Sci.* 33:1248-1254.
- Allee, G.L., D.R. Romsos, G.A. Leveille, and D.H. Baker. 1972. Lipogenesis and enzymatic activity in pig adipose tissue as influenced by source of dietary fat. *J. Anim. Sci.* 35:41-47.
- Apple, J.K., C.V. Maxwell, D.L. Galloway, S. Hutchison, and C.R. Hamilton. 2009. Interactive effects of dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine: I. Growth performance and longissimus muscle fatty acid composition. *J. Anim. Sci.* 87:1407-1422.
- Benz, J.M., M.D. Tokach, S.S. Dritz, J.L. Nelssen, J.M. DeRouchey, R.C. Sulabo, and R.D. Goodband. 2011. Effects of choice white grease and soybean oil on growth performance, carcass characteristics, and carcass fat quality of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 89:404-413.
- Black, J.L. 1995. Modeling Energy Metabolism in the Pig - Critical Evaluation of a Simple Reference Model. pp. 87-102. Wageningen Press, Wageningen.
- Campbell, R.G. 2005. Fat in pig diets: beyond their contribution to energy content. *Recent Adv. Anim. Nutr. Australia* 15:15-19.

- Cera, K.R., D.C. Mahan, and R.F. Cross. 1988a. Effect of age, weaning and postweaning diet on small intestinal growth and jejunal morphology in young swine. *J. Anim. Sci.* 66:574.
- Cera, K.R., D.C. Mahan, and G.A. Rinehart. 1988b. Weekly digestibility of diets supplemented with corn oil, lard or tallow by weanling swine. *J. Anim. Sci.* 66:1430-1437.
- Cera, K.R., D.C. Mahan, and G.A. Rinehart. 1990. Evaluation of various extracted vegetable oils, roasted soybeans, medium-chain triglyceride and an animal-vegetable fat blend for postweaning swine. *J. Anim. Sci.* 68:2756-2765.
- de Lange, C.F.M., and S.H. Birkett. 2005. Characterization of useful energy content in swine and poultry feed ingredients. *Can. J. Anim. Sci.* 85:101-112.
- Freeman, C.P., 1969. Properties of fatty acids in dispersions of emulsified lipid and bile salt and the significance of these properties in fat absorption in the pig and the sheep. *Br. J. Nutr.* 23:249.
- González-Vega, J.C., C.L. Walk, and H.H. Stein. 2015. Effect of phytate, microbial phytase, fiber, and soybean oil on calculated values for apparent and standardized total tract digestibility of calcium and apparent total tract digestibility of phosphorus in fish meal fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 93:4808-4818.
- Hermesch, S.R., M. Jones, and K.L. Bunter. 2000. Feed intake of sows during lactation has genetic relationships with growth and lifetime performance of sows. *Pig Genetics Workshop*.
- Jacobi, S.K., X. Lin, B.A. Corl, H.A. Hess, R.J. Harrell, and J. Odle. 2011. Dietary arachidonate differentially alters desaturase-elongase pathway flux and gene expression in liver and intestine of suckling pigs. *J. Nutr.* 141:548-553.
- Jung, H.J., Y.Y. Kim, and In.K Han. 2003. Effects of fat sources on growth performance, nutrient digestibility, serum traits and intestinal morphology in weanling pigs. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 16:1035-1040.
- Kellner, T.A., and J.F. Patience. 2017. The digestible energy, metabolizable energy, and net energy content of dietary fat sources in thirteen- and fifty-kilogram pigs. *J. Anim. Sci.* 95:3984-3995.
- Kerr, B.J., S.M. Curry, and S.C. Lindblom. 2018. Digestibility of energy and caloric value in nursery pigs fed commercially available lipids. *Applied Anim. Sci.* 35:291-297.
- Kerr, B.J., and G.C. Shurson. 2017. Determination of ether extract digestibility and energy content of specialty lipids with different fatty acid and free fatty acid content, and the effect of lecithin, for nursery pigs. *Professional Anim. Sci.* 33:127-134.
- Kerr, B.J., T.E. Weber, W.A. Dozier III, and M.T. Kidd. 2009. Digestible and metabolizable energy content of crude glycerin originating from different sources in nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 87:4042-4049.
- Kiefer, C., A.S. Ferreira, R.F.M Oliveria, J.L. Donzele, P.C. Brustolini, and F.C.O. Silva. 2005. Digestible methionine plus cysteine requirement for barrows under high environmental temperature from 30 to 60 kg. *Braz. J. Anim. Sci.* 34:854-874.
- Kil, D.Y., S.K. Cervantes-Pahm, and H.H. Stein. 2013a. Bioavailability of amino acids, lipids, and carbohydrates in feedstuffs. In: *Sustainable Swine Nutrition*, 1st edition, L. Chiba, Ed. John Wiley & Sons, Inc. p. 317-339.

- Kil, D.Y., F. Ji, L.L. Stewart, R.B. Hinson, A.D. Beaulieu, G.L. Allee, J.F. Patience, J.E. Pettigrew, and H.H. Stein. 2013b. Effects of dietary soybean oil on pig growth performance, retention of protein, lipids, and energy, and the net energy of corn in diets fed to growing or finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 91:3283-3290.
- Kil, D.Y., F. Ji, L.L. Stewart, R.B. Hinson, A.D. Beaulieu, G.L. Allee, J.F. Patience, J.E. Pettigrew, and H.H. Stein. 2011. Net energy of soybean oil and choice white grease in diets fed to growing and finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 89:448-459.
- Kil, D.Y., and H.H. Stein. 2011. Dietary soybean oil and choice white grease improve apparent ileal digestibility of amino acids in swine diets containing corn, soybean meal, and distillers dried grains with solubles. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* 24:248-253.
- Kleiber, M. 1961. Energy transformation. Review – The fire of life. An introduction to animal energetics. *Science* 134:2033.
- Kronfeld, D.S. 1996. Dietary fat affects heat production and other variables of equine performance, under hot and humid conditions. *Equine Vet. J.* 28:24-34.
- Labroue, F., H. Marsac, M. Luquet, J. Gruand, J. Mourot, V. Neelz, C. Legulat, and L. Ollivier. 2001. Performances of French local breeds. In: *Pig genetic resources in Europe*. L. Ollivier, F. Labroue, P. Glodek, G. Gandini, and J.V. Delgado, eds. EAAP Publication No. 104, Wageningen Press, Wageningen, The Netherlands, pp. 51-57.
- Leveille, G.A., D.R. Romsos, Y.Y. Yeh, and E.K. O’Hea. 1975. Lipid biosynthesis in the chick. A consideration of the site of synthesis, influence of diet and possible regulatory mechanisms. *Poult. Sci.* 54:1075-1093.
- Li, E., Z. Lv, H. Liu, L. Liu, Y. Li, Z. Li, F. Wang, D. Li, and S. Zhang. 2018. Determination of net energy content of soybean oil fed to growing pigs using indirect calorimetry. *Anim. Sci. J.* 89:149-157.
- Li, S., and W.C. Sauer. 1994. The effects of dietary fat content on amino acid digestibility in young pigs. *J. Anim. Sci.* 72:1737-1743.
- Li, F.F., R.C. Thaler, J.L. Nelssen, D.L. Harmon, G.L. Allee, and T.L. Weeden. 1990. Effect of fat sources and combinations on starter pig performance, nutrient digestibility and intestinal morphology. *J. Anim. Sci.* 68:3694-3704.
- Lindblom, S.C., N.K. Gabler, and B.J. Kerr. 2018. Influence of feeding thermally peroxidized soybean oil on growth performance, digestibility, and gut integrity in growing pigs. 96:558-569.
- Liu, P., C. Chen, B.J. Kerr, T.E. Weber, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2014. Influence of thermally-oxidized vegetable oils and animal fats on energy and nutrient digestibility in young pigs. *J. Anim. Sci.* 92:2971-2979.
- Low, A.G., R.J. Pittman, and R.J. Elliott. 1985. Gastric emptying of barley-soya-bean diets in the pig: effects of feeding level, supplementary maize oil, sucrose or cellulose, and water intake. *Br. J. Nutr.* 54:437-447.
- Merriman, L.A., C.L. Walk, C.M. Parson, and H.H. Stein. 2016. Effects of tallow, choice white grease, palm oil, corn oil, or soybean oil on apparent total tract digestibility of minerals in diets for growing pigs. 94:4231-4238.
- Morgan, C.A., R.C. Noble, M. Cocci, and R. McCartney. 1992. Manipulation of the fatty acid composition of pig meat lipids by dietary means. *J. Sci. Food Agric.* 58:357-368.

- Noblet, J., L. Le Bellego, J. van Milgen, and S. Dubois. 2001. Effects of reduced dietary protein level and fat addition on heat production and nitrogen and energy balance in growing pigs. *Anim. Res.* 50:227-238.
- Noblet, J., H. Fortune, X.S. Shi, and S. Dubois. 1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 72:344-354.
- NRC. 2012. *Nutrient Requirements of Swine*. 10th rev. ed., Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Palmquist, D.L. 2009. Omega-3 fatty acids in metabolism, health, and nutrition and for modified animal products foods. *Prof. Anim. Sci.* 25:207-249.
- Penner, A.D., M.L. Kaplan, L.L. Christian, K.J. Stalder, and D.C. Beitz. 2018. Use of different types and amounts of dietary fats to redesign pork. *J. Anim. Sci. Livest. Prod.* 2:1-13.
- Pettigrew, J.E., Jr., 1981. Supplemental dietary fat for periparturient sows: a review. *J. Anim. Sci.* 53:107-117.
- Powles, J., J. Wiseman, D.J.A. Cole, and S. Jagger. 1995. Prediction of the apparent digestible energy value of fats given to pigs. *Anim. Sci.* 61:149-154.
- Quiniou, N., S. Richard, J. Mourot, and M. Etienne. 2008. Effect of dietary fat or starch supply during gestation and/or lactation on the performance of sows, piglets' survival and on the performance of progeny after weaning. *Animal* 2:1633-1644.
- Renaudeau, D., N. Quiniou, and J. Noblet. 2001. Effects of exposure to high ambient temperature and dietary protein level on performance of multiparous lactating sows. *J. Anim. Sci.* 79:1240-1249.
- Rosero, D.S., R.D. Boyd, J. Odle, and E. van Heugten. 2016a. Optimizing dietary lipid use to improve essential fatty acid status and reproductive performance of the modern lactating sows: a review. *J. Anim. Sci. Biotech.* 7:34.
- Rosero, D.S., R.D. Boyd, M. McCulley, J. Odle, and E. van Heugten. 2016b. Essential fatty acid supplementation during lactation is required to maximize the subsequent reproductive performance of the modern sow. *Anim. Reprod. Sci.* doi:10.1016/j.anireprosci.2016.03.010.
- Rosero, D.S., J. Odle, C. Arellano, R.D. Boyd, and E. van Heugten. 2015. Development of prediction equations to estimate the apparent digestible energy content of lipids when fed to lactating sows. *J. Anim. Sci.* doi: 10.2527/jas2014-8402.
- Rossi, R., G. Pastorelli, S. Cannata, and C. Corino. 2010. Recent advances in the use of fatty acids as supplements in pig diets: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 162:1-11.
- Rostagno, H.S. 2017 *Brazilian Tables for Poultry and Swine - Composition of feedstuffs and nutritional requirements*, 4th edition, H.S. Rostagno ed., Viçosa, BR.
- Sauvant, D., J.-M. Perez, and G. Tran. 2004. *Tables of composition and nutritional value of feed materials*. 2nd rev. ed. Wageningen Acad. Publishers.
- Schoenherr, W.D., T.S. Stahly, and G.L. Cromwell. 1989. The effect of dietary fat or fiber addition on yield and composition of milk from sows housed in a warm or hot temperature. *J. Anim. Sci.* 67:482-495.

- Spencer, J.D., A.M. Gaines, E.P. Berg, and G.L. Allee. 2005. Diet modifications to improve finishing pig growth performance and pork quality attributes during periods of heat stress. *J. Anim. Sci.* 83:243-254.
- Sprecher, H. Metabolism of highly unsaturated n-3 and n-6 fatty acids. *Biochem. Biophys. Acta.* 1486:219-231.
- Stahly, T.S. 1994. Use of fats in diets for growing pigs. In: *Fats in Animal Nutrition*, J. Wiseman, ed., pp. 313-331. Anchor Brendon Ltd., Essex, UK.
- Stahly, T.S., and G.L. Cromwell. 1986. Responses of dietary additions of fiber (alfalfa meal) in growing pigs housed in a cold, warm or hot thermal environment. *J. Anim. Sci.* 63:1870-1876.
- Stalder, K.J. 2003. Pork industry productivity analysis. National Pork Board. <http://old.pork.org/filelibrary/research/ipafull.pdf>.
- Steiner, T., R. Mosenthin, and R. Greiner. 2006. Influence of feeding level and dietary oil supplementation on apparent ileal and total tract digestibilities of phosphorus and calcium in pigs fed low phosphorus diets supplemented with microbial or wheat phytase. *Can J. Anim. Sci.* 86:479-488.
- Stewart, J.W., M.L. Kaplan, and D.C. Beitz. 2001. Pork with a high content of polyunsaturated fatty acids lowers LDL cholesterol in women. *Am. J. Clin. Nutr.* 74:179-187.
- Su, Y., X. Bi, Q. Huang, L. Liu, X. Piao, and D. Li. 2016. The effect of inclusion level and basal diet on the determination of the digestible and metabolisable energy content of soybean oil and its digestibility when fed to growing pigs. *Anim. Prod. Sci.* 56:1167-1173.
- Su, Y., Y. She, Q. Huang, C. Shi, Z. Li, C. Huang, X. Piao, and D. Li. 2015. The effect of inclusion level of soybean oil and palm oil on their digestible and metabolizable energy content determined with the difference and regression method when fed to growing pigs. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 28:1751-1759.
- Tribout, T., and J.P. Bidanel. 1999. Genetic parameters of meat quality traits recorded on Large White and French Landrace station-tested pigs in France. Conference at the 50th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, Zurich, Switzerland, 8 pp.
- Valaja, J., and H. Siljander-rasi. 2001. Dietary fat supplementation affects apparent ileal digestibility of amino acids and digesta passage rate of rapeseed meal-based diet. In: *Digestive physiology of pigs*, J.E. Linberg and B. Ogle, ed., CABI Publishing, New York, p. 175-177.
- van den Brand, H., M.J.W. Heetkamp, N.M. Soede, J.W. Schrama, and B. Kemp. 2000. Energy balance of lactating primiparous sows as affected by feeding level and dietary energy source. *J. Anim. Sci.* 78:1520-1528.
- van Heugten, E., J. Odle, and R.D. Boyd. Feeding value of fat for swine – Concepts and practice. Milk Specialties Global Conference, Pre-conference to the Minnesota Nutrition Conference, Minnesota, USA.
- van Milgen, J., J. Noblet, and S. Dubois. 2001. Energetic efficiency of starch, protein, and lipid utilization in growing pigs. *J. Nutr.* 131:1309-1318.
- Velayudhan, D.E., I.H. Kim, and C.M Nyachoti. 2015. Invited Review: Characterization of dietary energy in swine feed and feed ingredients: A review of recent research results. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 28:1-13.
- Verstegen, M.W.A. 2001. Developments towards net energy systems in feeds and animals. *Proc. Western Nutrition Conf.* pp. 170-184. Saskatoon, SK, Canada.

Witte, D.P., M. Ellis, F.K. McKeith, and E.R. Wilson. 2000. Effect of dietary lysine level and environment temperature during the finishing phase on the intramuscular fat content of pork. *J. Anim. Sci.* 78:1272-1276.

Wolp, R.C., N.E.B Rodrigues, M.G. Zangeronimo, V.S. Cantarelli, E.T. Fialho, R. Philomeno, R.R. Alvarenga, and L.F. Rocha. 2012. Soybean oil and crude protein levels for growing pigs kept under heat stress conditions. *Livest. Sci.* 147:148-153.

Capítulo



09

Aplicaciones del Aceite de Soya de Estados Unidos en Dietas para Pollo de Engorde

INTRODUCCIÓN

La adición de aceite de soya norteamericana a dietas para pollo de engorde provee varios beneficios incluyendo el incremento de la densidad calórica para satisfacer los requerimientos energéticos de aves con un rápido crecimiento, reduce el polvo en las instalaciones donde se produce el pollo de engorde, mejora la palatabilidad de la dieta, reduce la separación de partículas en dietas molidas, provee de ácidos grasos esenciales, sirve de vehículo a las vitaminas liposolubles y reduce la velocidad de tránsito de la ingesta (Mateos y Sell, 1981b), lo que favorece la digestión y absorción de nutrientes.

Existen varios factores que afectan el valor energético y la utilización de lípidos en aves. Los factores relacionados con las aves incluyen edad, género, razas, especies e infecciones intestinales (Ravindran et al., 2016). Los factores relacionados con la dieta incluyen el grado de insaturación de los ácidos grasos en los lípidos, los niveles de inclusión de lípidos en la dieta, la posición de los ácidos grasos en los triglicéridos, la extensión de la oxidación de los lípidos, el tipo de granos de cereal en las dietas basales, el procesado del alimento, los niveles de calcio en la dieta y la potencial presencia de factores anti nutricionales (Ravindran et al., 2016).

CONTENIDO DE ENERGÍA METABOLIZABLE EN ACEITE DE SOYA

La determinación de la contribución real de la energía de los lípidos a las dietas de aves es un reto (Ravindran et al., 2016). En general, se han utilizado dos métodos para expresar el contenido de energía metabolizable (EM) en dietas e ingredientes para aves: energía metabolizable verdadera (EMV) y energía metabolizable aparente (EMA). La energía metabolizable verdadera involucra alimentar de manera forzada un ingrediente de prueba sin el uso de una dieta basal y colectando la excreta a lo largo de un período de 48 horas para determinar la EMV (Energía metabolizable verdadera) por diferencia (consumo – excreción). Sin embargo, el método EMV tiene ciertas desventajas y se usa muy raramente en la formulación práctica de dietas debido a sus inexactitudes inherentes. En contraste, la EMA (Energía metabolizable aparente) es determinada por la diferencia entre la energía bruta (EB) del alimento consumidos y la EB en la excreta, y se determina proporcionando acceso ad libitum a dietas basales conteniendo una fuente de lípidos por varios días. La energía metabolizable aparente es el método más comúnmente utilizado por los nutricionistas de aves en la formulación práctica de dietas. Se hacen ajustes en el contenido de EMA basados en la corrección por nitrógeno retenido en el cuerpo y entonces se le designa EMAn (Energía metabolizable aparente corregida por nitrógeno). Sin embargo, las metodologías experimentales para determinar EMAn también difieren entre estudios reportados, y como resultado, proveen de varios estimados de contenido de Energía Metabolizable EM de varias fuentes de lípidos. Mateos y Sell (1981a) e Irandoust et al. (2012) han evaluado los beneficios y limitantes en el uso de estas metodologías. Por lo tanto, uno de los mayores retos al optimizar el valor económico y nutritivo de grasas u aceites para consumo animal, es determinar el valor apropiado de EMAn para la fuente de lípidos que está siendo utilizada en la formulación del alimento.

El aceite de soya está ampliamente considerado que contiene la mayor EMA (Energía metabolizable aparente) para aves, de entre todas las grasas y aceites (**Tabla 1**). Esto es debido a varios factores incluyendo su elevado contenido de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), baja humedad, insolubles y contenido de insaponificables (MIU), así como el bajo contenido de ácidos grasos libres (AGL). Sin embargo, como en todos los lípidos, los contenidos estimados de EMA en estudios publicados varían. La variabilidad en éstos estimados se deben a varios factores incluyendo la edad del ave, la relación insaturado: saturado (I:S) de los ácidos grasos y el contenido de ácidos grasos libres (AGL), la longitud de la cadena de ácidos grasos, la posición de los ácidos grasos en el glicerol de los triglicéridos y el contenido de MIU (Wiseman et al., 1991).

Tancharoenrat et al. (2013) reportó que el contenido de EMA del aceite de soya era de 4,490 kcal/kg para pollos de engorde de una semana de edad, pero se incrementaba a 8,168 kcal/kg a las 2 semanas de edad, 9,172 kcal/kg a las 3 semanas de edad, y fue de 8,861 kcal/kg a 5 semanas de edad. Efectos similares de la edad sobre el contenido de EMA se han observado para otras grasas y aceites, donde la digestibilidad y subsecuentemente el contenido de EMA se incrementa con la edad del ave (**Tabla 2**). Esta respuesta ocurre debido a que los pollitos recién nacidos tienen habilidades muy pobres para secretar lipasa y ácidos grasos ligados a la sín-

tesis proteica (Krogdahl, 1985), así como una limitada secreción biliar y una ineficiente recirculación biliar (Smallwood et al., 1972; Serafin y Nesheim, 1967). Sin embargo, éstas importantes capacidades de digestión de lípidos se incrementan a medida que el ave madura, y la actividad de todas las enzimas digestivas también se ha reportado que se incrementan con la edad del ave (Nitsan et al., 1991). Estos hallazgos sugieren que se deben asignar valores diferentes de EMA a grasas y aceites incluyendo al aceite de soya, cuando se formulan dietas para diferentes etapas de crecimiento para lograr una eficiencia calórica óptima en programas de alimentación precisa para pollos de engorde. Desafortunadamente, esto es muy raro que se lleve a cabo en la práctica, debido a la incertidumbre y variabilidad de los valores de EMA de las fuentes de aceite de soya utilizadas actualmente.

El contenido de EMA de los lípidos incrementa a medida que la relación de insaturado:saturado de los ácidos grasos incrementa. El aceite de soya contiene una de las mayores concentraciones de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) de todas las fuentes comunes de lípidos utilizadas en dietas para aves, por lo que es la principal razón de su elevado contenido de EMA para pollos de engorde. Otra razón para el contenido elevado de EMA en el aceite de soya norteamericana es que contiene bajas concentraciones de ácidos grasos libres. Estudios han mostrados que a medida que se incrementa el contenido de AGL en una fuente de lípidos, el contenido de EMA generalmente disminuye (Wiseman et al., 1991). Sin embargo, esta respuesta, se ha demostrado que no ocurre para el aceite de maíz, que tiene un perfil de ácidos grasos similar al aceite de soya (Kerr et al., 2016).

En la **Tabla 3** se muestra un resumen de los valores de EMA para aceite de soya publicados, con un contenido de EMA con rangos desde 8,123 kcal/kg (Murugesan et al., 2017) a 11,106 kcal/kg (Pesti et al., 2002) y un contenido promedio de EMA de 9,220kcal/kg. Conservadoramente, los valores de EMA reportados por Viera et al. (2015) para aves jóvenes (8,348 kcal/kg) y aves mayores (9,283 kcal/kg) parecen apropiadas para evitar una sobreestimación del contenido de EMA del aceite de soya en dietas para pollo de engorde, que son comúnmente adicionadas a tasas bajas de inclusión en las dietas (2 a 4%).

Tabla 3. Resumen de estimados de la energía metabolizable aparente (EMA) de aceite de soya en dietas para pollo de engorde.

Rango de inclusión en la dieta	Edad del ave	Kcal/kg	Referencia
2 to 6%	19 días	9,673 a 10,199	Wiseman et al. (1986)
9%	24 días	8,527	Huyghebaert et al. (1988)
10 to 20%	-	8,020 a 8,795	NRC (1994)
4%	Gallo adulto	10,533	Blanch et al. (1996)
-	-	9,004	Sauvant et al. (2002)
6%	10 días	11,106	Pesti et al. (2002)
6%	40 días	9,554	Pesti et al. (2002)
3.5%	Gallo adulto	9,124	Irlandoust et al. (2012)
2, 4, and 8%	7 días	8,348	Vieira et al. (2015)
2, 4, and 8%	35 días	9,283	Vieira et al. (2015)
-	-	8,790	Rostagno (2017)
3, 6, and 9%	21 días	8,123	Murugesan et al. (2017)

Tabla 1. Comparación del promedio de valores de energía metabolizable aparente (EMA) de fuentes comunes de lípidos en dietas para pollo de engorde (adaptado de Ravindran et al., 2016)

Fuente de lípido	EMA, kcal/kg
Aceite de soya	9,816
Grasa amarilla	9,530
Mezclas animal-vegetal	9,399
Grasa blanca (ave)	9,005
Manteca	8,151
Aceite Acidulado de soya	8,113
Sebo	7,416
Aceite de palma	6,999

Tabla 2. Comparación de la digestibilidad de fuentes comunes de lípidos en dietas para pollo de engorde a diferentes edades (adaptado de Dei, 2011)

Fuente de lípido	3 a 4 semanas de edad	>4 semanas de edad
Aceite de soya	96	96
Aceite de maíz	84	95
Manteca	92	93
Sebo	70	76
Aceite de pescado	88	97
Aceite de palma	74	-

ECUACIONES DE PREDICCIÓN

Existe un interés considerable en desarrollar y usar ecuaciones de predicción para estimar de manera más precisa el contenido estimado de EMA en lípidos basándose en la composición química. Aunque se han desarrollado varias ecuaciones, su precisión para predecir determinaciones *in vivo* de EMA son generalmente pobres ya que son demasiado simplistas y no incluyen un número importante de variables predictivas para permitir que sean útiles para aplicaciones comerciales. Por ejemplo, lípidos conteniendo elevadas concentraciones de MIU y de productos de oxidación se espera de manera general que resulten en un bajo contenido de EMA, pero estudios han demostrado que al usar sólo estas mediciones resulta en una predicción de EMA pobre (Huyghebaert et al., 1988., Pesti et al., 2002). Sin embargo, combinando estas mediciones con la calidad del lípido y con los perfiles de ácidos grasos puede darnos mejores estimados (Huyghebaert et al., 1988). Además, se han reportado ecuaciones simples basadas en el contenido insaturado: saturado (I: S) de ácidos grasos (Ketels y De Groot, 1989), o ecuaciones de regresión más complejas utilizando el contenido de AGL y concentraciones de ácidos grasos concentrados más importantes.

Quizás las ecuaciones más ampliamente utilizadas para predecir el contenido de EMA de lípidos para pollos de engorde es la ecuación desarrollada por Wiseman et al., (1991), donde incluye la edad del ave, I: S, y contenido de AGL en lípidos. Sin embargo, un estudio reciente comparando contenido de EMA real y predictiva del aceite de destilados de maíz (CDO) (Kerr et al., 2016) usando las ecuaciones de Wiseman et al., (1998) resultaron en una sobreestimación de EMA para pollos de engorde en comparación con valores *in vivo* de EMA. Los resultados de éste estudio son un excelente recordatorio de que el potencial uso de ecuaciones de predicción de EMA publicadas deberá basarse en las fuentes de lípidos de las cuales se derivan debido a la amplia variabilidad de los perfiles de ácidos grasos y de los indicadores de oxidación entre las diversas grasas y aceites para consumo animal en el mercado. Hay investigación en proceso para desarrollar ecuaciones de predicción de EMA más precisas usando una combinación de perfiles de ácidos grasos, calidad y mediciones de indicadores de oxidación para proveer estimaciones más precisas. De hecho, resultados de estudios recientes (Lindblom et al., 2019) sugieren que el valor de p-anisidina, 2,4-decadienal, compuestos polares totales, y triacilglicéridos polimerizados deberían ser medidos y usados como indicadores del estado de oxidación del lípido para el aceite de soya debido a que estuvieron consistentemente correlacionados con respuestas en el comportamiento en crecimiento. Por lo tanto, no se recomienda el uso de ecuaciones existentes para estimar el contenido de EMA en el aceite de soya, debido a que parece que se requiere de ecuaciones de regresión más complejas y comprensibles para predecir de manera más precisa la EMA y las respuestas de comportamiento en crecimiento para el aceite de soya basados en el estado de oxidación.

“EFECTO EXTRA CALÓRICO” DEL ACEITE DE SOYA EN DIETAS PARA POLLO DE ENGORDE

La adición de lípidos a dietas para pollo de engorde ha sido a menudo descrita como teniendo un “efecto calórico extra” debido a que muy seguido resulta en grandes mejoras en la tasa de crecimiento y conversión alimenticia por encima de las predichas a partir de su valor energético. Nitsan et al. (1997) sugirieron que el valor nutritivo real de los lípidos puede ser mejor evaluado determinando la energía neta de deposición en el cuerpo en vez de hacerlo por medio del contenido de EMA (Energía metabolizable aparente). Esta sugerencia se basó en la investigación que mostraba que el contenido de EMA de los lípidos declinaba con el incremento en las tasas de inclusión en la dieta (Jensen et al., 1970; Sell et al., 1976; Wiseman y Salvador, 1989), y que la suplementación de aceite de soya en la dieta disminuía la grasa corporal de los pollos de engorde seleccionados para tejido adiposo abdominal alto o bajo (Keren-Zvi et al., 1990). Por lo tanto, Nitsan et al. (1997) llevaron a cabo un estudio para evaluar el efecto calórico extra del aceite de soya adicionado tanto al alimento molido como peletizado por medio de dos densidades calóricas en la dieta para determinar la deposición de EM (energía metabolizable) y energía neta (EN) en pollos de engorde. Las dietas consistieron en 2,892 kcal EM/kg sin agregar aceite de soya (L0), 2,892 kcal EM/kg con 3% de aceite de soya (L3), 3,107 kcal/kg EM con 3.4% de aceite de soya (H3), o 3,107 kcal EM/kg con 6% de aceite de soya (H6), usando un valor de EMA para el aceite de soya de 9,465 kcal/kg.

El mayor efecto de la suplementación del aceite de soya sobre el peso corporal se dio durante las semanas 3 a 6 de edad (**Tabla 4**). La ganancia de peso corporal fue significativamente mejorada al incluir el 6.9% de aceite de soya a la dieta baja en energía, y se incrementó numéricamente en 3.4% para pollos de engorde alimentados con las dietas altas en energía. El consumo de alimento fue afectado por el nivel de energía o por la suplementación de aceite de soya, y la relación ganancia: consumo de alimento (G: F) fue mayor cuando se les proporcionó las dietas altas en energía en comparación con la dieta baja en energía. Estos resultados indican que el efecto extra calórico de aceite de soya para mejorar la tasa de crecimiento fue más pronunciado durante el período de rápido crecimiento (de las 3 a las 6 semanas de edad) cuando la digestibilidad de lípidos está cercano a su máximo. La retención aparente de materia seca y nitrógeno no se afectó por el nivel de energía en la dieta o por las concentraciones de aceite de soya en las dietas, pero la digestibilidad del almidón se redujo al agregar aceite de soya tanto en las dietas con baja y elevada energía (no se muestra la información). La digestibilidad de lípidos se incrementa al agregar aceite de soya a la dieta, y fue mayor en las dietas altas en energía en comparación con las dietas bajas en energía (no se muestra la información). Por lo tanto, la disminución de la digestibilidad de almidón fue superada por el incremento en la digestibilidad de lípidos, resultando en un mayor contenido de EMAn de las dietas altas en energía (H3= 3,307 kcal/kg; H6= 3,203 kcal/kg) conteniendo aceite de soya que en las dietas bajas en energía sin suplementación de aceite de soya (2,964 kcal/kg).

Aunque la adición de aceite de soya a la dieta no tuvo efecto sobre la composición corporal (**Tabla 5**), la deposición de EN fue mayor cuando se agregó aceite de soya a las dietas bajas y altas en energía comparado con la dieta baja en energía sin suplementación de aceite de soya (L0). Cuando relativamente pequeñas cantidades de aceite (ej. 3%) son agregadas a las dietas, se asume que una porción sustancial de los ácidos grasos es directamente transferida para ser depositados en los tejidos corporales. Esto es un proceso más energéticamente eficiente que sintetizar lípidos de tejidos a partir de carbohidratos, resultando en una reducción en la producción de calor y una mejora en la retención de EN (Nitsan et al., 1997). Sin embargo, cuando se adiciona una excesiva cantidad de aceite altamente insaturado (ej. Aceite de soya) a la dieta, una mayor proporción de ácidos grasos es posiblemente utilizada como fuente de energía y liberada en forma de calor, lo que puede explicar por qué se presenta un “efecto extra calórico” al agregar aceite de soya al 3% de la dieta y no al 6% de la dieta (Nitsan et al., 1997). Estos resultados muestran que el “efecto extra calórico” de agregar aceite de soya a dietas de pollo de engorde es mayor en dietas bajas en energía conteniendo aceite suplementario basados en respuestas en ganancia de peso corporal y G: C (ganancia: consumo de alimento). Cuando se expresan sobre la base de retención de energía neta, éste “efecto extra calórico” es mayor en dietas conteniendo 3% de aceite de soya que en dietas con 6% de aceite de soya.

Tabla 4. Efectos de aceite de soya suplementado (0, 3 o 6%) en dieta con baja (L) o alta (H) energía sobre ganancia de peso corporal, consumo de alimento y ganancia: consumo de alimento de las 3 a las 7 semanas de edad (adaptado de Nitsan et al., 1997)

Edad, semanas	L0	L3	H3	H6
Ganancia de peso corporal, g				
Semana 3 a 4	350 ^b	356 ^b	388 ^a	393 ^a
Semana 4 a 5	293 ^b	318 ^b	321 ^{ab}	332 ^a
Semana 5 a 6	312 ^a	347 ^a	331 ^a	350 ^a
Semanas 3 a 6	955 ^c	1,021 ^b	1,040 ^{ab}	1,075 ^a
Semana 6 a 7	441 ^a	440 ^a	431 ^a	432 ^a
Semanas 3 a 7	1,396 ^b	1,477 ^{ab}	1,489 ^a	1,523 ^a
Consumo de alimento, g				
Semanas 3 a 6	2,357 ^a	2,433 ^a	2,342 ^a	2,379 ^a
Semanas 3 a 7	3,514 ^a	3,578 ^a	3,443 ^a	3,471 ^a
Ganancia: Consumo de Alimento				
Semanas 3 a 6	0.41 ^b	0.42 ^{ab}	0.44 ^a	0.45 ^a
Semanas 3 a 7	0.39 ^b	0.41 ^{ab}	0.43 ^a	0.43 ^a

^{a,b,c}Medias dentro de hileras con superíndices no comunes son diferentes (P<0.05).

Tabla 5. Efecto de la suplementación de aceite de soya (0, 3 o 6%) en dietas bajas (L) y altas (H) en energía sobre la composición corporal, deposición de energía netas, utilización de energía Metabolizable y producción de calor en pollos de engorde a las 7 semanas de edad (adaptado de Nitsan et al., 1997)

	L0	L3	H3	H6
Materia Seca (MS), g/kg	350 ^b	353 ^{ab}	361 ^a	356 ^{ab}
Proteína, g/kg MS	538 ^a	516 ^a	507 ^a	497 ^a
Cenizas, g/kg MS	79 ^a	67 ^a	69 ^a	67 ^a
Grasa, g/kg MS	419 ^a	461 ^a	438 ^a	458 ^a
Kcal/kg MS	6,071 ^a	6,095 ^a	6,095 ^a	6,166 ^a
Kcal/corporal ¹	4,015 ^b	4,517 ^a	4,613 ^a	4,541 ^a
Energía neta de deposición ² , kcal	2,844 ^b	3,346 ^a	3,442 ^a	3,370 ^a
Utilización de energía metabolizable	0.28 ^b	0.32 ^a	0.32 ^a	0.31 ^a
Producción de calor, kcal	5,784 ^a	4,971 ^{bc}	5,330 ^{ab}	5,043 ^b

¹El contenido de energía corporal de pollitos de 3 semanas de edad al inicio del experimento fue de 1, 171 kcal/corporal.

²La deposición de energía neta (kcal)= energía corporal a las 7 semanas de edad – energía corporal a las 3 semanas de edad.

³Utilización de energía metabolizable= deposición de energía neta/consumo de energía metabolizable.

⁴Producción de calor (kcal)= (consumo de alimento x EMAn) – deposición de energía neta.

^{a,b,c}Medias dentro de la misma fila con superíndices no comunes difieren (P< 0.05)

EFFECTOS DEL ACEITE DE SOYA SOBRE LA DIGESTIBILIDAD DE MINERALES

Durante el proceso de digestión de lípidos, la liberación de ácidos grasos de los triglicéridos puede resultar en un potencial para que éstos reaccionen con minerales divalentes para formar jabones solubles o insolubles que pueden reducir la utilización de ácidos grasos y minerales en aves (Ravindran et al., 2016). Dietas conteniendo elevadas concentraciones de calcio pueden incrementar la formación de lipofitina (complejo de Ca/Mg-fitado, lípidos y péptidos), que pueden reducir el valor de EMA en lípidos, especialmente en grasas animales conteniendo elevadas proporciones de ácidos grasos saturados (Ravindran et al., 2016). Varios estudios han demostrado que el potencial para la formación de jabones insolubles y la subsecuente reducción en la utilización de ácidos grasos y minerales es mayor con ácidos grasos saturados en comparación con lípidos conteniendo más ácidos grasos insaturados (Atteh y Leeson, 1983; 1984; Atteh et al., 1983; Lin y Chiang, 2010; Tancharoenrat y Ravindran, 2014). Por lo tanto, debido a que el aceite de soya contiene altas proporciones de ácidos grasos insaturados con relación a los ácidos grasos saturados, el potencial de reducción de la digestibilidad de ácidos grasos y minerales es posiblemente menos que cuando se agregan más grasas saturadas a las dietas de pollo de engorde.

EFFECTOS DE LA SUPLEMENTACIÓN DE ACEITE DE SOYA EN LA DIETA SOBRE EL DESEMPEÑO EN CRECIMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL

Se han llevado a cabo varios estudios para comparar los efectos de alimentar dietas conteniendo varios niveles suplementarios de grasas y aceites sobre el desempeño en crecimiento y características de la canal en pollos de engorde. Balevi y Coskin (2000) evaluaron el desempeño en crecimiento de pollos de engorde alimentados con dietas suplementadas con 5% de diversas fuentes de lípidos, incluyendo aceite de girasol, aceite de algodón, aceite de maíz, aceite de linaza, aceite de soya, aceite de olivo, aceite de pescado, sebo y aceite de renderizado en dietas para pollos de engorde durante un período de alimentación de 49 días. En éste estudio, las aves alimentadas con dietas conteniendo aceite de maíz, aceite de soya, aceite de linaza, sebo y aceite de renderizado tuvieron ganancias de peso corporal similares durante todo el período de alimentación, pero la fuente de lípido no tuvo efecto sobre el peso corporal de los pollos de engorde a lo largo del día 14 del período de alimentación (**Tabla 6**). Un patrón similar de respuesta fue observado para el consumo diario de alimento promedio en general (CDAP) y Consumo: Ganancia (C: G) entre estas fuentes de lípidos, excepto que al alimentar la dieta con 5% de sebo resultó en la respuesta más pobre de C: G (Consumo: Ganancia) (**Tabla 7**).

Tabla 6. Efecto de alimentar dietas conteniendo 5% de fuentes variadas de lípidos sobre el peso corporal de pollos de engorde en varias etapas de crecimiento durante un período de alimentación de 49 días (adaptado de Balevi y Coskin, 2000).

Fuente de lípidos	Día 1	Día 14	Día 28	Día 42	Día 49
Aceite de girasol	48	329	888 ^{cd}	1,586 ^{cd}	1,957 ^{bc}
Aceite de algodón	48	310	907 ^{bcd}	1,691 ^{abc}	1,901 ^c
Aceite de maíz	49	304	990 ^a	1,808 ^a	2,197 ^a
Aceite de linaza	49	318	930 ^{abc}	1,706 ^{ab}	2,073 ^{ab}
Aceite de soya	51	331	939 ^{abc}	1,742 ^{ab}	2,080 ^{ab}
Aceite de olivo	48	313	952 ^{ab}	1,639 ^{bcd}	1,943 ^{bc}
Aceite de pescado	48	322	785 ^e	1,543 ^d	1,887 ^c
Sebo	49	323	881 ^{cd}	1,771 ^a	2,074 ^{ab}
Aceite renderizado	50	370	869 ^d	1,717 ^{ab}	2,099 ^{ab}

^{a,b,c,d,e}Medias con superíndices no comunes dentro de la misma columna difieren (P< 0.05)

Tabla 7. Efecto de alimentar dietas conteniendo 5% de fuentes variadas de lípidos sobre el desempeño en crecimiento de pollos de engorde durante un período de alimentación de 49 días (adaptado de Balevi y Coskin, 2000).

Fuente de lípidos	GDP, g	CADP, g	Consumo:Ganancia
Aceite de girasol	38.9	81.2	2.08
Aceite de algodón	37.8	83.9	2.22
Aceite de maíz	43.9	85.6	1.95
Aceite de linaza	41.3	82.1	1.99
Aceite de soya	41.4	84.4	2.04
Aceite de olivo	38.7	80.5	2.08
Aceite de pescado	37.5	78.0	2.08
Sebo	41.3	93.3	2.26
Aceite renderizado	41.8	84.1	2.01

En un estudio similar, Pesti et al. (2002) compararon el desempeño en crecimiento y las respuestas en canal alimentando dietas maíz- pasta de soya conteniendo 3% y 6% de ocho diferentes fuentes de lípidos, que variaban en la composición de ácidos grasos y en extensión de oxidación, a pollos de engorde durante un período de alimentación de 40 días. La fuente de lípidos incluía dos fuentes de grasa de ave, junto con grasa de restaurante, grasa blanca, mezcla de grasa animal- vegetal, aceite de palma, grasa amarilla y aceite de soya. A pesar de las diferencias en el contenido de EMAn entre estas fuentes de lípidos, no hubo en general diferencias en el desempeño en crecimiento de las aves, pero al incrementar la suplementación de lípidos en la dieta de 3 a 6% mejoró C: G por 3.4 puntos. Además, al alimentar la grasa de ave grado alimenticio redujo la almohadilla de grasa abdominal en comparación con la alimentación de otras fuentes de lípidos.

Firman et al. (2008) usaron un método descrito por (Sibbald, 1976) para estimar los valores de EMA en fuentes de grasa amarilla, mezcla de grasa animal- vegetal, aceite de soya, grasa de ave, manteca, aceite de palma, y sebo. Utilizando estos valores estimados de EMA, se formularon dietas para contener 3% de cada fuente de lípidos y alimentarlas a pollos de engorde por 49 días. Se observaron diferencias mínimas para desempeño en crecimiento y composición de la canal para cada una de las dieta, que fueron similares a las reportadas por Pesti et al. (2002), sugiriendo que independientemente de la diferencia en los valores de EMA entre fuentes de lípidos, tanto el desempeño en crecimiento como la composición de canal fue similar.

En contraste con los resultados reportados por Pesti et al (2002) y Firman et al. (2008), varios estudios han reportado mejoras en el desempeño en crecimiento sin afectar negativamente las características de la canal, al alimentar aceite de soya desgomado a pollos de engorde. Baião y Lara (2005) resumieron las respuestas en el desempeño en crecimiento y la composición de la canal a partir de alimentar diferentes fuentes de grasas y aceites a pollos de engorde.

Scaife et al. (1994) alimentó dietas conteniendo sebo de res, aceite de soya, aceite de canola, aceite de pescado marino o una mezcla de estos lípidos a pollos de engorde hembras. El alimentar aceite de canola resultó en un mayor consumo de alimento y mayores ganancias de peso que con el aceite de soya, pero al alimentar aceite de soya resultó en un incremento en el peso corporal vivo en comparación con otras fuentes de lípidos. Las aves alimentadas con dietas conteniendo el cedo de res, tuvieron los C: G (Consumos: Ganancias) más pobres.

Zollitsch et al. (1996) también compararon el desempeño en crecimiento y las características de la canal de pollos consumiendo dietas conteniendo 3.5% de una mezcla de grasa animal- vegetal, aceite de soya, aceite de colza o una grasa procesada por 43 días. Las aves alimentadas con las dietas conteniendo el aceite de soya y el aceite de colza tuvieron un mejor desempeño en crecimiento y menor lípidos en excreta en comparación con las aves alimentadas con la mezcla animal- vegetal y la grasa procesada. No hubo diferencia en la proporción de piernas, pechuga, grasa abdominal ni diferencias en el contenido de materia seca, proteína, contenido de grasa de la carne del muslo o características organolépticas de la carne de la pechuga entre las dietas. Estos investigadores concluyeron que el desempeño en crecimiento de pollos de engorde puede ser mejorado al alimentar cantidades relativamente elevadas de ácidos grasos poliinsaturados a partir de aceite de soya o aceite de colza sin afectar negativamente las características de la canal.

Vieira et al., (2002) alimentaron dietas conteniendo 0, 4 u 8% de aceite de soya o jabón de aceite acidulado de soya y observaron una ganancia de peso corporal similar entre fuentes, pero una reducción en el consumo de alimento de las aves alimentadas con el jabón acidulado cuando el nivel de inclusión en la dieta se incrementaba de 4 a 8%. Sin embargo, al proporcionar el aceite de soya no resultó en una reducción en el consumo de alimento, sino más bien en una mejora de la conversión alimenticia comparado con alimentar dietas conteniendo jabón de aceite de soya acidulado.

Similarmente, Lara et al. (2003) proporcionaron dietas conteniendo aceite de soya desgomado, grasa de ave, jabón de aceite de soya acidulado, una mezcla de grasa de ave con aceite de soya, una mezcla de aceite de soya y jabón de aceite acidulado de soya a pollos de engorde. El alimentar con aceite de soya mejoró la ganancia de peso y el consumo de alimento en comparación con las dietas conteniendo jabón de aceite de

soya acidulado. No hubo diferencias en contenido de humedad, proteína o lípidos en la pechuga, muslos y la canal completa de aves alimentados con estas fuentes de lípidos.

Moura (2003) también reportó que al suplementar dietas para pollo de engorde con aceite de soya no tuvo efecto sobre el contenido de humedad y lípidos del músculo de pechuga y el muslo, y que la deposición de grasa en el músculo de pechuga y vísceras no se afectó al agregar aceite de soya a la dieta. Sin embargo, Cascabulho (2000) mostró que, al alimentar aceite de soya crudo o refinado, incrementaba las concentraciones de ácido linoleico en la canal de aves en comparación con las alimentadas con aceite de soya acidulado.

Barbour et al. (2006) llevaron a cabo dos experimentos para evaluar los efectos de incrementar la suplementación de aceite de soya a dietas de pollos de engorde conteniendo niveles bajos de EM sobre el desempeño en crecimiento y composición de la canal. En el experimento 1, se suplementaron dietas isocalóricas e isonitrogenadas con bajo contenido de EM (2,965 kcal/kg) con 0, 1, 2, o 3% de aceite de soya. En el experimento 2, las dietas conteniendo ya sea 2,940 kcal/kg de EM o 3,040 kcal/kg de EM se suplementaron con 0, 2 o 4% de aceite de soya. Los resultados del experimento 1 mostraron que al adicionar 2 o 3% de aceite de soya a dietas de iniciación (1 a 21 días) mejoró la ganancia: consumo de alimento (G: C) sin afectar la ganancia de peso corporal (no se muestra la información). En general para el período de alimentación de 49 días, la ganancia de peso corporal se mejoró al proporcionar dietas con 1% y 2% de aceite de soya, pero fue necesaria la adición del 3% de aceite de soya para mejorar G: C (Ganancia: Consumo) (**Tabla 8**). Además, hubo un incremento lineal en el peso de la canal “listo para comer” (LPC) al alimentar niveles crecientes de aceite de soya, que fue mayor al nivel de suplementación más bajo de aceite de soya (**Tabla 8**). La grasa abdominal de la canal decreció linealmente sin afectar el peso del músculo de la pechuga o la composición de humedad, proteína o lípidos de la canal (**Tabla 8**). Los resultados del experimento 2, mostraron que al adicionar 2% de aceite de soya ya sea a las dietas de 2,940 o 3,040 kcal/kg de EM las dietas mejoraban linealmente la ganancia de peso corporal durante el período de iniciación de 21 días (no se muestra la información), pero aunque el alimentar la dieta con 4% no tuvo efecto sobre la ganancia de peso corporal durante el período de iniciación para la dieta baja en EM, la ganancia de peso corporal acumulada mejoró a lo largo del período de consumo de 49 días (**Tabla 9**). Sin embargo, la suplementación de aceite de soya no tuvo efecto sobre G: C (ganancia: consumo) sin importar la densidad energética de la dieta (**Tabla 9**). El peso de la canal “listo para comer” incrementó linealmente con niveles crecientes de suplementación de aceite de soya independientemente de la densidad energética de la dieta (**Tabla 9**), y la grasa abdominal se redujo linealmente para los pollos de engorde consumiendo dietas conteniendo 4% de aceite de soya 2,940 kcal/kg. El rendimiento en canal, rendimiento de músculo pectoralis major y contenido de humedad, proteína y lípidos no fueron afectados por el nivel de aceite de soya a las dietas conteniendo dos niveles de EM. Estos resultados indican que la adición de 3 o 4% de aceite de soya a dieta conteniendo 2,950 o 3,050 kcal EM/kg mejoran la ganancia de peso corporal, peso de la canal LPC (listo para comer) y reduce la grasa abdominal de la canal sin afectar el contenido de humedad, proteína y lípidos de la canal.

Tabla 8. Efectos de incrementar los niveles de aceite de soya en dietas bajas en EM (2,965 kcal/kg) a pollos de engorde sobre el desempeño en crecimiento y composición de la canal a los 49 días de edad (adaptado de Barbour et al., 2006).

Medición	Nivel de Suplementación de Aceite de Soya, %			
	0	1	2	3
Ganancia de peso corporal ¹ , g	1,889	1,967	2,012	2,064
Ganancia: Alimento ¹	0.401	0.403	0.413	0.423
Peso de la canal ^{1,2} , g	1,304	1,363	1,376	1,401
Rendimiento de la canal ² , %	65.6	66.0	65.7	66.4
Grasa abdominal ¹ , %	2.00	1.61	1.66	1.55
Músculo de la pechuga, %	6.34	6.44	6.35	6.48
Humedad de la canal ² , %	63.1	63.5	63.6	63.5
Proteína de la canal ² , %	18.2	18.5	18.2	18.3
Lípidos de la canal ² , %	13.3	12.8	12.7	12.7

¹Efectos lineales de los niveles de suplementación de aceite de soya (P<0.05).

²Composición y peso de la canal “Listo para comer”.

Tabla 9. Efectos del incremento de niveles de aceite de soya en dietas para pollo de engorde variando en EM (2,940 kcal/kg o 3,040kcal/kg) sobre el desempeño en crecimiento y composición de la canal a los 49 días de edad (adaptado de Babour et al., 2006)

Medida	EM de la dieta, kcal/kg					
	2,940 ¹			3,040 ²		
	Aceite de soya de la dieta, %					
	0	2	4	0	2	4
Ganancia de peso corporal, g	1,964	2,057	2,093	2,012	2,093	2,123
Ganancia: Alimento	0.435	0.432	0.434	0.452	0.448	0.452
Peso de la canal ³ , g	1,321	1,386	1,415	1,357	1,461	1,444
Rendimiento de la canal ³ , %	67.2	67.1	67.0	68.0	68.2	67.5
Grasa abdominal, %	1.43	1.17	1.12	1.55	1.41	1.46
Músculo Pectoralis mayor, %	4.83	5.08	5.04	4.56	4.82	4.88
Humedad de la canal ³ , %	66.0	66.0	66.5	66.0	66.0	66.0
Proteína de la canal ³ , %	17.8	17.9	18.0	18.0	17.6	17.5
Lípidos de la canal ³ , %	12.8	13.0	12.4	13.2	12.9	13.3

¹Efectos lineales de la suplementación de aceite de soya sobre la ganancia de peso corporal, peso de la canal y grasa abdominal (P<0.05)²Efecto lineal sobre la ganancia de peso y peso de la canal (P<0.05)³Peso y composición de la canal "Listo para comer"

Azman et al. (2004) evaluaron los efectos de alimentar dietas a pollos de engorde conteniendo 4% de aceite de soya, grasa de ave, sebo de res o una mezcla de aceite de soya con grasa de ave (SGA) durante 21 días, seguido de una dieta con 6% de inclusión de éstas fuentes de lípidos respectivamente, de los 22 a los 41 días, sobre el desempeño en crecimiento, composición de ácidos grasos de la grasa abdominal, piel del muslo, pechuga y músculo del muslo en pollos de engorde. Las aves alimentadas con dietas con aceite de soya obtuvieron mayor peso corporal final y GDP en comparación con aquellos alimentados con la mezcla SGA (soya- grasa de ave), y las aves consumiendo las dietas con aceite de soya o sebo de res tuvieron mayor CPDA (consumo promedio diario de alimento) que aquellos alimentados con otras fuentes de lípidos. La fuente de lípidos de la dieta altera substancialmente la composición de ácidos grasos de varias porciones de la canal. Los pollos de engorde alimentados con el aceite de soya presentaron una disminución en la composición de ácidos grasos saturados (AGS) de la piel y de la grasa abdominal y un incremento en AGPI (principalmente ácido linoleico) en piel, grasa abdominal y músculo de la pechuga, comparado con alimentar otras fuentes de lípidos. En contraste, al alimentar dietas suplementadas con sebo de res incrementaron el nivel de AGS (ácidos grasos saturados) de la piel del muslo y del cojinete grasa abdominal mientras que disminuyeron los AGPI en piel, grasa abdominal, pechuga y músculos del muslo. Las aves alimentadas con dietas a base de grasa de ave tuvieron un incremento en el contenido de ácido oleico en el músculo del muslo y de la pechuga. Estos resultados muestran que, comparados con otras fuentes de lípidos, la adición de aceite de soya a dietas para pollos de engorde, no sólo mejora el desempeño en crecimiento, pero también disminuye el contenido de AGS e incrementa el contenido de AGPI de varias porciones de la canal. El incremento en el contenido de AGPI en el músculo del muslo al alimentar aceite de soya, reportado en este estudio (Azman et al., 2004) es similar a los resultados reportados por Crespo y Esteve-García (2002), pero menos que los reportados por Hrdinka et al. (1996). Independientemente, el alimentar dietas suplementadas con aceite de soya reduce el contenido de AGS e incrementa el contenido de AGPI en piel, grasa abdominal, músculo de la pechuga, lo cuál ofrece beneficios para la salud humana al consumir carne de pollo.

EFFECTOS DE ALIMENTAR ACEITE DE SOYA OXIDADO SOBRE EL DESEMPEÑO EN CRECIMIENTO, CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y CALIDAD DE LA CARNE

Alimentar aceites oxidados a los pollos de engorde reduce el desempeño en crecimiento (Takahashi y Akiba, 1999; Anjum et al., 2004; Tavárez et al., 2011; Hung et al., 2017), lo que puede ser atribuido al incremento en el estrés oxidativo (Tavárez et al., 2011; Boler et al., 2012; Hung et al., 2017). Lindblom et al. (2019) evaluaron los efectos de alimentar dietas conteniendo 5% de aceite de palma, aceite de soya, aceite de linaza y aceite de pescado fresco (sin oxidar) u oxidado (calentado a 90°C por 72 horas) sobre el desempeño en crecimiento y estrés

oxidativo en pollos de engorde (de los 4 a los 25 días de edad). Resultados de este estudio muestran diferencias significativas en la tasa de crecimiento, consumo de alimento y eficiencia de ganancia entre las fuentes de aceite, oxidación y las interacciones de fuente x oxidación (**Tabla 10**). Las dietas que contienen aceite de palma, soya o colza fresco tienen GDP, CDP y G:C que fueron mayores que lo observado para el aceite de pescado. El alimentar aceite de palma, soya y colza oxidados redujo la GDP (ganancia diaria promedio) en comparación con dietas conteniendo sus respectivos aceites frescos, pero el alimentar dietas con aceite de pescado oxidado no tuvo ningún efecto sobre la GDP en comparación con alimentar aceite de pescado fresco. Similarmente, CADP (consumo de alimento diario promedio) se redujo al alimentar aceites de soya y colza oxidados, pero la oxidación del aceite de palma y el aceite de pescado no tuvo efecto sobre el CADP comparado con alimentar sus respectivos aceites frescos. Como resultado, el alimentar aceites de palma, soya y de colza redujeron la G:C en comparación con la alimentación de aceites frescos, pero no tuvo cambios para el aceite de pescado. Fue sorprendente que al proporcionar aceite de pescado oxidado no tuviera efecto sobre el desempeño en crecimiento en comparación con alimentar dietas con aceite de pescado fresco, pero el más bajo CADP fue para pollos de engorde alimentados con aceite de pescado fresco en comparación con otras fuentes de aceite fresco, lo que sugiere que la palatabilidad de las dietas pudo haberse reducido.

Los nutricionistas están constantemente haciendo investigaciones para encontrar indicadores confiables del estado de oxidación de aceites para poder predecir el desempeño en crecimiento de los pollos de engorde. En el mismo estudio, Lindblom et al. (2019) correlacionó varias medidas de oxidación de aceites con el desempeño en crecimiento de pollos de engorde (**Tabla 11**). Con la excepción de U:S, valor de peróxido, hexanal, valor de p-anisidina y tocoferoles totales, muchos de los ensayos para estas mediciones de indicadores de la oxidación de lípidos no están disponibles en laboratorios comerciales. Sorprendentemente no hubo correlaciones entre el valor de peróxido, hexanal y 4-hidroxinonal con ninguna de las medidas de desempeño de crecimiento. Hung et al. (2017) demostraron que el valor de peróxido estaba correlacionado con la GDP en pollos de engorde. Sin embargo, el valor de p-anisidina, suma de 11 aldehídos, acroleína, 2,4-decadienal, compuestos polares totales y triglicéridos polimerizados fueron todos negativamente correlacionados con medidas de desempeño en crecimiento. Un incremento en la relación I:S de aceites es indicativo de mayor digestibilidad y valor de energía, mientras que una disminución en la relación I:S se espera cuando los aceites están oxidados debido a que los ácidos grasos insaturados son más susceptibles de oxidación que los ácidos grasos saturados. Además, la correlación de tocoferoles totales con el desempeño en crecimiento se esperaba, ya que la oxidación reduce el contenido de tocoferoles. Estos resultados sugieren que el valor de p-anisidina, 2,4-decadienal, compuestos polares totales, y triacilglicéridos polimerizados deberían de ser medidos y utilizados como indicadores del estado de oxidación de lípidos ya que fueron consistentemente correlacionados con el desempeño en crecimiento.

Tabla 10. Efectos de la alimentación de dietas conteniendo 5% de aceites de palma, soya, linaza y pescado sobre el desempeño en crecimiento de pollos de engorde de los 4 a los 25 días de edad (adaptado de Lindblom et al., 2019).

	Aceite de palma		Aceite de soya		Aceite de colza		Aceite de pescado	
	Fresco	Oxidado	Fresco	Oxidado	Fresco	Oxidado	Fresco	Oxidado
GDP, g	46.8 ^a	40.7 ^b	47.0 ^a	36.0 ^c	47.3 ^a	36.5 ^c	34.0 ^c	34.5 ^c
CDAP, g	56.5 ^{ab}	52.8 ^b	57.4 ^a	48.1 ^c	56.1 ^{ab}	49.0 ^c	46.9 ^c	46.4 ^c
G:C	0.829 ^a	0.769 ^b	0.819 ^a	0.749 ^{bc}	0.845 ^a	0.744 ^{bc}	0.726 ^c	0.746 ^{bc}

^{a,b,c}Medias con distintos superíndices dentro de la misma fila son diferentes (P<0.05)

Tabla 11. Coeficientes de correlación entre medidas de la composición de aceites, productos de oxidación y medidas de desempeño en crecimiento (adaptado de Lindblom et al., 2019)

	UFA:SFA	AnV	TALD	ACR	DDE	TPC	PTAGS	TOC
GDP	0.32	-0.59	-0.37	-0.61	-0.31	-0.49	-0.50	0.52
CADP	0.27	-0.60	-0.30	-0.62	-0.29	-0.45	-0.47	0.50
G:C	0.33	-0.42	-0.36	-0.47	-0.27	-0.42	-0.43	0.42

¹UFA: SFA= relación de ácidos grasos insaturados y saturados; AnV = valor de p-anisidina; TALD = suma de 11 aldehídos; ACR= acroleína; DDE= 2,4-decadienal; TPA= compuestos polares totales, PTAGS= triglicéridos polimerizados; TOC= tocoferoles totales.

Lindblom et al. (2019) también evaluaron los indicadores de estrés oxidativo colectando muestras de plasma y de hígado de pollos de engorde alimentados con aceites frescos y oxidados y los analizaron para sustancias reactivas de ácidos tiobarbitúrico (TBARS), carbonilos de proteína, 8-hidroxy-2'-deoxiguanosina (8-OH-2dG), glutatión peroxidasa (GPx), dismutasa peróxido y actividad de catalasa. Las concentraciones de 8-OH-2dG fueron incrementando al alimentar aceites oxidados y la actividad del plasma GPx fue decreciendo al alimentar aceites oxidados a excepción del aceite de pescado. La concentración de TBARS en hígado fue mayor en pollos de engorde alimentados con aceite de palma oxidado en comparación con aceite de palma fresco y los carbonilos de proteína fueron similares en pollos de engorde alimentados con aceites de palma, linaza y aceite de pescado fresco u oxidado, pero se incrementaron para aves alimentadas con aceite de soya oxidado en comparación con aceite de soya fresco. Estos resultados indican que el alimentar 5% de aceites de palma, soya, colza y pescado puede incrementar el estrés oxidativo a diferentes magnitudes en pollos de engorde.

Anjum et al. (2004) también evaluaron los efectos de alimentar 2% de aceite de soya fresco (3mEqO₂/ kg y valor de ácido de 2.52mg/g de aceite) y 2% de aceite de soya oxidado (50mEqO₂/kg y valor de ácido de 7.26 mg/kg) en pollos de engorde en las fases de iniciación (de 0 a 4 semanas) y finalización (5 a 6 semanas) sobre el desempeño en crecimiento, pesos de órganos y calidad de la carne. Comparado con alimentar aceites frescos, las dietas que contuvieron aceite de soya oxidado redujeron la GDP durante el período de iniciación y a lo largo del período de alimentación de 6 semanas, pero no hubo efectos significativos sobre la CADP en cada fase o en general (Tabla 12). Como resultado, el C: G (consumo: ganancia) fue más pobre para las aves alimentadas con aceite de soya oxidado. No hubo diferencias en el rendimiento en canal entre dietas tratamientos o pesos de los órganos, excepto por el peso del hígado (g/ave y por 100 g de peso vivo) que se incrementó para pollos de engorde alimentados con aceite de soya oxidado. Un incremento en el peso del hígado es un indicador consistente resultado al alimentar aceites oxidados debido a la necesidad de detoxificar los aldehídos de la dieta y otros compuestos de oxidación (Cherian et al., 1996; Wang et al., 1997, Waheed et al, 2004). Además, el contenido de ácido tiobarbitúrico (TBA) se incrementó en hígados de pollos de engorde alimentados con aceite de soya oxidado comparado con aquellos alimentados con aceites frescos, pero no hubo diferencias en el contenido de TBA en músculo. Los efectos negativos de alimentar aceite de soya oxidado en este estudio fueron menos dramáticos que los observados por Lindblom et al. (2019), lo que fue posible debido a las diferencias en la extensión de la oxidación del aceite de soya y una menor tasa de inclusión de aceite de soya. Sin embargo, el minimizar la oxidación del aceite de soya debería ser una prioridad muy elevada al usarlos en dietas para pollo de engorde para evitar desempeño en crecimiento subóptimo y problemas de salud de las aves.

Tabla 12. Efectos de alimentar dietas conteniendo 2% de aceite de soya fresco y oxidado a pollos de engorde sobre el desempeño en crecimiento de las 0 a las 6 semanas de edad (adaptado de Anjum et al., 2004).

	Aceite de soya fresco	Aceite de soya oxidado
Iniciador (0 a 4 semanas de edad)		
GDP, g	1,029 ^a	983 ^b
CADP, g	1,717	1,687
Consumo:Ganancia	1.67	1.72
Finalizador (5 a 6 semanas de edad)		
GDP, g	722	695
CADP, g	1,859	1,838
Consumo:Ganancia	2.57	2.64
En general (0 a 6 semanas de edad)		
GDP, g	1,751 ^a	1,678 ^b
CADP, g	3,576	3,526
Consumo:Ganancia	2.04 ^a	2.10 ^b
Mortalidad, %	2.0	6.0

^{a,b}Medias con superíndices distintos dentro de la misma hilera son diferentes (P<0.05)

BENEFICIOS DEL ACEITE DE SOYA EN DIETAS PARA POLLO DE ENGORDE BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS CALÓRICO

El estrés calórico tiene efectos negativos sobre el bienestar del pollo de engorde, el desempeño en crecimiento y reduce la inmunidad natural y resistencia a las enfermedades en la mayoría de los países alrededor del mundo. Seifi et al. (2018) evaluaron las respuestas al alimentar dietas conteniendo 3%, 6% o 9% de aceite de olivo, aceite de soya, aceite de coco o sebo de res sobre la energética mitocondrial de pollos de engorde con estrés calórico. Los resultados de este trabajo demostraron que los ácidos grasos saturados de más fuentes de lípidos más saturados pueden ser más efectivos en reducir la carga de calor metabólico en aves con tanto estrés calórico en comparación con fuentes de lípidos conteniendo grandes cantidades de ácidos grasos insaturados.

Htin et al. (2007) evaluaron los efectos de alimentar dietas con 8% de aceite de palma (aproximadamente la misma proporción de ácidos grasos saturados e insaturados), aceite de coco (ácidos grasos saturados elevados), aceite de soya (alto en n-6 ácidos grasos poliinsaturados) sobre el desempeño en crecimiento de pollos de engorde bajo condiciones de estrés calórico. Los resultados de este trabajo muestran que al alimentar 8% de aceite de palma mejoró el peso corporal en el día 42, y se redujo la tasa de mortalidad en comparación con alimentar dietas conteniendo 8% de aceite de soya, aceite de coco o aceite de pescado.

Ali et al. (2001) condujeron un trabajo para determinar los efectos de proporcionar 0, 2, 4, 8 o 10% de aceite de soya a (30 días de edad) expuestos a temperaturas de 28 a 33°C durante un período de 15 días sobre el desempeño en crecimiento. Los resultados de este trabajo muestran que la ganancia de peso corporal y el C: G (consumo: ganancia) mejoraron al adicionar aceite de soya hasta en un 10% de la dieta de finalización, pero fue optimizado por las tasas de inclusión de 4% y 6% (**Tabla 13**). Estos resultados sugieren que la adición de aceite de soya a dietas para pollo de engorde pueden ser efectivas aliviando los efectos negativos del desempeño en crecimiento de pollos de engorde en finalización criados bajo condiciones de estrés calórico.

Tabla 13. Efectos de incrementar el nivel de aceite de soya en la dieta sobre el desempeño en crecimiento de pollos en finalización (de los 30 a los 45 días de edad) criados bajo condiciones de estrés calórico (28 a 33°C; adaptado de Ali et al., 2001)

Medición	Nivel de suplementación de Aceite de soya %					
	0	2	4	6	8	10
Peso corporal inicial, g	1,212	1,214	1,214	1,212	1,214	1,215
Peso corporal final, g	1,976 ^a	2,084 ^c	2,134 ^d	2,173 ^e	2,081 ^c	2,049 ^b
Ganancia de peso, g/15 d	764 ^a	870 ^b	920 ^c	961 ^d	867 ^b	782 ^a
Consumo de alimento, g/15 d	2,423 ^a	2,418 ^a	2,367 ^{ab}	2,311 ^b	2,285 ^{bc}	2,222 ^c
Consumo:Ganancia	3.17 ^a	2.76 ^b	2.57 ^c	2.41 ^c	2.64 ^a	2.84 ^d

EFFECTOS POTENCIALES DE ADICIONAR ACEITE DE SOYA A DIETAS DE POLLOS DE ENGORDE PARA MINIMIZAR LOS EFECTOS ADVERSOS DE AFLATOXINAS

Varios estudios han demostrado que concentraciones elevadas de proteína (Smith et al., 1971), α -tocoferol, ácido ascórbico (Hoehler y Marquardt, 1996), piridoxina, ácido fólico, riboflavina, colina (Johri et al, 1990) y selenio (Burguera et al., 1983) en dietas pueden ser efectivos minimizando los efectos adversos de la contaminación por aflatoxinas en dietas para aves. Debido a que las aflatoxinas han demostrado disminuir las secreciones pancreáticas de bilis y lipasa, que subsecuentemente reducen la digestión de grasas en las aves (Osborne y Hamilton, 1981) la adición de lípidos suplementarios puede ser útil para aminorar los efectos negativos. Evidencia del potencial efecto benéfico de la suplementación de aceites para aliviar minimizando las reducciones en el desempeño en crecimiento y la habitabilidad al consumir dietas contaminadas con aflatoxinas ha sido reportado cuando se alimentaron dietas conteniendo 16% de aceite de olivo y aceite de girasol (Smith et al., 1971), y la extensión de la insaturación parece afectar la magnitud de los efectos tóxicos causados por aflatoxinas (Smith et al., 1971). Además, las concentraciones tóxicas mínimas de aflatoxinas han sido reportadas como mayores en dietas conteniendo 18% de lípidos suplementarios (Richardson et al., 1971). Sin embargo, estudios han demostrado los efectos benéficos de la suplementación de lípidos en la reducción de los

efectos negativos de las aflatoxinas han requerido de la adición de elevadas tasas de inclusión de lípidos para lograr estas respuestas, lo que es problemático para el mezclado, peletizado y manejo del alimento. Por lo tanto, Raju et al. (2005) llevaron a cabo un estudio para evaluar los efectos de adicionar 3% o 6% de aceite de girasol, aceite de soya o aceite de cacahuete a dietas isocalóricas e isonitrogenadas sin contener aflatoxinas o con 0.3µg de aflatoxina B1/g a pollos de engorde de los 0 a los 42 días de edad. Se redujeron la ganancia de peso y el consumo de alimento al alimentar las dietas contaminadas con aflatoxinas, pero la adición de 3% de aceite de soya a la dieta contaminada con aflatoxinas resultó en un desempeño en crecimiento similar comparado con las aves consumiendo las dietas control (**Tabla 14**). Se observó una respuesta similar al alimentar dietas con 3% de aceite de girasol, pero no así al proporcionar dietas con aceite de cacahuete. Además, al alimentar las dietas contaminadas con aflatoxinas se redujeron las concentraciones de colesterol y triglicéridos en suero, y se incrementó el peso del hígado, páncreas, vesícula biliar y menudencias, así como el contenido de lípidos en hígado. La suplementación de dietas con cualquiera de éstos 3 aceites alivió estos efectos negativos. El aceite de soya o aceite de girasol suplementarios mejoraron la respuesta inmune humoral, que se deprimió al alimentar las dietas conteniendo aflatoxinas sin suplementación de aceites. Estos resultados indican que la adición de 3% de aceite de soya o girasol son efectivas en aliviar los efectos adversos causados al alimentar dietas conteniendo 0.3 µg de aflatoxina B1/g de dieta en pollos de engorde.

Tabla 14. Efectos de la adición de 3% de aceite de soya a dietas para pollo de engorde contaminadas con aflatoxinas (0.3 ppm) sobre el desempeño en crecimiento hasta los 42 días de edad (adaptado de Raju et al., 2005)

	Control	3% aceite de soya	0.3 ppm de aflatoxinas	3% aceite de soya + 0.3 ppm aflatoxinas
Peso corporal, kg	2.12 ^a	2.14 ^a	1.85 ^b	2.05 ^a
Consumo de alimento, kg	3.79 ^a	3.91 ^a	3.39 ^b	3.74 ^a
Consumo: Ganancia	1.88	1.83	1.84	1.83

EFFECTOS DE LA INCLUSIÓN DE ACEITE DE SOYA EN DIETAS PARA POLLAS DE ENGORDE REPRODUCTORAS

Existe muy poca información publicada con respecto al papel de la suplementación del aceite de soya en dietas para gallinas de engorde reproductoras sobre el subsecuente desarrollo embrionario, salud, incubabilidad, y viabilidad del pollito. El ovocito o yema de huevo contiene 50% de agua, 17% de proteína y 33% de lípidos (Cherian 2005). Los lípidos en la yema de huevo se encuentran en la forma de lipoproteínas, y los triacilglicéridos representan alrededor del 65% y los fosfolípidos comprenden cerca del 28% del total de lípidos en los huevos (Cherian, 2015). Más del 88% de triacilglicerol y del 95% de los fosfolípidos son utilizados por el embrión de pollo para el crecimiento durante los 21 días de período de incubación (Cherian, 2015). Los triacilgliceroles son la principal fuente de energía para el embrión, mientras que los fosfolípidos sirven como precursores de los lípidos estructurales en las bicapas de las membranas (Speake et al., 1998) y almacenan AGPI (Ácidos grasos poliinsaturados) de cadena larga (> 20 carbonos) como el ácido araquidónico (20:4n-6) y el ácido docosahexaenoico (DHA, 22:6 n-3). Debido a que los nutrientes presentes en el huevo sirven como la única fuente de nutrientes y de energía para el embrión en desarrollo, cualquier deficiencia de nutrientes puede tener efectos perjudiciales en el subsecuente crecimiento, salud, tejidos de maduración y el estado inmune de los pollitos (Cherian, 2015).

Los ácidos grasos esenciales n-3 (α -ácido linoleico; 18:3 n-3) y n-6 (ácido linoleico; 18:2 n-6) deben ser suplementados en la dieta para el óptimo desarrollo embrionario. El ácido α -linoleico es convertido en ácido eicosapentaenoico (EPA, 20:5 n-3), que es subsecuentemente convertido en ácido docosapentaenoico (DPA, 22:5 n-3) y ácido docosahexaenoico (DHA, 22:6 n-3; Brenner, 1971). El mismo camino es utilizado para convertir el ácido linoleico en ácido araquidónico (20:4 n-6). Sin embargo, aunque los AGPI n-3 y n-6 comparten los mismos pasos metabólicos, pueden proveer efectos biológicos diferentes e incluso en ocasiones opuestos.

El aceite de soya está compuesto de elevadas concentraciones de los AGPI n-6, pero contiene concentraciones muy bajas de los AGPI n-3, comparado con los aceites de colza, canola y pescado, que son comúnmente utilizados como fuentes de ácidos grasos n-3 en dietas para aves (Cherian, 2015). Las dietas para aves generalmente contienen elevadas concentraciones de los AGPI n-6 y bajas concentraciones de los AGPI n-3. Elevados contenidos de DHA en la dieta está asociado a una mejora en el crecimiento animal, fertilidad, inmunidad y fuerza de huesos en cerdos y aves (lee et al., 2019). Además, la meta final para optimizar la composición de lípidos en embriones de pollo en desarrollo es alcanzar el balance apropiado de ácidos grasos n-6 y n-3. Sin embargo, se requiere de más investigación para determinar el rango óptimo de AGPI n-3 y n-6 en dietas de gallinas de engorde reproductoras para optimiza el desarrollo embrionario, salud, estado inmune y subsecuente desempeño en crecimiento en pollitos de engorde.

RESUMEN

El aceite de soya generalmente cuenta con el mayor contenido de EMA para pollos de engorde de entre todas las grasas y aceite comunes debido a su elevado contenido de AGPI, bajo contenido de MIU y ácidos grasos libres. Sin embargo, los estimados del contenido de EMA del aceite de soya varían debido a varios factores en los que se incluye edad del ave, I: S (insaturado: saturado) contenido de ácidos grasos libres, largo de la cadena de ácidos grasos, posición del ácido graso en el glicerol de los triglicéridos y el contenido de MIU. Debido a la variabilidad de los estimados de EMA en el aceite de soya y la falta de precisión en las ecuaciones de predicción, la sobreestimación del contenido real de EMA puede llevar a un desempeño en crecimiento subóptimo. Algunos trabajos publicados han mostrado mínimas diferencias en el desempeño en crecimiento y características de la canal entre pollos de engorde alimentados con dietas conteniendo aceite de soya en comparación con otras fuentes de lípidos, mientras otros estudios han mostrado beneficios en el crecimiento y composición de canal al suplementar las dietas con aceite de soya, especialmente cuando no está oxidado. Varios estudios han demostrado que las fuentes de lípidos afectan el perfil de ácidos grasos de la piel, grasa abdominal y músculo de canales de pollo de engorde, mientras que alimentar aceite de soya en las dietas generalmente incrementa el contenido de AGPI y reduce el contenido de ácidos grasos saturados de estos tejidos en comparación con alimentar grasas animales saturadas. Las diferencias en las respuestas de desempeño en crecimiento entre estudios publicados son posiblemente un resultado de la precisión o imprecisión de los valores de EMA y de la magnitud de la oxidación de las fuentes de aceite de soya utilizada en las formulaciones en estos estudios. El aceite de soya proporciona un “efecto extra calórico”, porque a menudo resulta en una mejora mayor en la tasa de crecimiento y la conversión alimenticia por encima de lo previsto por su contenido energético. Sin embargo, debido a su contenido relativamente elevado de AGPI, puede tener un mayor impacto negativo sobre la digestibilidad mineral, y puede no ser tan efectivo en aliviar los efectos negativos del estrés calórico como otras fuentes de lípidos saturados. Una de las características interesantes de “valor agregado” del aceite de soya es cierta evidencia que sugiere que al adicionar 3% de aceite de soya o de girasol a dietas de pollo de engorde conteniendo 0.3 μg de aflatoxina B1 es efectivo aliviando los efectos adversos de las aflatoxinas en pollos de engorde.

REFERENCIAS

- Ali, M.L., A.G. Miah, U. Salma, and R.P. Chowdhury. 2001. Effect of soybean oil on finisher period of broiler at hot weather in Bangladesh. *Online J. Biol. Sci.* 1:714-716.
- Atteh, J.O., and S. Leeson. 1984. Effects of dietary saturated or unsaturated fatty acids and calcium levels on performance and mineral metabolism of broiler chicks. *Poult. Sci.* 63:2252-2260.
- Atteh, J.O., and S. Leeson. 1983. Effects of dietary fatty acids and calcium levels on performance and mineral metabolism of broiler chickens. *Poult. Sci.* 62:2412-2419.
- Atteh, J.O., S. Leeson, and R.J. Julian. 1983. Effects of dietary levels and types of fat on performance and mineral metabolism of broiler chicks. *Poult. Sci.* 62:2403-2411.
- Anjum, M.I., I.H. Mirza, A.G. Khan, and A. Azim. 2004. Effect of fresh versus oxidized soybean oil on growth performance, organ weights and meat quality of broiler chicks. *Pakistan Vet. J.* 24:173-178.
- Azman, M.A., V. Konar, and P.T. Seven. 2004. Effects of different dietary fat sources on growth performances and carcass fatty acid composition of broiler chickens. *Revue Méd. Vét.* 156:278-286.
- Baião, N.C., and L.J.C. Lara. 2005. Oil and fat in broiler nutrition. *Braz. J. Poult. Sci.* 7:129-141.
- Balevi, T. and B. Coskun. 2000. Effects of some oils used in broiler rations on performance and fatty acid compositions in abdominal fat. *Revue Méd. Vét.* 151:937-944.
- Barbour, G.W., M.T. Farran, N.N. Usayran, A.H. Darwish, M.G. Uwayjan, and V.M. Ashkarian. 2006. Effect of soybean oil supplementation to low metabolizable energy diets on production parameters in broiler chickens. *J. Appl. Poult. Res.* 15:190-197.
- Blanch, A., A.C. Barroeta, M.D. Baucells, X. Serrano, and F. Puchal. 1996. Utilization of different fats and oils by adult chickens as a source of energy: Lipid and fatty acids. *Anim. Feed Sci. Technol.* 61:335-342.
- Brenner, R.R. 1971. The desaturation step in the animal biosynthesis of polyunsaturated fatty acids. *Lipids* 6:567-575.
- Burguera, J.A., G.T. Edds, and O. Osuna. 1983. Influence of selenium on aflatoxin b1 or crotalaria toxicity in turkey poults. *Amer. J. Vet. Res.* 44:1714-1717.
- Cascabulho, A.R. 2000. Efeitos de diferentes óleos de soja na composição de gordura da carcaça de frango de corte. *Dissertação, Belo Horizonte, Escola de Veterinária, UFMG.*
- Cherian, G. 2015. Nutrition and metabolism in poultry: role of lipids in early diet. *J. Anim. Sci. Biotech.* 6:28.
- Cherian, G. 2005. Eggs: Biology and Nutrition. In: *Handbook of Food Science, Technology and Engineering*, Vol. IV, Y.H. Hui, ed. Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL, USA, CRC Press, p. 1-11.
- Cherian, G., F.W. Wolfe, and J.S. Sim. 1996. Dietary oils with added tocopherols: Effects on egg or tissue tocopherols, fatty acids, and oxidative stability. *Poult. Sci.* 75:423-431.
- Crespo, N., and E. Esteve-Garcia. 2001. Dietary fatty acid profile modifies abdominal fat deposition in broiler chickens. *Poult. Sci.* 80:71-78.

- Dei, H.K. 2011. Soybean as a feed ingredient for livestock and poultry. In: Recent Trends for Enhancing the Diversity and Quality of Soybean Products. InTech doi: 10.5772/17601 p. 215-226.
- Firman, J.D., A. Kamyab, and H. Leigh. 2008. Comparison of fat sources in rations of broilers from hatch to market. *Int. J. Poult. Sci.* 7:1152-1155.
- Hoehler, D., and R.R. Marquardt. 1996. Influence of vitamins E and C on the toxic effect of ochratoxin A and T-2 toxin in chicks. *Poult. Sci.* 51:65-70.
- Htin, N.N., I. Zulkifli, A.R. Alimon, T.C. Loh, and M. Hair-Bejo. 2007. Effects of sources of dietary fat on broiler chickens exposed to transient high temperature stress. *Arch. Geflügelk* 71:74-80.
- Hrdinka, C., W. Zollitsch, W. Knaus, and F. Lettner. 1996. Effects of dietary fatty acid pattern on melting point and composition of adipose tissues and intramuscular fat of broiler carcasses. *Poult. Sci.* 75:208-215.
- Hung, Y.T., A.R. Hanson, G.C. Shurson, and P.E. Urriola. 2017. Peroxidized lipids reduce growth performance of poultry and swine: a meta-analysis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 231:47-58.
- Huyghebaert, G., G. De Munter, and G. De Groote. 1988. The metabolisable energy (AMEn) of fats for broilers in relation to their chemical composition. *Anim. Feed Sci. Technol.* 20:45-58.
- Irاندoust, H., A.H. Samie, H.R. Rahmani, M.A. Edriss, and G.G. Mateos. 2012. Influence of source of fat and supplementation of the diet with vitamin E and C on performance and egg quality of laying hens from forty four to fifty six weeks of age. *Anim. Feed Sci. Technol.* 177:75-85.
- Jensen, L.S., G.W. Schumaier, and J.D. Latshaw. 1970. "Extra caloric" effect of dietary fat for developing turkeys as influenced by calorie-protein ratio. *Poult. Sci.* 49:1697-1704.
- Johri, T.S., R. Agrawal, and V.R. Sadagopan. 1990. Effect of low dietary aflatoxin on laying quails (*Coturnix coturnix japonica*) and their response to dietary modifications. *Indian J. Anim. Sci.* 60:355-359.
- Keren-Zvi, S., I. Nir, Z. Nitsan, and A. Cahaner. 1990. Effect of dietary concentration of fat and energy on fat deposition in broilers divergently selected for high or low abdominal adipose tissue. *Br. Poult. Sci.* 31:507-516.
- Kerr, B.J., W.A. Dozier III, and G.C. Shurson. 2016. Lipid digestibility and energy content of distillers' corn oil in swine and poultry. *J. Anim. Sci.* 94:2900-2908.
- Ketels, E., and G. De Groote. 1989. Effect of ratio of unsaturated to saturated fatty acids of the dietary lipid fraction on utilization and metabolizable energy of added fats in young chicks. *Poult. Sci.* 68:1506-1512.
- Krogdahl, A. 1985. Digestion and absorption of lipid in poultry. *J. Nutr.* 115:675-685.
- Lara, L.J.C., N.C. Baião, C.A.A. López, B.H.S. Moura, and B.R.C. Ribeiro. 2003. Fuentes de aceite en la ración de pollos de carne. In: XVIII Congreso Latinoamericano de Avicultura, Santa Cruz De la Sierra, Bolivia.
- Lee, S.A., N. Whenham, and M.R. Bedford. 2019. Review on docosahexaenoic acid in poultry and swine nutrition: Consequences of enriched animal products on performance and health characteristics. *Anim. Nutr.* 5:11-21.
- Lin, C.S., and S.H. Chiang. 2010. Effect of sn-2 saturated fatty acids in dietary triglycerides on fatty acid and calcium digestibility and leg abnormalities in broiler chickens. *J. Poult. Sci.* 47:156-162.

- Lindblom, S.C., N.K. Gabler, E.A. Bobeck, and B.J. Kerr. 2019. Oil source and peroxidation status interactively affect growth performance and oxidative status in broilers from 4 to 25 d of age. *Poult. Sci.* 98:1749-1761.
- Mateos, G.G., and J.L. Sell. 1981a. Metabolizable energy of supplemental fat as related to dietary fat level and methods of estimation. *Poult. Sci.* 60:1509-1515.
- Mateos, G.G., and J.L. Sell. 1981b. Nature of extra-metabolic effect of supplemental fat used in semi-purified diets for laying hens. *Poult. Sci.* 60:1925-1930.
- Moura, B.H.S. 2003. Desempenho e composição da carcaça de frangos de corte alimentados com diferentes níveis energéticos com e sem óleo. Dissertação. Belo Horizonte, Escola de Veterinária, UFMG.
- Murugesan, G.R., B.J. Kerr, and M.E. Persia. 2017. Energy content of select dietary supplemental lipids for broilers, turkeys, and laying hens. *J. Appl. Poult. Res.* 26:536-547.
- Nitsan, Z., A. Dvorin, Z. Zoref, and S. Mokady. 1997. Effect of added soyabean oil and dietary energy on metabolisable and net energy of broiler diets. *Br. Poult. Sci.* 38:101-106.
- Nitsan, Z., G. Ben-Avraham, Z. Zoref, and I. Nir. 1991. Growth and development of the digestive organs and some enzymes in broiler chicks after hatching. *Br. Poult. Sci.* 32:515-523.
- NRC. 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*, 9th rev. ed., National Academy Press, Washington, DC.
- Osborne, D.J., and P.B. Hamilton. 1981. Steatorrhea during aflatoxicosis in chickens. *Poult. Sci.* 60:1398-1402.
- Pesti, G.M., R.I. Bakalli, M. Qiao, and K.G. Sterling. 2002. A comparison of eight grades of fat as broiler feed ingredients. *Poult. Sci.* 81:383-390.
- Raju, M.V.L.N., S.V. Rama Rao, K. Radhika, and A.K. Panda. 2005. Effect of amount and source of supplemental dietary vegetable oil on broiler chickens exposed to aflatoxicosis. *Br. Poult. Sci.* 46:587-594.
- Ravindran, V., P. Tanchoenrat, F. Zaefarian, and G. Ravindran. 2016. Fats in poultry nutrition: Digestive physiology and factors influencing their utilisation. *Anim. Feed Sci. Technol.* 213:1-21.
- Richardson, K.E., L.A. Nelson, and P.B. Hamilton. 1987. Effect of dietary fat level on dose response relationships during aflatoxicosis in young chickens. *Poult. Sci.* 66:1470-1478.
- Rostagno, H.S. 2017. *Brazilian Tables for Poultry and Swine - Composition of feedstuffs and nutritional requirements*, 4th edition, H.S. Rostagno ed., Viçosa, BR.
- Sauvant, D., J.-M. Perez, and G. Tran. 2002. *Tables of composition and nutritional value of feed materials*. 2nd rev. ed. Wageningen Acad. Publishers.
- Scaife, J.R., J. Moyo, H. Galbraith, W. Michie, and V. Campbell. 1994. Effect of different dietary supplemental fats and oils on the tissue fatty acid composition and growth of female broilers. *Br. Poult. Sci.* 35:107-118.
- Seifi, K., M. Rezaei, A.T. Yansari, G.H. Riazi, M.J. Zamiri, and R. Heidari. 2018. Saturated fatty acids may ameliorate environmental stress in broiler birds affecting mitochondrial energetics and related genes. *J. Thermal Biol.* 78:1-9.

- Sell, J.L., F. Horani, and R.L. Johnson. 1976. The "extra caloric" effect of fat in laying hen rations. *Feedstuffs* 48(27):28.
- Serafin, J.A., and M.C. Nesheim. 1967. The influence of diet on bile acid production and excretion in chicks. In: *Proc. Cornell Nutrition Conf., Itaca, NY.* pp. 146-150.
- Sibbald, I.R. 1976. A bioassay for true metabolizable energy in feedingstuffs. *Poult. Sci.* 34:411-414.
- Smallwood, R.A., R. Lester, G.J. Piasecki, P.D. Klein, R. Greco, and B.T. Jackson. 1972. Fetal bile salt metabolism. 2. Hepatic excretion of endogenous bile salt and of taurocholate load. *J. Clin. Invest.* 51:1388-1897.
- Smith, J.W., C.H. Hill, and P.B. Hamilton. 1971. The effect of dietary modifications on aflatoxicosis in the broiler chicken. *Poult. Sci.* 50:768-774.
- Speake, B.K., A.M.B. Murphy, and R.C. Noble. 1998. Transport and transformation of yolk lipids during development of the avian embryo. *Prog. Lipid Res.* 37:1-32.
- Takahashi, K., and Y. Akiba. 1999. Effect of oxidized fat on performance and some physiological responses in broiler chickens. *Jpn. Poult. Sci.* 36:304-310.
- Tancharoenrat, P., and V. Ravindran. 2014. Influence of tallow and calcium concentrations on the performance and energy and nutrient utilization in broiler starters. *Poult. Sci.* 93:1453-1462.
- Tancharoenrat, P., V. Ravindran, F. Zaefarian, and G. Ravindran. 2014. Digestion of fat and fatty acids along the gastrointestinal tract of broiler chickens. *Poult. Sci.* 93:371-379.
- Tancharoenrat, P., V. Ravindran, F. Zaefarian, and G. Ravindran. 2013. Influence of age on the apparent metabolisable energy and total tract fat digestibility of different fat sources for broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 186:186-192.
- Tavárez, M.A., D.D. Boler, K.N. Bess, J. Zhao, F. Yan, A.C. Dilger, F.K. McKeith, and J. Killefer. 2011. Effect of antioxidant inclusion and oil quality on broiler performance, meat quality, and lipid oxidation. *Poult. Sci.* 90:922-930.
- Waheed, A., T. Ahmad, A. Yousaf, and I.J. Zafer. 2004. Effect of various levels of fat and antioxidants on the quality of broiler rations stored at high temperature for different periods. *Pakistan Vet. J.* 24:70-75.
- Wang, S.Y., B. Walter, M. Philip, D. Julia, and S. William. 1997. Effect of santonin and oxidized fat on liver and intestinal glutathione in broilers. *poult. Sci.* 76:961-967.
- Wiseman, J., J. Powles, and F. Salvador. 1998. Comparison between pigs and poultry in the prediction of the dietary energy value of fats. *Anim. Feed Sci. Technol.* 71:1-9.
- Wiseman, J., F. Salvador, and J. Craigon. 1991. Prediction of the apparent metabolizable energy content of fats fed to broiler chickens. *Poult. Sci.* 70:1527-1533.
- Wiseman, J., and F. Salvador. 1989. The effect of age and rate of inclusion on the apparent metabolisable energy values of fats for broiler chicks. *Br. Poult. Sci.* 30:653-662.
- Wiseman, J., D.J.A. Cole, F.G. Perry, B.G. Vernon, and B.C. Cooke. 1986. Apparent metabolisable energy values of fats for broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 27:561-576.

Vieira, S.L., L. Kindlein, C. Stefanello, C.T. Simoes, G.O. Santiago, and L.P. Machado. 2015. Energy utilization from various fat sources by broiler chickens at different ages. *Int. J. Poult. Sci.* 14:257-261.

Vieira, S.L., A.M.L. Ribeiro, A.M. Kessler, L.M. Ferandes, A.R. Ebert, and G. Eichner. 2002. Utilização da energia de dietas para frangos de corte formulados com óleo ácido de soja. *Revista Brasileira Ciência Avícola* 4:1-13.

Zollitsch, W., W. Knaus, F. Aichinger, and F. Lettner. 1997. Effects of different dietary fat sources on performance and carcass characteristics of broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 66:63-73.



Capítulo

10

**Aplicaciones del Aceite de Soya de los
Estados Unidos en Dietas para Gallinas
de Postura**

INTRODUCCIÓN

Se ha demostrado que el aceite de soya estadounidense desgomada tiene el mayor contenido de EMAn para gallinas de postura, al ser comparado con otras grasas y aceites (Murugesan et al., 2017). Las grasas y aceites suplementarios son comúnmente agregados a dietas para gallinas de postura para incrementar la densidad energética, mejorar la absorción de vitaminas y mejorar el rendimiento de huevo y pesos de huevo y yema (Whitehead, et al., 1991). El suplementar las dietas de gallinas de postura con aceite de soya ha demostrado que incrementa el desempeño en la producción de huevo y calidad de huevo, y es efectivo restaurando el consumo de alimento en algunas líneas genéticas de gallinas de postura bajo condiciones de estrés calórico (Acikgöz et al. 2002). Además, el adicionar aceite de soya a dietas para gallinas de postura incrementa el contenido de ácidos linoléico y docosahexaenóico en la yema de huevo, que se ha demostrado tiene efectos benéficos para los humanos que consumen huevo (Dänicke et al., 2000). Desafortunadamente, sólo se ha llevado a cabo un número limitado de estudios para evaluar los efectos de agregar aceite de soya a dietas de gallinas de postura en comparación con los estudios efectuados en pollos de engorde. El propósito de este capítulo es describir las investigaciones más recientes para determinar el contenido energético del aceite de soya para gallinas de postura, y los efectos al incluir niveles crecientes de aceite de soya sobre el desempeño en la producción de huevo, calidad de huevo, composición de ácidos grasos en la yema de huevo, desempeño reproductivo y efectos aliviando el estrés calórico en líneas genéticas blancas y rojas de gallinas de postura.

CONTENIDO DE ENERGÍA METABOLIZABLE DEL ACEITE DE SOYA PARA PONEDORAS

Se han llevado a cabo estudios limitados para determinar el contenido de EMAn y EMT (Energía Metabolizable Total) del aceite de soya en gallinas de postura. El NRC (1994) proporcionó referencias y valores del contenido de AMEn de aceite crudo de soya en pollo de engorde con un rango de 8,020 a 8,795 kcal/kg y de EMT de 9,510 kcal/kg. Rostagno (2017) indicó que el valor de EM para el aceite de soya en ponedoras fue de 8,790 kcal/kg, con un valor de energía neta de 7,911 kcal/kg. Sauvante et al. (2002) indicaron valores de EMAn de aceite de soya para gallos jóvenes y pollo de engorde de entre 9,100 y 9,004 kcal/kg, respectivamente.

Más recientemente, Irandoust et al. (2012) determinaron que el contenido de EMAn del aceite crudo de soya, aceite reciclado de soya y aceite acidulado de soya alimentado a gallinas de postura fue de 9,127 kcal/kg, 8,948 kcal/kg y 7,966 kcal/kg respectivamente. Murugesan et al. (2017) determinaron el contenido de EMAn del aceite de soya norteamericana y de otras 9 fuentes de lípidos en 308 pollos Ross (21 días de edad), en pavos Hybrid XL (21 días de edad) y Gallinas de postura Hy-Line W36 (60 semanas de edad). El contenido de EMAn del aceite de soya tuvo un rango de 7,288 kcal/kg para pavos, a 9,320 kcal/kg en ponedoras, mientras que el contenido de EMAn de aceite de soya para pollo de engorde fue intermedio, quedando en 8,123 kcal/kg. Además, el contenido de EMAn para ponedoras fue mayor que la grasa blanca choice (8,249 kcal/kg), aceite de maíz (7,686 kcal/kg), aceite de destilados de maíz (6,483 y 8,284 kcal/kg de dos fuentes) grasa de ave (6,986 kcal/kg), y 3 fuentes de mezclas de grasas animales-vegetales (5,257, 5,516 y 6,045 kcal/kg). Estos resultados demuestran que hay diferencias sustanciales en el contenido de EMAn entre especies de aves y fuentes de lípidos, pero el aceite de soya estadounidense tuvo el mayor valor de energía para ponedoras en este estudio. Basado en estos resultados recientes, parece que un valor de 9,100 a 9,300 kcal/kg de EMAn puede ser considerado para la formulación al adicionar aceite de soya estadounidense a dietas de gallinas de postura.

DESEMPEÑO EN PRODUCCIÓN, CALIDAD DE HUEVO, COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS EN YEMA DE HUEVO Y DESEMPEÑO REPRODUCTIVO DE GALLINAS DE POSTURA ALIMENTADAS CON ACEITE DE SOYA.

Se han llevado a cabo estudios limitados para evaluar la adición de aceite de soya a dietas de gallinas de postura sobre el desempeño en la producción de huevo. Lelis et al. (2009) alimentaron dietas conteniendo 0%, 2%, o 4% de aceite de soya, aceite de canola, aceite de linaza y aceite de pescado a aves HyLine W36 (aves ligeras) y HyLine Brown (aves pesadas) durante cuatro períodos productivos de 28 días del segundo ciclo productivo. Las ponedoras ligeras tuvieron un menor consumo de alimento y mejoraron la conversión alimenticia en comparación con ponedoras pesadas, pero la fuente de lípidos y la tasa de inclusión en la dieta no tuvo efecto en el consumo de alimento. Además, la fuente de lípidos y la tasa de inclusión en la dieta no tuvo efecto en el porcentaje de producción de huevo, peso de huevo, masa de huevo y conversión alimenticia en este estudio.

En contraste, Costa et al., (2008) mostraron que, alimentando niveles crecientes de aceite de soya en la dieta, incrementaba linealmente la producción de huevo en comparación con la ausencia de efecto al suplementar aceite de canola a las dietas. De manera similar, Rodrigues et al. (2005) mostraron una mejora en la producción de huevo a medida que incrementaban los niveles de inclusión de aceite de soya en la dieta, y se alcanzó el desempeño máximo al nivel de inclusión del 8%. Rabello et al. (2003) mostraron que gallinas de postura alimentadas con niveles de 3% de aceite de soya tenían incrementos en el peso del huevo, pero estudios llevado a cabo por Rodrigues et al. (2005) y Maramatsu et al. (2005) no mostraron mejoría en el peso del huevo al alimentar niveles crecientes de aceite de soya. Similar a las respuestas reportadas por Lelis et al. (2009), otros estudios han reportado que no hay efecto en el consumo de alimento con relación a los niveles de suplementación de aceite de soya en la dieta (Muramatsu et al., 2005; Rodrigues et al., 2005; Costa et al., 2008). Muramatsu et al. (2005) y Rodrigues et al. (2005) tampoco reportaron ningún efecto en relación con los niveles de aceite de soya en la conversión alimenticia en gallinas de postura.

Dänike et al. (2000) llevaron a cabo un estudio comprensivo para evaluar el efecto de los niveles de suplementación de aceite de soya (0%, 3.5%, 7%, 10.5% y 14%) en la digestibilidad de nutrientes a nivel prececal, desempeño en la producción de huevo, calidad de huevo, composición de ácidos grasos en la grasa de la yema y desempeño reproductivo en gallinas de postura de la semana 22 a la 45 de edad. Todas las dietas proporcionadas en este estudio fueron isocalóricas. La adición de niveles crecientes de aceite de soya a la dieta resultó en incrementos en la digestibilidad de lípidos y de ácidos grasos (**Tabla 1**), pero no afectó la digestibilidad de proteína y aminoácidos. Los valores negativos de digestibilidad aparente para los ácidos palmítico, esteárico y oleico se observaron para las aves que consumieron las dietas sin suplementar, lo que indica pérdidas de ácidos grasos al exceder la cantidad digerida y absorbida. Estas diferencias en una digestibilidad mejorada entre ácidos grasos fueron debidas probablemente a la polaridad y punto de fusión de los ácidos grasos, así como a la posición de los ácidos grasos en los triglicéridos del aceite de soya comparado con otras fuentes de lípidos (Dänicke et al., 1997).

La producción de huevo y el consumo de alimento no fueron afectados por los niveles de aceite de soya en la dieta, pero el peso del huevo y la masa diaria del huevo tuvieron una mejora no-lineal, y el peso corporal incrementó con las crecientes tasas de inclusión en la dieta (Dänicke et al., 2000; **Tabla 2**). Se mejoró la conversión alimenticia cuando las dietas contenían entre 3.5% a 10.5% de aceite de soya. Los niveles crecientes de aceite de soya incrementaron el peso de los huevos al tiempo que también se incrementó la albúmina y decreció el porcentaje de yema y peso del cascarón (Dänicke et al., 2000; **Tabla 3**). Estos resultados concuerdan con los reportados en varios estudios mostrando que al alimentar dietas bajas en lípidos, se disminuye el peso del huevo (Combs y Helbacka, 1960; Bragg et al., 1973; Vogtmann et al., 1973; Whitehead et al., 1993).

Numerosos estudios han demostrado que el perfil de ácidos grasos de la grasa de la yema puede ser alterada al cambiar el perfil de ácidos grasos de la dieta (Lall y Slinger, 1973; Pankey y Stadelman, 1969; Guenter, et al., 1971; Couch y Saloma, 1973; Sim et al., 1973; Cherian y Sim, 1991; Cherian et al., 1995); Herber y Van Elswyk, 1996; Latour et al., 1998; Scheider et al., 1998). Estudios han demostrado que al alimentar lípidos ricos en ácidos

grasos omega-3 se mejora la circulación de ácidos grasos omega-3 en sangre en humanos consumiendo estos huevos, que es ampliamente considerado benéfico para la salud (Farrell, 1992; 1993; Farrell y Gibson, 1991).

Dänicke et al. (2000) mostraron que las proporciones de ácido palmítico (C16:0), ácido oléico (C18:1), ácido linoléico (C18:2 n-6), ácido linolénico (C18:3 n-3), y ácido docosahexaenóico (C22:6 n-3) se incrementaban en la grasa de la yema con adiciones crecientes de aceite de soya (Tabla 4). El incremento en ácidos grasos n-3 (ácido linolénico y docosahexaenóico) en la yema de huevo tiene un efecto positivo mejorando el valor nutritivo de huevos para consumo humano (Ferrier et al., 1994; Shafey y Cham, 1994; Farrell, 1994). Además, Dänicke et al. (2000) calcularon que la eficiencia en deposición máxima de los ácidos grasos esenciales del aceite de soya en la yema de huevo se alcanzaba con niveles de inclusión en la dieta del 7%. Sin embargo, Balevi y Coskin (2000) alimentaron dietas conteniendo 2.5% de aceite de soya y otras 8 fuentes de lípidos a gallinas de postura durante un período de 56 días y no reportaron diferencias en el consumo diario de alimento, rendimiento de huevo y peso y calidad del cascarón, pero al alimentar aceite de linaza incrementaron el contenido de ácidos grasos omega-3 y alimentando aceite de soya incrementaron el contenido de ácidos grasos omega-6 en las yemas de huevo comparadas con otras fuentes de lípidos.

El perfil de ácidos grasos en el cerebro de embriones de pollo y los fosfolípidos en cerebro también pueden ser modificados por el perfil de ácidos grasos en la dieta (Cherian y Sim, 1991; Cherian y Sim, 1992). Sin embargo, la importancia de los cambios en el perfil de ácidos grasos en la yema de huevo y en el embrión sobre el desempeño reproductivo se desconocen debido a que estudios limitados han demostrado que no hay efecto del nivel de lípidos en la dieta o perfil de ácidos grasos sobre incubabilidad o fertilidad (Lall y Slinger, 1973). Dänicke et al. (2000) no reportaron diferencias en las mediciones de desempeño reproductivo, incluyendo porcentaje de huevos fértiles, incubabilidad, y mortalidad de pollitos con niveles crecientes de inclusión de aceite de soya (Tabla 5). En general, estos resultados muestran que el aceite de soya puede ser usado efectivamente en dietas para gallinas de postura sin afectar negativamente el desempeño en la producción de huevo, mientras que se mejoraron el peso del huevo y el perfil de ácidos grasos de la yema.

Tabla 1. Efecto del nivel de suplementación de aceite de soya en la dieta sobre la digestibilidad prececal de energía bruta, fibra cruda y ácidos grasos seleccionados en gallinas de postura de las 22 a las 46 semanas de edad (adaptado de Dänicke et al., 2000)

Medición, %	0%	3.5%	7.0%	10.5%	14.0%
Energía bruta	79.5	76.9	79.7	80.0	79.4
Grasa cruda	44.2	73.8	84.5	88.5	91.5
Acido palmítico (C16:0)	-67.4	28.4	56.1	71.2	78.1
Acido esteárico (C18:0)	-166.3	71.2	80.4	85.2	89.8
Acido oléico (C18:1)	-47.8	71.2	80.4	85.2	89.8
Acido linolénico (C18:2)	55.6	94.6	96.7	96.5	97.4

Tabla 2. Efecto del nivel de suplementación de aceite de soya en la dieta sobre el desempeño en la producción de huevo en gallinas de postura de las 22 a las 46 semanas de edad (adaptado de Dänicke et al., 2000)

Medición, %	0%	3.5%	7.0%	10.5%	14.0%
Consumo de alimento, g/día	119.1	119.7	121.3	118.1	121.9
% producción de huevo	93.6	93.4	93.9	92.9	91.7
Peso del huevo, g	62.2	65.1	65.9	65.9	66.7
Masa de huevo, g/gallina/día	58.1	60.6	61.9	61.1	61.1
Conversión alimenticia, g/g masa de huevo	2.08	2.00	1.98	1.96	2.02
Cambio en el peso corporal, g/gallina	71	191	267	304	327

Tabla 3. Efecto del nivel de suplementación de aceite de soya en la dieta sobre la calidad del huevo en gallinas de postura de las 22 a las 46 semanas de edad (adaptado de Dänicke et al., 2000)

Medición, %	0%	3.5%	7.0%	10.5%	14.0%
Peso del huevo, g	63.1	65.8	67.6	66.9	70.1
Yema, %	25.2	25.0	24.3	24.1	23.4
Cascarón, %	11.1	10.8	10.5	10.4	10.3
Albúmina, %	63.8	64.2	65.2	65.5	66.3
Abanico de color de Roche	0.0	1.00	1.5	2.2	2.7
Fuerza de ruptura, kp	3.24	3.31	3.12	3.03	2.92

Tabla 4. Efecto del nivel de suplementación de aceite de soya en la dieta sobre la composición de ácidos grasos en la grasa de la yema de gallinas de postura de las 22 a las 46 semanas de edad (adaptado de Dänicke et al., 2000)

Medición, %	0%	3.5%	7.0%	10.5%	14.0%
Acido mirístico (C14:0)	0.42	0.34	0.26	0.20	0.17
Acido miristoléico (C14:1)	0.14	0.06	0.03	0.01	0.01
Acido palmítico (C16:0)	24.7	22.2	19.5	18.3	17.3
Acido palmitoléico (C16:1)	5.69	2.77	1.36	0.96	0.72
Acido esteárico (C18:0)	6.46	6.94	7.18	6.95	6.71
Acido oléico (C18:1)	44.8	36.8	32.1	30.4	29.6
Acido linoléico (C18:2 n-6)	5.89	17.3	25.7	29.0	31.1
Acido linolénico (C18:3 n-3)	0.30	1.25	2.00	2.30	2.47
Acido araquidónico (C20:4 n-6)	0.79	0.92	1.07	1.12	1.16
Acido docosahexaenóico (C22:6 n-3)	0.38	0.67	0.77	0.78	0.77

Tabla 5. Efecto del nivel de suplementación de aceite de soya en la dieta sobre el desempeño fértil y reproductivo de gallinas de postura de las 22 a las 46 semanas de edad (adaptado de Dänicke et al., 2000)

Medición, %	0%	3.5%	7.0%	10.5%	14.0%
Huevos fértiles, %	95.6	94.5	93.2	94.6	91.7
Pollos atorados al eclosionar, % de huevos fértiles	6.8	6.8	8.7	7.7	15.8
Pollos muertos, % de huevos fértiles	4.6	4.3	2.0	3.4	2.0
Pollos eclosionados, %	84.9	84.7	83.4	83.8	77.0
Pollos eclosionados, % de huevos fértiles	88.5	89.0	89.3	88.8	82.2

ESTRÉS POR CALOR

Cuando las gallinas son expuestas a calor excesivo, el consumo de alimento disminuye (Nir, 1992; Dagher, 1995; Leeson y Summers, 1997) resultando en una reducción en la producción y calidad de huevo (Deaton 1983; Leeson, 1986). Una manera efectiva de mejorar la palatabilidad de la dieta para promover un mejor consumo de alimento es agregando lípidos suplementarios a la dieta, y minimizar la producción de calor corporal durante exposiciones excesivas a altas temperaturas ambientales (Leeson y Summers, 1997). Además, la adición de aceites vegetales (ej. Aceite de soya) a dietas de gallinas de postura, ha demostrado ser más efectivo que el agregar grasas animales para incrementar el peso del huevo, lo que ha sido atribuido al elevado contenido de linoleico en los aceites vegetales (Whitehead, 1999).

Açikgöz et al (2002) alimentaron dietas isocalóricas e isonitrogenadas conteniendo 0, 2 o 4% de aceite de soya a gallinas de postura blancas y cafés colocadas en casetas con máximas temperaturas de 32.7°C y una humedad relativa de 70% (temperatura mínima y humedad relativa fue de 22.2°C y 38.5% respectivamente) para determinar los efectos de la suplementación de aceite de soya sobre el desempeño de gallinas de postura y calidad de huevo. Las ponedoras blancas tuvieron mayor producción de huevo, conversión alimenticia, y unidades Haugh en huevo, pero menor consumo, peso de huevo y peso del cascarón por unidad de superficie en comparación con las ponedoras cafés. Es interesante el hecho de que hubo una interacción con respecto al nivel de suplementación de aceite de soya en la dieta sobre la estirpe de las gallinas, donde no hubo diferencia en el consumo de alimento entre las gallinas de postura blancas y cafés al alimentarlas con la dieta control (0% de aceite de soya), pero la adición de 2% o 4% de aceite de soya a la dieta de las gallinas cafés incrementó el consumo de alimento en comparación con la adición de aceite de soya a las dietas de las gallinas blancas (**Tabla 6**). El nivel de suplementación de aceite de soya no afectó la producción de huevo de las ponedoras blancas, pero el agregar 2% de aceite de soya a las dietas de las ponedoras cafés tendió a resultar en una mayor producción de huevo en comparación con alimentar 4% de aceite de soya en la dieta. Estos resultados sugieren que las respuestas en producción de huevo al suplementar aceite de soya bajo condiciones de estrés calórico varían entre líneas genéticas de gallinas, pero puede mejorar el consumo de alimento en gallinas de postura cafés.

Tabla 6. Efecto de alimentar dietas conteniendo 0, 2 o 4% de aceite de soya a gallinas de postura blancas y café durante condiciones de estrés calórico (332.7 °C y 70% de humedad relativa) sobre el consumo de alimento y producción de huevo (adaptado de Açıkgöz, et al., 2002)

Medición, %	0% Aceite de soya	2% Aceite de soya	4% Aceite de soya
Consumo de alimento, g/gallina/día			
Ponedoras blancas	94.3 ^{bc}	86.8 ^c	96.3 ^b
Ponedoras café	99.0 ^b	113.9 ^a	109.5 ^a
Producción de huevo, número/gallina/semana			
Ponedoras blancas	4.94 ^a	4.67 ^{ab}	4.86 ^{ab}
Ponedoras café	4.64 ^{bc}	4.90 ^{ab}	4.37 ^c

^{a,b,c}Medias dentro de columnas con diferentes superíndices son diferentes (P < 0.05).

RESÚMEN

Trabajos de investigación han demostrado claramente que el aceite de soya norteamericana desgomada tiene el mayor contenido de EMAn para gallinas de postura de entre las grasas y aceites comunes en el mercado. Se ha demostrado que el adicionar niveles crecientes de aceite de soya a dietas de postura incrementa el desempeño en producción de huevo y calidad de huevo y es efectivo restaurando el consumo de alimento en algunas líneas genéticas de postura bajo condiciones de estrés calórico. Además, la adición de aceite de soya a dietas de gallinas de postura incrementa el contenido de ácidos linolénico y docosahexaenoico en la yema de huevo, que se ha demostrado que tiene efectos benéficos en humanos consumiendo huevos y favorece de manera satisfactoria el desempeño reproductivo.

REFERENCIAS

- Açıkgöz, Z., V. Ayhan, K. Özkan, Ö. Altan, S. Özkan, and Y. Akbaş. 2003. The effects of dietary oil and methionine on performance and egg quality of commercial laying hens during summer season. *Arch. Geflügelk.* 67:204-207.
- Balevi, T., and B. Coskun. 2000. Effects of some dietary oils on performance and fatty acid composition of eggs in layers. *Revue Méd. Vét.* 151-847-854.
- Bragg, D.B., J.S. Sim, and G.C. Hodgson. 1973. Influence of dietary energy source on performance and fatty liver syndrome in white leghorn laying hens. *Poultry Sci.* 52:736-740.
- Cherian, G., S.X. Li, and J.S. Sim. 1995. Dietary alpha-linoleic acid and laying hen strain: fatty acids of liver, adipose tissue, white meat, dark meat, and egg yolk. *J. Agric. Food Chem.* 43:2552-2559.
- Cherian, G., and J.S. Sim. 1992. Omega-3 fatty acid and cholesterol content of newly hatched chicks from alpha-linolenic acid enriched eggs. *Lipids* 27:706-710.
- Cherian, G., and J.S. Sim. 1991. Effect of feeding full fat flax and canola seeds to laying hens on the fatty acid composition of eggs, embryos, and newly hatched chicks. *Poultry Sci.* 70:917-922.
- Combs, G.F., and N.V. Helbacka. 1960. Studies with laying hens. 1. Effect of dietary fat, protein levels and other variables in practical rations. *Poultry Sci.* 52:736-740.
- Costa, F.G.P., J.G. Souza, J.H.V. Silva, C.B. Rabello, C.C. Goulart, and R.C. Lima Neto. 2008. Influência do óleo de linhaça sobre o desempenho e a qualidade dos ovos de poedeiras semipesadas. *Revista Brasileira de Zootecnia* 37:861-868.
- Couch, J.R., and A.E. Saloma. 1973. Effect of diet on triglyceride structure and composition of egg yolk lipids. *Lipids* 8:385-392.

- Dänicke, S., I Halle, H. Jeroch, W. Böttcher, P. Ahrens, R. Zachmann, and S. Götze. 2000. Effect of soy oil supplementation and protein level in laying hen diets on precaecal nutrient digestibility, performance, reproductive performance, fatty acid composition of yolk fat, and on other egg quality parameters. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2000:218-232.
- Dänicke, S., O. Simon, H. Jeroch, and M. Bedford. 1997. Interactions between dietary fat type and xylanase supplementation when rye-based diets are fed to broiler chickens. 2. Performance, nutrient digestibility and the fat-soluble vitamin status of livers. *Br. Poultry Sci.* 38:546-556.
- Daghir, N.J. 1995. Replacement pullet and layer feeding and management in hot climates. In: *Poultry Production in Hot Climates*, N.J. Daghir, Ed. CAB Int., Wallingford Oxon, UK. Pp. 219-253.
- Deaton, J.W. 1983. Alleviation of heat stress for avian egg production – A review. *World's Poultry Sci. J.* 39:210-217.
- Elkin, R.G., Y. Ying, and K. Harvatine. 2015. Feeding laying hens stearidonic acid-enriched soybean oil, as compared to flaxseed oil, more efficiently enriches eggs with very long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids. *J. Agric. Food chem.* 63:2789-2797.
- Farrell, D.J. 1993. Une's designer egg. *Poultry Int.* 32:62-66.
- Farrell, D. 1992. The hearty egg. *Poultry Digest.* 7:20-22.
- Farrell, D.J. 1994. The fortification of hens' egg with omega-3 long chain fatty acids and their effect in humans. In: *Egg uses and processing technologies*, J.S. Sim and S. Nakai, Ed., CAB International, Wallingford, UK. pp. 386-401.
- Farrell, D.J., and R.A. Gibson. 1991. The enrichment of eggs with omega-3 fatty acids and their effects in humans. *Rec. Adv. Anim. Nutrition in Australia*, pp. 256-270.
- Ferrier, L.K., S. Leeson, B.J. Holub, L. Caston, and E.J. Squires. 1994. High linolenic acid eggs and their influence on blood lipids in humans. In: *Egg uses and processing technologies*, J.S. Sim and S. Nakai, Ed., CAB International, Wallingford, UK. pp. 362-373.
- Guenter, W. D.B. Bragg, and P.A. Kondra. 1971. Effect of dietary linoleic acid on fatty acid composition of egg yolk, liver and adipose tissue. *Poult. Sci.* 50:845-849.
- Herber, S.M., and M.E. van Elswyl. 1996. Dietary marine algae promotes deposition of n-3 fatty acids for the production of enriched shell eggs. *Poult. Sci.* 75:1510-1507.
- Irandoost, H., A.H. Samie, H.R. Rahmani, M.A. Edriss, and G.G. Mateos. 2012. Influence of source of fat and supplementation of the diet with vitamin E and C on performance and egg quality of laying hens from forty-four to fifty six weeks of age. *Anim. Feed Sci. Technol.* 177:75-85.
- Kehui, O., W. Wenjun, X. Mingshen, J. Yan, and S. Xinchun. 2004. Effects of different oils on the production performances and polyunsaturated fatty acids and cholesterol level of yolk in hens. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 17:843-847.
- Lall, S.P., and S.J. Slinger. 1973. Nutritional evaluation of rapeseed oils and rapeseed soapstocks for laying hens. *Poult. Sci.* 52:1729-1740.

- Latour, M.A., E.D. Peebles, S.M. Doyle, T. Pansky, T.W. Smith, and C.R. Boyle. 1998. Broiler breeder age and dietary fat influence the yolk fatty acid profiles of fresh eggs and newly hatched chicks. *Poult. Sci.* 77:47-53.
- Leeson, S. 1986. Nutritional consideration of poultry during heat stress. *World's Poult. Sci. J.* 42:69-79.
- Leeson, S., and J.D. Summers. 1997. Feeding programs for laying hens. In: *Commercial Poultry Nutrition*, Guelph, Ontario, Canada. Pp. 143-206.
- Lelis, G.R., M.D. da Silva, F. de C. Tavernari, L.F.T. Albino, and H.S. Rostagno. 2009. Performance of layers fed diets containing different oils. *Braz. J. Poultry Sci.* 11:235-240.
- Muramatsu, K., J.H. Stringhini, C.M. Barcellos, R. de Maraes Jardim Filho, L. Andrade, and F. Godoi. 2005. Desempenho, qualidade e composição de ácidos graxos do ovo de poedeiras comerciais alimentadas com rações formuladas com milho ou milheto contendo diferentes níveis de óleo vegetal. *Acta Scientiarum Anim. Sci.* 27:43-48.
- Murugesan, G.R., B.J. Kerr, and M.E. Persia. 2017. Energy content of select dietary supplemental lipids for broilers, turkeys, and laying hens. *J. Appl. Poultry Res.* 26:536-547.
- Nir, I. 1992. Optimization of poultry diets in hot climates. *Proc. XIX World Poultry Congress*, Amsterdam, The Netherlands. 2:71-76.
- NRC. 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*, 9th rev. ed., National Academy Press, Washington, DC.
- Pankey, R.D., and W.J. Stadelman. 1969. Effect of dietary fats on some chemical and functional properties of eggs. *J. Food Sci.* 34:312-317.
- Rabello, C.B.V., A.L. Pinto, and H.U. Ribeiro 2003. Efeito do uso de óleo na ração sobre o desempenho de poedeiras comerciais (CD-ROM). *Anais da 39ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, Recife, RE, Brasil.
- Rodrigues, E.A., L.C. Cancherini, O.M. Junqueira, A.C. de Laurentiz, R. da Silva Filardi, K.F. Duarte, E.M. Casartelli. 2005. Desempenho, qualidade da casca e perfil lipídico de gemas de ovos de poedeiras comerciais alimentadas com níveis crescentes de óleo de soja no Segundo ciclo de postura. *Acta Sci. Anim. Sci.* 27:207-212.
- Rostagno, H.S. 2017. *Brazilian Tables for Poultry and Swine - Composition of feedstuffs and nutritional requirements*, 4th edition, H.S. Rostagno ed., Viçosa, BR.
- Sauvant, D., J.-M. Perez, and G. Tran. 2002. *Tables of composition and nutritional value of feed materials*. 2nd rev. ed. Wageningen Acad. Publishers.
- Scheideler, S.E., D. Jaroni, and G. Froning. 1998. Strain and age effects on egg composition from hens fed diets rich in n-3 fatty acids. *Poultry Sci.* 77:192-196.
- Shafey, T.M., and B.E. Cham. 1994. Altering fatty acid and cholesterol contents of eggs for human consumption. In: *Egg uses and processing technologies*, J.S. Sim and S. Nakai, Ed., CAB International, Wallingford, UK. pp. 374-385.
- Sim, J.S., D.B. Bragg, and G.C. Hodgson. 1973. Effect of dietary animal tallow and vegetable oil on fatty acid composition of egg yolk, adipose tissue and liver of laying hens. *Poult. Sci.* 51-57.
- Vogtmann, H., D.R. Clandinin, and A.R. Robblee. 1973. Low and high erucic acid rapeseed oils in rations for laying hens. *Poultry Sci.* 52:955-962.

Whitehead, C.C. 1999. Nutrition and egg quality. In: Eggs and egg product quality, Proc. VIII European Symp. on the Quality of Eggs and Egg Products. Bologna, Italy. Vol. II, pp. 19-23.

Whitehead, C.C., A.S. Bowman, and H.D. Griffin. 1993. Regulation of plasma oestrogen by dietary fats in the laying hen: relationships with egg weight. *Br. Poultry Sci.* 34:999-1010.

Whitehead, C.C., A.S. Bowman, and H.D. Griffin. 1991. The effects of dietary fat and bird age on the weight of eggs and egg components in the laying hen. *Br. Poultry Sci.* 32:565-574

Capítulo



11

**Beneficios para la Salud en Cerdos
y Aves al Usar Aceite de Soya de los
Estados Unidos de Alta Calidad**

INTRODUCCIÓN

Hay un interés significativo en la industria animal y de alimentos a nivel global para entender el papel de los diversos componentes nutritivos y aditivos alimenticios con propiedades inmunomoduladores para mejorar la función inmune y resistencia a retos de enfermedades virales, bacterianas o por protozoarios (Korver, 2012). Está ampliamente reconocido que hay múltiples factores estresantes involucrados en los sistemas de producción intensivos de aves y cerdos que afectan el estado metabólico de manera negativa, así como la salud de los animales (Gallois et al., 2009). Sin embargo, la adición de ciertas fuentes de ácidos grasos a las dietas ha demostrado tener múltiples beneficios en la mejora del estado inmune y resistencia a enfermedades en cerdos y aves.

Las dietas con elevadas concentraciones de n-3 ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (n-3 AGPI) no sólo aumentan los n-3 AGPI en carne y huevos para brindar beneficios saludables a los consumidores humanos (Pietras y Orczewska-Dudek, 2013; Yanovych et al., 2013; Zduncsyk y Janlowski, 2013), pero también son uno de los enfoques nutricionales más efectivos para modular la función inmune en cerdos y aves (Calder, 2001). Los efectos benéficos de los ácidos grasos de la dieta parecen estar asociados con varios mecanismos metabólicos moleculares incluyendo la síntesis de eicosanoides y citoquinas, que están involucradas en la mediación de respuestas inflamatorias, así como la señalización de los linfocitos T (Calder, 1998; Miles y Calder, 1998; Calder, 2003; Stulnig, 2003; Stulnig y Zeyda, 2004; Fritsche, 2006; Komprda, 2012; Benderska-Lojewska et al., 2013). También, es importante el lograr un balance óptimo de n-6:n-3 AGPI en la dieta para lograr una función inmune deseada en los animales, ya que una elevada cantidad de n-6:n-3 AGPI puede dar lugar a un incremento en la producción de citoquinas proinflamatorias, como el factor α necrosis tumoral (TNF α), interleucina-1 (IL-1) e interleucinas-6 (IL-6) que promueven las respuestas inflamatorias (Simopoulos, 2002) y reducen el consumo de alimento (Klasing, 1988; Ferket y Gernat, 2006).

La adición de grasas y aceites incluyendo el aceite de soya a dietas de cerdos y aves también puede proveer de reducciones significativas en el polvo en las instalaciones. La reducción de polvo respirable no sólo reduce la irritación física del tracto respiratorio de los animales y humanos, pero también reduce la inhalación de patógenos y gases que pueden comprometer la salud de los animales. Por lo tanto este capítulo resume el papel del aceite de soya en mejorar el sistema inmune y los beneficios en salud para cerdos y aves.

Tabla 1. Comparación de la composición de ácidos grasos de fuentes comunes de lípidos alimentados a cerdos y aves (adaptado de Swiatkiewicz et al., 2015)

Lípido	Ácidos grasos principales	%	n-6:n-3
Sunflower oil	C18:1	18	130
	C18:2 n-6	65	
	C18:3 n-3	0.5	
Aceite de maíz	C16:0	13	45
	C18:1	32	
	C18:2 n-6	45	
	C18:3 n-3	1.0	
Manteca	C16:0	25	20
	C18:0	14	
	C18:1	42	
	C18:2 n-6	10	
	C18:3 n-3	0.5	
Aceite de soya	C18:1	22	5.2
	C18:2 n-6	52	
	C18:3 n-3	10	
Aceite de colza	C18:1	56	2.2
	C18:2 n-6	22	
	C18:3 n-3	10	
Aceite de linaza	C18:1	20	0.30
	C18:2 n-6	16	
	C18:3 n-3	53	
Aceite de pescado	C16:0	18	0.10
	C16:1	11	
	C18:1	12	
	C18:2 n-6	1.5	
	C18:3 n-3	1.0	
	C20:4 n-6	1.0	
	C20:5 n-3	15	
	C22:5 n-3	2.0	
	C22:6 n-3	9	

EFECTOS DEL ACEITE DE SOYA SOBRE LA RESPUESTA INMUNE EN AVES

Aunque el aceite de soya contiene relativamente bajas concentraciones de n-3 AGPIs comparado con el aceite de linaza y el aceite de pescado, tiene un n-6:n-3 más favorable que los encontrados en aceite de girasol, aceite de maíz y manteca (**Tabla 1**). A diferencia de otras fuentes de aceite ricas en ácidos grasos n-3, sólo 3 estudios han evaluado las respuestas inmunes de alimentar el aceite de soya a pollos de engorde (Swiatkiewicz et al., 2015). Los resultados de estos estudios mostraron respuestas inconsistentes de alimentar dietas con aceite de soya sobre los títulos de anticuerpos contra la enfermedad de Newcastle (**Tabla 2**). Desafortunadamente no se han llevado a cabo estudios para evaluar la respuesta inmune de gallinas de postura consumiendo aceite de soya.

Tabla 2. Resumen de las respuestas inmunes al alimentar aceite de soya a pollos de engorde (adaptado de Swiatkiewicz et al., 2015)

Fuente de lípidos	Tasa de inclusión en la dieta	Respuestas evaluadas	Resultados	Referencia
Aceite de soya	0, 2, or 4%	Respuesta inmune de aves vacunadas contra enfermedad de Newcastle y enfermedad infecciosa de la Bursa	Incremento en heterófilos:linfocitos, reducción de la Bolsa de Fabricio y bajo, reducción de los títulos contra enfermedad de Newcastle y contra virus de enfermedad infecciosa de la Bursa	Sadeghi et al. (2013)
Aceites de soya, olivo o de pescado	2.15% to 3%	Respuesta inmune humoral y expresión del gen IFN- γ	Incremento de IFN- γ expresión del gen y expresión de anticuerpos contra enfermedad de Newcastle cuando se alimentó aceite de pescado. El aceite de soya resultó en un mayor desempeño de crecimiento.	Sadeghi et al. (2014)
Aceite de linaza, soya o aceite de sardina	7%	Respuesta inmune en aves no vacunadas y vacunadas contra enfermedad de Newcastle	Incremento en la producción de anticuerpos en aves vacunadas alimentadas con aceite de soya con un elevado contenido de n-6 AGPI. No hubo efecto de la Fuente de aceite sobre la respuesta celular inmune (proliferación de linfocitos)	Pinto et al. (2014)

EFFECTOS DE LA INCLUSIÓN DE ACEITE DE SOYA EN LA RESPUESTA INMUNE EN CERDOS

De manera similar que en las aves, existe un número limitado de trabajos que se han llevado a cabo para evaluar los efectos de alimentar aceite de soya sobre la respuesta inmune en cerdos. Duan et al, (2014) formularon dietas para cerdos en crecimiento-finalización para contener rangos de n-6: n3 de 1:1, 2.5:1, 5:1 o 10:1 usando aceite de soya y aceite de linaza adicionados al 3% de la dieta, y midieron los indicadores de respuestas inmunes. Los resultados mostraron que los cerdos alimentados con dieta con un rango de 1:1 de n-6: n-3 tenían concentraciones séricas menores de IL-6 e IL-1 β citoquinas inflamatorias y la expresión del gen de IL-6, IL-1 β , y α -TNF mRNA en músculo esquelético y tejido adiposo estaba sub-regulado.

Park et al. (2009) evaluaron el desempeño en crecimiento, características de la canal y el estado inmune de cerdos en crecimiento -finalización alimentados con aceite de soya como reemplazo parcial o total de sebo (rangos de inclusión de 4 a 5%). Los resultados de este estudio muestran que el aceite de soya puede ser sustituido por el sebo en dietas crecimiento- finalización sin efectos significativos sobre el desempeño en crecimiento o características de la canal. Sin embargo, el alimentar aceite de soya incrementó la inmunoglobulina -G (IgG) sérica comparado con alimentar dietas con sebo y dietas con sebo-aceite de soya e incrementaron la concentración de ácido α - linolénico (C18:3n-3) y ácido docosahexaenoico (DHA, C22:6n-3) en el músculo de las costillas y grasa dorsal de canales e incrementaron la concentración de ácido eicosapentaenoico (EPA, C20:5n-3) en grasa dorsal. Estos resultados son consistentes con otros estudios mostrando que el alimentar aceite de soya u otros aceites ricos en ácido linolénico incrementa el contenido de DHS y EPA en los tejidos adiposos del cerdo (Romans, et al., 1995). El ácido linolénico sirve como precursor para el EPA y DHA por medio de novo síntesis involucrando una desaturación y elongación (Romans et al., 1995; Scollan et al., 2001; Azain, 2004). Los ácidos grasos n-3 de cadena larga sirven como componentes esenciales de las membranas de fosfolípidos (Stubbs y Smith, 1984), jugando un papel en la reducción de riesgo de enfermedad cardiovascular en humanos (Sanderson et al., 2002; Kouba, 2003), y están involucrados en el desarrollo neural y retinal (Alessandri et al., 1998). Por lo tanto, debido a que el aceite de soya contiene elevadas concentraciones de ácido linolénico, su uso en dietas para cerdos en crecimiento-finalización puede ser benéfico para producir cerdos en nichos de mercado que deseen productos de cerdo enriquecidos con estos ácidos grasos n-3.

Además, unos pocos estudios han demostrado que la suplementación de aceite de soya a dietas de cerdas durante la gestación y lactación, parecen tener efectos benéficos para mejorar la función inmune de su descendencia, la morfología intestinal y la producción de enzimas. Peng et al. (2019) alimentaron dietas control a base de maíz-pasta de soya-salvado de trigo, con o sin 2% de aceite de soya, a lo largo de la gestación, y una dieta común y corriente durante la lactancia. Aunque no observaron diferencia en la cerda ni en el comportamiento de la

camada entre tratamientos, las cerdas alimentadas con dietas con aceite de soya tuvieron una mayor concentración de prolactina (una de las principales hormonas involucradas en el inicio y mantenimiento de la producción de leche) al nacimiento, y mayor contenido de proteína y sólidos de leche no grasos en comparación con las cerdas consumiendo la dieta control. Además, los lechones de cerdas que consumieron dietas conteniendo aceite de soya tuvieron una mejora en la morfología intestinal y un incremento en la abundancia de genes relacionados con la inmunidad innata comparados con descendencia de cerdas consumiendo las dietas control.

Similarmente, Liu et al. (2016) alimentaron una dieta control o con 4.6% de aceite de soya a cerdas durante la gestación y observaron mejoras en el peso corporal, peso del intestino delgado, altura de las vellosidades intestinales de los fetos y los lechones. También, reportaron un marcado incremento en la actividad de la lactasa en el intestino fetal, incremento en la actividad de la sucrasa en el intestino del lechón y una tendencia a incrementar la expresión proteica de la expresión del receptor del factor de crecimiento 1 similar a la insulina en el intestino fetal de cerdas alimentadas con dietas conteniendo aceite de soya. Che et al. (2016) también compararon el desarrollo intestinal y el perfil de transcripción de descendencia de cerdas consumiendo una dieta control o con 4.5% de aceite de soya durante la gestación. El alimentar la dieta con aceite de soya incrementó el peso fetal y la actividad de lactasa intestinal, junto con la alteración de múltiples genes asociados con el sistema inmune, transducción de señales y metabolismo.

Azain (1993) llevó a cabo un estudio para determinar los efectos de alimentar dietas conteniendo triglicéridos de cadena mediana (TCM) y triglicéridos de cadena larga (TCL; 2% de aceite de soya) durante la gestación tardía y lactancia temprana sobre la sobrevivencia pre-destete. Aunque las cerdas alimentadas con dietas suplementadas con TCM tuvieron mayor sobrevivencia (90.3%) hasta el destete a los 21 días, mayor número de lechones destetados por camada (10.1 cerdos) y mayor peso de la camada al destete (58.9kg) comparado con alimentar con TCL (81.2%, 8.9 cerdos y 48.5 kg, respectivamente), la sobrevivencia de cerdos de bajo peso al nacimiento (< 900g) se mejoró en las cerdas consumiendo dietas conteniendo ya sea TCM (68%) o TCL (53%) comparado con alimentar la dieta control (32%). Esta mejora en sobrevivencia de cerdos con el menor peso al nacimiento fue parcialmente atribuido al incremento en el contenido total e incremento en la tasa de ácidos grasos poliinsaturados a ácidos grasos saturados en cerdas alimentadas con la dieta TCL.

EFFECTOS DEL ACEITE DE SOYA SOBRE LA SALUD RESPIRATORIA EN CERDOS

Las instalaciones de confinamiento de los cerdos contienen concentraciones significativas de polvo y gases que pueden ser dañinos a la salud respiratoria de humanos y cerdos. Varios estudios han demostrado que cuando los cerdos son expuestos a elevadas concentraciones de polvo y gases, el crecimiento y la eficiencia alimenticia se ven a menudo reducidas (Curtis et al., 1974; 1975; Wathes et al., 2004), junto con una reducción en la salud respiratoria (Doig y Willoughby, 1971; Bundy y Hazen, 1975; Drummond et al., 1981). Las partículas de polvo que son menores a 5.2 μm de diámetro son capaces de penetrar los pulmones de humanos y cerdos (Anderson, 1958), lo que causa que el polvo se convierta en un problema de salud. Por lo tanto, los esfuerzos para controlar el polvo en instalaciones para cerdos son esenciales para minimizar los efectos adversos a la salud en cerdos y en personas.

La adición de aceite de soya a dietas para cerdos ha demostrado ser efectivo en la reducción de polvo que ha sido asociado a concentraciones de bacterias y virus presentes en instalaciones para cerdos. Mankell et al. (1995) reportaron que el adicionar 1% de aceite de soya a dietas para cerdos reducía marcadamente las concentraciones de polvo y la adición de 3% de aceite de soya resultaba en una mayor reducción de polvo. Gore et al. (1986) mostraron que la adición de 5% de aceite de soya a las dietas reducía la concentración de polvo en 45 a 47% y el conteo total de bacterias en aerosol en 27% comparado con alimentar dietas no suplementadas con aceite de soya. Verreault et al. (2010) reportaron que las concentraciones de hasta 107 genomas de circo virus porcino tipo 2 (PCV2) pueden encontrarse por metro cúbico de aire en instalaciones de confinamiento de cerdos infectados con este virus y que las concentraciones de polvo en el aire estaban correlacionadas con las concentraciones en el aire de PCV2 ($r=0.41$) y bacterias totales ($r=0.60$). Por lo tanto, el uso de aceite de soya para

reducir los niveles de polvo en instalaciones para cerdos debe ser considerado para minimizar la inhalación de polvo y subsecuentes bacterias patógenas y virus que pueden tener efectos dañinos sobre la salud animal.

RESUMEN

Aunque el aceite de soya no es considerado que tenga beneficios importantes para la salud y sistema inmune para aves y cerdos en comparación con otras fuentes de lípidos conteniendo mayores concentraciones de ácidos grasos n-3, hay alguna indicación en estudios limitados llevados a cabo de que tiene efectos benéficos. El aceite de soya contiene elevadas concentraciones de ácidos linoleico, que sirve como precursor de síntesis de novo de EPA y DHA a través de un proceso de conversión que involucre desaturación y elongación. Aunque estudios limitados en aves han demostrado beneficios inconsistentes para mejorar los títulos de anticuerpos contra enfermedades comunes, los estudios en cerdos han demostrado una mejora en la función inmune, morfología intestinal y producción de enzimas en descendencia de cerdas consumiendo aceite de soya. Además, la adición de aceite de soya para reducir el polvo en instalaciones de confinamiento para cerdos debe ser considerado para minimizar el polvo y la subsecuente inhalación de bacterias y virus patógenos que pueden tener efectos dañinos a la salud animal,

REFERENCIAS

- Alagawany, M., et al. 2019. Omega-3 and Omega-6 Fatty Acids in Poultry Nutrition: Effect on Production Performance and Health, *Animals*, 9, 573.
- Alessandri, H.M., B. Goustard, P. Guesnet, and A. Durand. 1988. Docosahexaenoic acid concentrations in retinal phospholipids of piglets fed an infant formula enriched with long-chain polyunsaturated fatty acids: effect of egg phospholipids and fish oil with different ratios of eicosapentanoic acid to docosahexaenoic acid. *Am. J. Clin. Nutr.* 67:377-385.
- Anderson, A.A. 1958. New sampler for the collection, sizing and enumeration of viable airborne particles. *J. Bacteriol.* 76:471.
- Azain, M.J. 2004. Role of fatty acids in adipocyte growth and development. *J. Anim. Sci.* 82:916-924.
- Azain, M.J. 1993. Effects of adding medium-chain triglycerides to sow diets during late gestation and early lactation on litter performance. *J. Anim. Sci.* 71:3011-3019.
- Bederska-Lojewska, D., S. Orczewska-Dudek, and M. Pieszka. 2013. Metabolism of arachidonic acid, its concentration in animal products and influence on inflammatory processes in the human body: A review. *Ann. Anim. Sci.* 13:177-194.
- Bundy, D.S., and T.E. Hazen. 1975. Dust levels in swine confinement systems associated with different feeding methods. *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.* 18:137.
- Calder, P.C. 1998. Immunoregulatory and anti-inflammatory effects of n-3 polyunsaturated fatty acids. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 31:467-490.
- Calder, P.C. 2001. Polyunsaturated fatty acids, inflammation, and immunity. *Lipids* 36:1007-1024.
- Calder, P.C. 2003. N-3 polyunsaturated fatty acids and inflammation: From molecular biology to the clinic. *Lipids* 38:343-352.
- Carlson, H.C., and G.R. Whenham. 1967. Coliform bacteria in chicken broiler house dust and their possible relationship to coli-septicemia. *Avian Dis.* 12:297.

- Che, L., P. Liu, Z. Yang, L. Che, L. hu, L. qin, R. Wang, Z. Fang, Y. Lin, S. Xu, B. Feng, J. li, and D. Wu. 2016. Maternal high fat intake affects the development and transcriptional profile of fetal intestine in late gestation using pig model. *Lipids in Health and Disease* 15:90.
- Cherian, G. 2007. *Metabolic and Cardiovascular Diseases in Poultry: Role of Dietary Lipids*, *Poultry Science* 86:1012–1016.
- Curtis, S.E., A.H. Jensen, J. Simon, and D.L. Day. 1974. Effects of aerial ammonia, hydrogen sulfide, and swine-house dust, alone and combined, on swine health and performance. *Proc. Int. Livestock Environ. Symp.*, SP-0174. p. 209. Amer. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI.
- Curtis, S.E., C.R. Anderson, J. Simon, A.H. Jensen, D.L. Day, and K.W. Kelley. 1975. Effects of aerial ammonia, hydrogen sulfide and swine-house dust on rate of gain and respiratory-tract structure in swine. *J. Anim. Sci.* 41:735-739.
- Doig, D.A., and R.A. Willoughby. 1971. Response of swine to atmospheric ammonia and organic dust. *J. Amer. Vet. Med. Assoc.* 159:1353-1361.
- Drummond, J.G., S.E. Curtis, R.C. Meyer, J. Simon, and H.W. Borton. 1981. Effects of atmospheric ammonia on young pigs experimentally infected with *Bordetella bronchiseptica*. *Amer. J. Vet. Res.* 42:963-968.
- Duan, Y., F. Li, L. Li, J. Fan, X. Sun, and Y. Yin. 2014. N-6:n-3 PUFA ratio is involved in regulating lipid metabolism and inflammation in pigs. *Br. J. Nutr.* 111:445-451.
- Ferret, P.R., and A.G. Gernat. 2006. Factors that affect feed intake in meat birds: A review. *Int. J. Poult. Sci.* 5:905-911.
- Fritsche, K. 2006. Fatty acids as modulators of the immune response. *Ann. Rev. Nutr.* 26:45-73.
- Gallois, M., H.J. Rothkötter, M. Bailey, C.R. Stokes, and I.P. Oswald. 2009. Natural alternatives to in-feed antibiotics in pig production: Can immunomodulators play a role? *Animal* 3:1644-1661.
- Gore, A.M., E.T. Kornegay, and H.P. Veit. 1986. The effects of soybean oil on nursery air quality and performance of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 63:1-7.
- Klasing, K.C. 1998. Nutritional aspects of leukocytic cytokines. *J. Nutr.* 118:1436-1446.
- Komprda, T. 2012. Eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids as inflammation-modulating and lipid homeostasis influencing nutraceuticals: A review. *J. Funct. Foods* 4:25-38.
- Korver, D.R. 2012. Implications of changing immune function through nutrition in poultry. *Anim. Feed Sci. technol.* 173:54-64.
- Kouba, M., M. Enser, F.M. Whittington, G.R. Nute, and J.D. Wood. 2003. Effect of a high-linolenic acid diet on lipogenic enzyme activities, fatty acid composition, and meat quality in the growing pig. *J. Anim. Sci.* 81:1967-1979.
- Liu, P., L. Che, Z. Yang, B. Feng, L. Che, S. Xu, Y. Lin, Z. Fang, J. Li, and D. Wu. 2016. A maternal high-energy diet promotes intestinal development and intrauterine growth of offspring. *Nutrients* 8:258.
- Mankell, K.O., K.A. Janni, R.D. Walker, M.E. Wilson, J.E. Pettigrew, L.D. Jacobson, and W.F. Wilcke. 1995. Dust suppression in swine feed using soybean oil. *J. Anim. Sci.* 73:981-985.

- Miles, E.A., and P.C. Calder. 1998. Modulation of immune function by dietary fatty acids. *Proc. Nutr. Soc.* 57:277-292.
- Park, S.W., S.H. Seo, M.B. Chang, I.S. Shin, and I.K. Paik. 2009. Evaluation of soybean oil as a lipid source in pig diets. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 22:1311-1319.
- Peng, X., C. Yan, L. Hu, Y. Liu, Q. Xu, R. Wang, L. Qin, C. Wu, Z. Fang, Y. Lin, S. Xu, B. Feng, Y. Zhou, J. Li, D. Wu, and L. Che. 2019. Effects of fat supplementation during gestation on reproductive performance, milk composition of sows and intestinal development of their offspring. *Animals* 9:125.
- Pietras, M.P., and S. Orczewska-Dudek. 2013. The effect of dietary *Camelina sativa* oil on quality of broiler chicken meat. *Ann. Anim. Sci.* 13:869-882.
- Pinto, M.F., V.M. Lima, S.C. Ribeiro, I.L. Bossolani, E.H. Ponsano, and M. Garcia-Neto. 2014. Sources of oil in the diet and its influence on the performance and the immunity of broilers. *Pesq. Vet. Bras.* 34:409-414.
- Roller, W.L. 1961. Dust creates problems in air-conditioning. *Agric. Eng.* 44:436.
- Roller, W.L. 1965. Need for study of effects of air contaminants on equipment and animal performance. *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.* 8:353.
- Romans, J.R., R.C. Johnson, D.M. Wolf, G.W. Libal, and W.J. Costello. 1995. Effects of ground flaxseed in swine diets on pig performance and physical and sensory characteristics and omega-3 fatty acid content of pork: I. Dietary level of flaxseed. *J. Anim. Sci.* 73:1982-1986.
- Sadeghi, A.A., A. Safaei, and M. Aminafshar. 2014. The effects of dietary oil sources on performance, serum corticosterone level, antibody titers and IFN- γ gene expression in broiler chickens. *Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg.* 20:857-862.
- Sadeghi, A.A., M. Mirmohseni, P. Shawrang, and M. Aminafshar. 2013. The effect of soy oil addition to the diet of broiler chickens on the immune response. *Turkish J. Vet. Anim. Sci.* 73:264-270.
- Sanderson, P., Y.E. Finnegan, C.M. Williams, P.C. Calder, G.C. Burdge, S.A. Wooton, B.A. Griffin, D.J. Millward, N.C. Pegge, and W.J.E. Bemelmans. 2002. UK Food Standards Agency α -linolenic acid workshop report. *Br. J. Nutr.* 88:573-579.
- Scollan, N.D., N.J. Choi, E. Kurt, A.V. Fisher, M. Enser, and J.D. Wood. 2001. Manipulating the fatty acid composition of muscle and adipose tissue in beef cattle. *Br. J. Nutr.* 85:115-124.
- Simopoulos, A.P. 2002. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomed. Pharmacother.* 56:365-379.
- Stubbs, C.D., and A.D. Smith. 1984. The modification of mammalian membrane polyunsaturated fatty acid composition in relation to membrane fluidity and function. *Biochem. Biophys. Acta* 779:89-137.
- Stulnig, T.M. 2003. Immunomodulation by polyunsaturated fatty acids: Mechanisms and effects. *Int. Arch. Allergy Immunol.* 132:310-321.
- Stulnig, T.M., and M. Zeyda. 2004. Immunomodulation by polyunsaturated fatty acids: Impact on T-cell signaling. *Lipids* 39:1171-1175.

Swiatkiewicz, S, A. Arczewska-Wlosek, and D. Jozefiak. 2015. The relationship between dietary fat sources and immune response in poultry and pigs: An updated review. *Livest. Sci.* 180:237-246.

Verreault, D., V. Létourneau, L. Gendron, D. Massé, C.A. Gagnon, and C. Duchaine. 2010. Airborne porcine circovirus in Canadian swine confinement buildings. *Vet. Microbiol.* 141:224-230.

Wathes, C.M., T.G.M. Demmers, N. Teer, R.P. White, L.L. Taylor, V. Bland, P. Jones, D. Armstrong, A.C.J. Gresham, J. Hartung, D.J. Chennells, and S.H. Done. 2004. Production responses of weaned pigs after chronic exposure to airborne dust and ammonia. *Anim. Sci.* 78:87-97.

Yanovych, D., A. Czech, and Z. Zasadna. 2013. The effect of dietary fish oil on the lipid and fatty acid composition and oxidative stability of goose leg muscles. *Ann. Anim. Sci.* 13:155-165.

Zdunczyk, Z. and J. Jankowski. 2013. Poultry meat as functional food: Modification of the fatty acid profile – a review. *Ann. Anim. Sci.* 13:463-480.

Capítulo



12

**Efecto de los Aditivos sobre la
Utilización de Energía del Aceite de
Soya Estadounidense en Dietas para
Cerdos y Aves**

INTRODUCCIÓN

Una vez que se ha seleccionado la fuente de lípidos de alta calidad para su uso, la meta es maximizar su valor alimenticio en las dietas de cerdos y aves. Continúa habiendo considerable interés en agregar varios tipos de aditivos alimenticios, como los emulsionantes (lecitina, lisolecitina, sales biliares), L-carnitina, y enzimas suplementarias a dietas con grasas y aceites suplementarios para mejorar la digestibilidad y el contenido de energía metabolizable. Este capítulo es un resumen de varios estudios efectuados para evaluar diversos aditivos alimenticios para mejorar la digestibilidad de la energía y el desempeño en crecimiento de aves y cerdos alimentados con dietas con aceite de soya, haciendo referencia a otras fuentes de lípidos para hacer una comparación.

Tabla 1. Comparación del contenido de energía y nutrientes del aceite de soya y de lecitina de soya grado alimenticio (Anónimo, 2010)

Medición	Aceite de soya	Lecitina de soya grado alimenticio
Energía bruta, kcal/kg MS	9,291	7,046
EMA _n pollo de engorde, kcal/kg	9,232	6,998
Ácidos grasos totales, % de lípidos	95.3	71.5
Ácido linoléico, %	51.0	38.3
Fósforo Total, %	0	3.94
Fósforo disponible, %	0	3.55
Colina, %	0	3.94

EMULSIONANTES-LECITINA Y LISOLECITINA

DIETAS PARA AVES

Los emulsionantes nutricionales (lecitina y lisolecitina) son clasificados con base en su balance hidrofílico-lipofílico, que indica su capacidad de solubilidad en agua o en grasa, donde 0 = muy lipofílico y 20 = muy hidrofílico. Por lo tanto, un emulsionante con un alto balance hidrofílico – lipofílico indica una alta solubilidad en agua, y será muy efectivo en las dietas para aves debido a la elevada proporción de agua con relación al alimento seco consumido por las aves.

Las lecitinas son compuestos que ocurren naturalmente en la soya y son producidas al hidratar el aceite de soya crudo con vapor de agua para precipitar las gomas de lecitina. Varias fuentes comerciales de lecitina grado alimenticio están disponibles en la mayoría de los países a precio competitivo. Las gomas de lecitina sin procesar contienen alrededor de 25% de humedad, 50% de fosfolípidos y 25% de aceite de soya (Russet, 2000), y son utilizadas en dietas para aves como un sustituto de otros lípidos, así como un emulsionante para incrementar la digestibilidad de lípidos en aves jóvenes. En la **Tabla 1**, se muestra una comparación de la composición del contenido energético (pollo de engorde) y concentración de nutrientes selectos en aceite de soya y lecitina de soya grado alimenticio. El contenido de energía bruta (EB) y de energía metabolizable aparente corregida por balance de nitrógeno (EMAn) de la lecitina de soya grado alimenticio es 24% menos que la encontrada en el aceite de soya. Esto es posible debido al bajo contenido de ácidos grasos totales en la lecitina en comparación con el aceite de soya. Borsatti et al. (2018) desarrollaron ecuaciones de regresión para estimar el contenido de (EMAn) de varios coproductos del aceite de soya, incluyendo lecitina.

Estudios limitados han evaluado el uso de lecitina para mejorar la digestibilidad de lípidos en dietas para pollos de engorde. Polin (1980) agregando 0.2, 2.0 o 20 g/kg de lecitina a dietas conteniendo 4% de sebo y reportaron un mejoramiento en la digestibilidad cuando se utilizó una concentración de 20g/kg, pero no con concentraciones menores. Más recientemente, Sival, et al. (2017) reportaron que al agregar 0.10% de lecitina de soya a dietas de pollo de engorde conteniendo 4.2% a 5.5% de aceite de palma, mejoraron el desempeño en crecimiento, redujeron el colesterol sérico y triglicéridos y mejoraron el estatus

oxidativo. Es sabido que estos mismos beneficios ocurren al adicionar lecitina a dietas de pollo de engorde conteniendo aceite de soya.

También se ha evaluado la lecitina para su uso en dietas para gallinas de postura como un sustituto de otras fuentes de lípidos. Mandalawi et al. (2015) reportaron que al reemplazar manteca (grasa de cerdo) con 4% de lecitina en dietas para gallinas de postura mejoraba la retención de materia seca, lípidos, energía bruta, así como mejoraba el peso del huevo y el color de la yema.

Los productos de lisolecitina comercial son mezclas de lisofosfolípidos (incluyendo lisofosfatidil colina) y fosfolípidos. El balance hidrofílico-lipofílico relativamente elevado en lisofosfolípidos en comparación con los fosfolípidos les permite servir como biosurfactantes muy efectivos con la capacidad de formar de manera más eficiente micelas más pequeñas que la bilis (Melegy et al., 2010).

Varios estudios han evaluado la adición de fuentes comerciales de productos de lisolecitina sobre el contenido de energía y desempeño en crecimiento en pollos de engorde. Othman (2008) evaluó la adición de lisofosfatidilcolina a dietas conteniendo 4% de sebo o aceite de soya y observaron una mejora en el contenido de EMA y conversión alimenticia durante un trabajo experimental de 35 días, para dietas conteniendo ambas fuentes de lípidos. Shang et al. (2011) adicionó lisofosfatidilcolina a dietas conteniendo aceite de soya, sebo o grasa de aves (3% de inclusión en dietas de iniciación; 4% de inclusión en dietas de crecimiento), y mostraron una mejoría en ganancia de peso durante la fase de iniciación para todas las dietas suplementadas con todos los lípidos cuando se agregó el emulsionante, sin embargo, no así durante la fase de crecimiento. La adición de lisofosfatidilcolina a estas dietas suplementadas con lípidos tendieron a mejorar el contenido de EMA durante ambas fases de crecimiento, pero la mayor mejora fue cuando se alimentaron las dietas suplementadas con grasa de ave. Similarmente, Jensen et al. (2015) mostraron mejoras en el contenido de EMA y retención de nitrógeno al agregar lisolecitinas de soya y de colza a dietas conteniendo aceite de soya o manteca, pero se observaron mayores mejoras al alimentar las dietas con manteca. Mientras que se han podido observar beneficios nutritivos y en desempeño en crecimiento al adicionar emulsionantes a dietas con aceite de soya, parece que hay mayores beneficios cuando se suplementan estos productos a dietas conteniendo fuentes de grasa animal. Además, Boontiam, et al. (2019) mostraron que suplementando lisofosfolípidos a dietas para pollos de engorde bajas en energía y bajas en proteína cruda, mejoraban la digestibilidad de materia seca, extracto etéreo y aminoácidos, lo que conlleva a una mejora en la ganancia de peso y conversión alimenticia.

DIETAS PARA CERDOS

Kerr y Shurson (2017) proporcionaron una comparación detallada del perfil de ácidos grasos, indicadores de oxidación y valores de energía entre el aceite de soya refinado y la lecitina de soya para cerdos (**Tabla 2**). Aunque el perfil de ácidos grasos fue similar entre el aceite refinado de soya y la lecitina de soya los valores de energía bruta (EB), energía digestible (ED) y energía metabolizable (EM) fueron de 26, 34 y 30% menos, respectivamente para lecitina en comparación con el aceite de soya. La fuente de lecitina de soya utilizada por Kerr y Shurson (2017) estaba también más oxidada que la fuente de aceite de soya, lo que pudo haber afectado el contenido de ED y EM.

Kerr y Shurson (2017) también compararon el contenido de energía y digestibilidad del aceite de soya y el aceite de ácido de soya, con y sin la adición de lecitina, en cerdos de 13 kg. El contenido de energía bruta fue similar entre aceites, con y sin lecitina, pero la adición de lecitina al aceite de soya refinado no tuvo efecto en la ED, ED como porcentaje de la EB, digestibilidad de lípidos, EM y EM como porcentaje de la ED (**Tabla 3**). Sin embargo, la adición de lecitina al aceite de ácido de soya redujo la ED, la ED como porcentaje de la EB y el contenido de EM. Se esperaba que la adición de lecitina al aceite refinado de soya mejorara el contenido y digestibilidad de la ED y la EM, pero esto no ocurrió y la suplementación de lecitina fue más bien perjudicial para el contenido de energía al agregarla al aceite de ácido de soya. Sin embargo, otros trabajos de investigación han demostrado que la lecitina tiene pocos o ningún efecto en la digestibilidad de lípidos y energía, así como en el desempeño en crecimiento en cerdos (Overland et al., 1993a; 1993b; 1994; Miller et al., 1994; de Souza et al., 1995).

Tabla 2. Comparación de los indicadores de composición y oxidación de aceite de soya refinado y lecitina de soya sobre el contenido energético para cerdos en crecimiento (adaptado de Kerr y Shurson, 2017)

Medición	Aceite de Soya Refinado	Lecitina de Soya
Extracto etéreo, %	99.8	63.2
Ácidos Grasos Libres, %	0.02	6.30
Ácido Graso, % de lípido total		
Valérico (C5:0)	ND	ND
Caprílico (C8:0)	ND	0.35
Perlagónico (C9:0)	ND	ND
Capríco (C10:0)	ND	0.26
Laurico (C12:0)	ND	0.57
Myristico (C14:0)	0.07	0.32
Pentadecanoico (C16:0)	10.3	ND
Palmitico (C18:0)	4.64	21.8
Palmitoleico (cis-9 C16:1)	0.08	0.12
Margarico (C17:0)	0.09	ND
Margaroleico (C17:1)0.06	ND	ND
Esteárico (C18:0)	4.64	3.67
Oléico (cis-9 C18:1)	24.1	17.4
Linoléico (18:2n-6)	52.8	50.2
Linoléico (18:3n-3)	6.52	4.37
Nonadecanoico (C19:1)	0.23	ND
Araquídico (C20:0)	0.35	0.18
Gadoléico (C20:1)	0.19	ND
Behenóico (C22:0)	0.35	0.41
Lignocérico (C24:0)	0.13	0.30
Otros ácidos grasos	0.14	0.19
MIU ² , %	4.05	4.86
Valor de peróxido, meq/kg	2.30	8.61
Valor de anisidina ³	7.6	56
Hexanal, µg/g	1.72	13.5
EB, kcal/kg	9,398	6,922
ED, kcal/kg	8,315	5,511
EM, kcal/kg	8,368	5,840

¹ND = no detectable.

²MIU = suma de humedad, insolubles, materia insaponificable.

³No hay unidades para el valor de anisidina.

Se han efectuado estudios limitados para evaluar los potenciales beneficios de adicionar lisolecitina a dietas para cerdos suplementadas con lípidos. Uno de los estudios iniciales mostró que la suplementación de lisolecitina a dietas para cerdos mejoraba la digestibilidad de lípidos, pero tenía efectos mínimos en mejorar el desempeño en crecimiento (Jones et al., 1992). Sin embargo, parece que las respuestas a la adición de lisolecitina a dietas con lípidos depende de la edad (Xing et al. 2004). Esto es apoyado por los resultados reportados por Gatlin et al. (2005), donde la lisolecitina no tuvo efecto sobre la digestibilidad de grasa blanca parcialmente hidrogenada proporcionada a cerdos en finalización.

Shi et al. (2019) alimentaron dietas con 0% y 3% de aceite de soya o lecitina de soya a cerdas en lactancia, inmunoglobulina de lecitina de soya en cerdas en lactancia y mostraron una mejora en el peso al destete y tasa de crecimiento en lechones de cerdas consumiendo dietas con 3% de lecitina. Además, las concentraciones de inmunoglobulinas séricas y en leche se incrementaron al alimentar dietas con 2% o 3% de lecitina en cerdas y lechones. Esta es la primera evidencia sugiriendo efectos potencialmente benéficos de alimentar lecitina de soya a las cerdas. Sin embargo, la adición de emulsionantes, como la lecitina y lisolecitina a dietas suplementadas con varios lípidos han resultado en beneficios inconsistentes para mejorar la digestibilidad de lípidos y energía en cerdos en crecimiento (Jones et al., 1992; Overland et al., 1993a, 1993b; 1994; Gatlin et al., 2005).

SALES BILIARES

AVES

La digestión de lípidos es un proceso complejo que involucra el contar con una adecuada cantidad de sales biliares, que sirven como emulsionantes y la enzima lipasa, para maximizar la absorción y utilización de los lípidos. Las sales biliares son componentes esenciales del proceso de digestión de lípidos ya que reducen la superficie de tensión entre la interfase del aceite y el agua para permitir la emulsión y activar la lipasa pancreática, y también prevenir la desnaturalización de esta enzima cuando deja la superficie de las gotitas de grasa emulsionadas (Ravindran et al., 2016). Hay alguna evidencia que sugiere que la secreción biliar es insuficiente en aves jóvenes, lo que resulta en una baja digestibilidad de lípidos (Krogdahl, 1985; Tancharoenrat et al., 2013). Además, los pollos jóvenes tienen menor habilidad para reabsorber sales biliares en

Tabla 3. Contenido energético y digestibilidad de aceite refinado de soya y aceite de ácido de soya, con y sin la adición de lecitina, en cerdos de 13 kg (adaptado de Kerr y Shurson, 2017)

Medición, %	Aceite de soya refinado	Aceite de soya refinado + lecitina	Aceite de ácido de soya	Aceite de ácido de soya + lecitina
EB, kcal/kg	9,398	9,250	9,326	9,182
ED, kcal/kg	8,315 ^a	8,934 ^a	8,448 ^a	7,280 ^b
ED, % de EB	88.5 ^a	96.6 ^a	90.6 ^a	79.3 ^b
Digestibilidad de extracto etéreo, %	95.7	97.5	88.4	87.6
EM, kcal/kg	8,368 ^a	8,975 ^a	8,472 ^a	7,418 ^b
EM, % de ED	100.6	100.6	100.3	102.1

comparación con aves de mayor edad, lo que posiblemente influencia su habilidad para optimizar la digestibilidad de lípidos en esta etapa de vida (Serafin y Nesheim, 1967; 1970).

Todos los estudios que han evaluado la suplementación de sales biliares en dietas para pollos de engorde involucran dietas conteniendo sebo suplementario (Fedde et al., 1960; Gomez y Polin, 1976; Polin et al., 1980; Kussaibati et al., 1982; Noy y Sklan, 1995; Alzawqari et al., 2011). La mayoría de estos estudios mostraron resultados consistentes para mejorar la digestibilidad de lípidos y el desempeño en crecimiento cuando se suplementaron varios tipos de sales biliares a dietas con sebo. Sin embargo, se desconoce si estas respuestas positivas se observarían al alimentar dietas suplementadas con aceite de soya a pollos de engorde. Aún más, es importante reconocer que el grado de mejora en la digestibilidad de lípidos muy posiblemente variará dependiendo de la sal biliar específica adicionada y las sales biliares en la actualidad son muy caras para usarse de manera práctica en dietas para aves.

L-CARNITINA

La mitocondria es el sitio principal para la oxidación de ácidos grasos en las células animales, y la L-carnitina es requerida para la transportación de ácidos grasos de cadena larga del citosol de la célula a la mitocondria para la β -oxidación. El proceso de β -oxidación involucra la combustión de lípidos (Carter et al., 1995) y la producción de energía (Keralapurath et al., 2010). Por lo tanto, las reducciones en la concentración de carnitina, o cambios en el metabolismo pueden llevar a la reducción en la producción de energía en la mitocondria (Arslan, 2006). Como resultado, la suplementación de L-carnitina en la dieta puede ser benéfico para mejorar la oxidación de ácidos grasos y la producción de energía para facilitar un mejor desempeño en el crecimiento en cerdos y en aves alimentados con dietas suplementadas con lípidos.

AVES

La adición de L-carnitina suplementaria a dietas de pollo de engorde se ha demostrado que promueve el crecimiento, favorece el sistema inmune, provee de efectos antioxidantes y mejora la calidad del semen en aves (Adavi et al., 2011). Alguna evidencia sugiere que el requerimiento de L-carnitina puede incrementarse bajo condiciones de elevadas tasas de crecimiento, estrés elevado y cuando se alimentan dietas con un contenido limitado o sin contenido alguno de fuentes de proteína animal (Adabi et al., 2011). Sin embargo, las respuestas han sido inconsistentes. Unos pocos trabajos han demostrado que al agregar L-carnitina a dietas con lípidos se mejora la ganancia de peso corporal y se reduce el contenido de grasa abdominal en pollos de engorde (Rabie, et al., 1997a, b), pero ningunos otros estudios encontraron efectos en la suplementación de L-carnitina sobre desempeño en el crecimiento. (Xu et al., 2003; Leibetseder, 1995). Estos resultados conflictivos pueden deberse a diferencias en la composición de ácidos grasos entre las fuentes de lípidos alimentados.

Más recientemente, Jalali et al. (2015) evaluaron los efectos de alimentar dietas conteniendo aceite de soya o aceite de girasol (3.85 iniciación; 5.4% crecimiento), con y sin suplementación de 120 mg/kg de L-carnitina, sobre desempeño en crecimiento, valores de química sanguínea y título de anticuerpos contra enfermedad de Newcastle en pollos de engorde durante una prueba de alimentación por 5 semanas. Los pollos de engorde consumiendo dietas conteniendo aceite de soya tuvieron ganancias de peso diarias (61.7g/día) similares (efectos principales) en comparación con las aves consumiendo el aceite de girasol (57.8 g/día), pero la conversión alimenticia se mejoró al alimentar aceite de soya (1.96) comparado con el aceite de girasol (2.09). Sin embargo, no hubo diferencias de efectos entre los tratamientos para la suplementación con L-carnitina. Cuando se compararon los efectos interactivos de la fuente de aceite con y sin la suplementación de L-carnitina, la adición de L-carnitina a las dietas con aceite de soya tuvo una ventaja significativa (**Tabla 4**). En general para el período de alimentación de 35 días, las aves alimentadas con dietas conteniendo aceite de soya suplementadas con 120 mg /kg de L-carnitina tuvieron un mayor peso corporal en comparación con las aves consumiendo el aceite de soya sin suplementación de L-carnitina y que los que consumieron las dietas con aceite de girasol con y sin suplementación de L-carnitina. Se mejoró la ganancia de peso en los pollos alimentados con las dietas con aceite de soya y L-carnitina comparado con las dietas sin suplementación de aceite de soya y aceite de girasol con L-carnitina. Además, la conversión alimenticia fue mayor para los pollos consumiendo las dietas con acei-

te de soya y L-carnitina en comparación con las aves alimentadas con dietas conteniendo aceite de girasol y L-carnitina. Estos resultados sugieren que la adición de L-carnitina a dietas de pollos de engorde conteniendo aceite de soya pueden mejorar el desempeño en crecimiento de manera efectiva, pero estos beneficios no se observaron al adicionar L-carnitina a dietas con aceite de girasol.

Sayed et al. (2001) reportaron incrementos en el consumo de alimento en pollos de engorde alimentados con 2 o 4% de aceite de girasol suplementado con 50 mg/kg de L-carnitina. Adicionalmente, Corduk y Sarica (2008) reportaron que al adicionar 500 mg/kg de L-carnitina a dietas de gallinas de postura conteniendo aceite de girasol incrementaba el consumo de alimento en gallinas de postura. Sin embargo, otros trabajos han demostrado que la adición de L-carnitina (300, 600 o 900 mg/kg) a dietas de pollos de engorde suplementadas con aceite de maíz, reducen el consumo de alimento (Zhang et al., 2010) y Ardekani et al. (2012) reportaron que adicionando 50 mg/kg de L-carnitina a dietas con aceite de soya reducían el consumo de alimento en pollos de engorde. Varios otros estudios no han mostrado efecto alguno con la suplementación de L-carnitina sobre el desempeño de crecimiento en pollos de engorde (Corduk et al., 2007; Lien y Horng, 2001; Xu et al., 2003; Kheiri et al., 2011).

Curiosamente, la adición de L-carnitina suplementaria a dietas con aceite de soya han demostrado mejorar los títulos de anticuerpos contra el virus de la Enfermedad de Newcastle cuando la proporción de los ácidos grasos n-3 a n-6 en la dieta era de 0.13, que es comparable con la relación encontrada en el aceite de soya (Friedman y Sklan, 1997). Pilevar et al. (2011) también reportaron que a medida que la proporción de n-6 a n-3 en la dieta incrementaba, los títulos de anticuerpos contra la Enfermedad de Newcastle en pollitas también incrementaban. Por lo tanto, parece haber algunos beneficios adicionales al agregar L-carnitina a las dietas con aceite de soya para mejorar la respuesta inmune contra la Enfermedad de Newcastle, y que no se ha observado cuando se agrega aceite de girasol a las dietas.

Tabla 4. Efectos interactivos alimentando dietas conteniendo aceite de soya, aceite de girasol o una combinación de estos aceites, con y sin la suplementación de L-carnitina, sobre el desempeño en crecimiento, almohadilla de grasa (% del peso corporal a los 35 días) y títulos de anticuerpos contra el virus de la Enfermedad de Newcastle (adaptado de Jalali et al., 2015).

Medición	Aceite de soya	Aceite de soya + L-carnitina	Aceite de girasol	Aceite de girasol + L-carnitina
Peso corporal a los 35 días, g	2,294 ^c	2,693 ^a	2,493 ^b	2,308 ^c
Ganancia de peso corporal, g/d	56.5b ^c	66.8 ^a	62.2 ^{ab}	53.4 ^c
Consumo de alimento, g/d	118	124	120	120
Consumo : Ganancia	2.08 ^{ab}	1.85 ^b	1.93 ^{bc}	2.24 ^a
Almohadilla grasa, % del peso corporal a los 35 días	2.38 ^b	2.78 ^a	2.07 ^{bc}	1.75 ^d
Título de anticuerpos contra virus de Enfermedad de Newcastle a los 28 días de edad, Log ₂	2.75 ^b	4.10 ^a	3.30 ^{ab}	3.70 ^{ab}

^{a,b,c,d}Medias dentro de hileras con superíndices desiguales son diferentes (P < 0.05).

CERDOS

La adición de L-carnitina a dietas conteniendo lípidos suplementarios han demostrado que mejoran el contenido energético de los lípidos como resultado del incremento en la oxidación de ácidos grasos en cerdos recién nacidos (Odle, 1997; Heo et al., 2002). Esta respuesta puede ser el resultado de bajas concentraciones de carnitina en las dietas proporcionadas al destete. La leche de la cerda contiene abundantes cantidades de carnitina (Kerner et al., 1984), y cuando los cerdos son destetados, esta fuente de carnitina ya no se encuentra disponible y pueden requerir de L-carnitina suplementaria en las dietas hasta que sean capaces de sintetizar adecuadas cantidades de carnitina.

Resultados al alimentar dietas conteniendo L-carnitina suplementaria han demostrado resultados relativamente consistentes mejorando el desempeño en crecimiento y la utilización de energía y nutrientes. Cho et al. (1999) agregaron 1,000mg/kg de L-carnitina a dietas de cerdos destetados conteniendo 4% de aceite de soya y niveles crecientes de lisina y mostraron mejoras en la EB, digestibilidad de lípidos, proteína cruda y materia seca, así como mejoras en la conversión alimenticia. En contraste, Hoffman et al. (1993) alimentaron dietas conteniendo 1.18% o 12.31% de aceite de soya, con y sin 800 mg/kg de L-carnitina a cerdos destetados

y reportaron que la L-carnitina no tuvo efecto mejorando el contenido de EM de dietas conteniendo aceite de soya y las calorías del aceite de soya fueron utilizadas tan eficientemente como las calorías procedentes de carbohidratos en cerditos recién nacidos y cerdos jóvenes. Sin embargo, Owen et al. (1996) alimentaron dietas conteniendo 0% o 10% de aceite de soya suplementadas con 0, 500, o 1,000 mg/kg de L-carnitina y observaron una mejora en la conversión alimenticia y una reducción en la acumulación de lípidos en canal. En un estudio posterior, Rincker et al. (2003) llevó a cabo cinco experimentos que involucraban la adición de 0% o 4% a 6% de aceite de soya a dietas de cerditos en lactancia suplementados con concentraciones crecientes de L-carnitina (0, 25, 50 o 100 mg/kg). Ellos reportaron que la adición de 50 a 100 mg/kg de L-carnitina a las dietas mejoraba el desempeño en crecimiento y esta respuesta fue mayor al agregar aceite de soya a la dieta.

En cerdos en crecimiento, Heo et al. (2000) evaluaron los efectos de suplementar 4% de aceite de soya a dietas bajas en energía con 500 mg/kg de L-carnitina sobre la utilización de nitrógeno en cerdos de 18 kg y observaron una mejora en la tasa de crecimiento, retención y digestibilidad de nitrógeno y deposición de proteína, mientras que se redujo la deposición de lípidos en tejido adiposo. Owen et al. (2001) alimentaron dietas de lactancia conteniendo de 3 a 5% de aceite de soya, y dietas de crecimiento-finalización conteniendo 2.5% de aceite de soya, que fueron suplementadas con niveles crecientes de L-carnitina y no se mostraron efectos en el desempeño en crecimiento con la suplementación de L-carnitina ni para la etapa de lactancia ni durante el crecimiento-finalización. Sin embargo, el alimentar dietas conteniendo 49 a 64 mg/kg de L-carnitina durante la fase de crecimiento-finalización incrementó la deposición de proteína y disminuyó el grosor de grasa dorsal en cerdos en crecimiento-finalización.

Un estudio inicial con cerdas mostró que la suplementación de dietas con L-carnitina en la gestación, lactancia o en ambas etapas reproductivas, incrementaba subsecuentemente el número de cerditos nacidos vivos por camada, mientras que suplementando dietas con L-carnitina únicamente durante la gestación sólo incrementó el peso de la camada al nacimiento y al destete (Musser et al., 1999). Sin embargo, en un estudio llevado a cabo por Eder (2009), a pesar de la inconsistencia en las respuestas en cuanto a tamaño de camada al suplementar L-carnitina durante la gestación, la mayoría de los estudios han mostrado mejoras en los pesos de los lechones y pesos de la camada al nacimiento, así como una mejora en la tasa de crecimiento durante la lactancia. Se requiere de estudios en cerdas que evalúen el efecto de la suplementar dietas que contienen aceite de soya con L-carnitina.

ENZIMAS SUPLEMENTARIAS

AVES

Las lipasas son enzimas responsables de la digestión de grasas y aceites en la dieta. Algunos investigadores han especulado que la cantidad de lipasa producida por el páncreas en las aves puede ser inadecuada para optimizar la digestión de lípidos. Se han llevado a cabo estudios limitados para evaluar la suplementación de dietas conteniendo lipasas suplementarias en dietas para aves. Dos fuentes de lipasas han sido evaluadas en dietas para aves, que incluyen lipasa porcina cruda (Polin et al., 1980) y lipasas de microorganismos como *Rhizopus arrhizus*, *Aspergillus niger*, y *Pseudomonas* spp. (Kermanshahi et al., 1988). Polin et al. (1980) alimentaron dietas conteniendo 4% de sebo que fueron suplementadas con 0%, 0.1% o 1% de lipasa porcina cruda y 0% o 0.4% de ácido cólico a pollos de engorde. La digestibilidad de grasa mejoró durante los primeros 9 días post-incubación en aves alimentadas con dietas conteniendo 1% de lipasa, comparado con aves alimentadas con niveles menores de lipasa suplementada, pero adicionando ácido cólico, resultando en una mayor digestibilidad de grasa (82.6%) comparado con dietas conteniendo tanto lipasa 1% como ácido cólico (82.3%). Sin embargo, DiMango et al. (1977) reportaron que la lipasa porcina de la dieta es desnaturalizada por el pH bajo en la porción superior del tracto gastrointestinal de las aves y pierda una buena parte de su actividad al momento en que llega a los sitios en intestino donde se lleva a cabo la digestión de lípidos. En un estudio, Hu et al. (2018) evaluaron los efectos de alimentar dietas con diferentes concentraciones de energía y lipasa sobre el desempeño en crecimiento, digestibilidad de nutrientes, perfiles séricos, salud intestinal y calidad de canal en pollos de engorde. Se usó sebo como fuente de grasa suplementaria en las dietas experimentales. Los resultados mostraron que al suplementar lipasa a razón de 3,000 unidades/kg de alimento mejoraba la digestibilidad de nutrientes, el desempeño en crecimiento, la altura de las vellosidades intestinales, la profundidad de vellosidad altura:cripta y actividad de la lipasa, pero redujo las concentraciones de triglicéridos séricos y de colesterol lipoprotéico de baja densidad, así

como el porcentaje de grasa abdominal cuando los pollos de engorde consumieron una dieta baja en energía. Se desconoce si estos beneficios pueden lograrse al proporcionar dietas conteniendo aceite de soya.

Una serie de 3 experimentos se llevaron a cabo por Al-Marzooqi y Leeson (1999) para evaluar la adición de pancreatina y una preparación pancreática porcina cruda sobre el uso de lípidos en dietas para pollos jóvenes. En el primer experimento, las dietas suplementadas contenían 4% u 8% de una mezcla de origen animal-vegetal 7.14% enzima pancreática cruda o 7.14% de pancreatina, mejoraron la digestibilidad de lípidos y el contenido de EMA comparado con alimentar dietas sin suplementar. Sin embargo, al proporcionar las dietas con las enzimas suplementadas resultó en una disminución en el consumo de alimento, ganancia de peso, y conversión alimenticia comparado con aves consumiendo las dietas control. De manera semejante, en el segundo experimento, las concentraciones crecientes de enzima pancreática cruda (0, 2.14, 4.29, 6.43, 8.57 y 10.71%) en dietas conteniendo 4% de una mezcla animal-vegetal incrementaron la digestibilidad de grasa y el contenido de EMA, pero redujeron el consumo de alimento, la ganancia de peso y la conversión alimenticia. En el tercer experimento, los pollos consumieron 4% de una mezcla animal – vegetal conteniendo concentraciones crecientes de páncreas porcino crudo deshidratado, pero no se observaron efectos sobre el desempeño en crecimiento. Estos resultados sugieren que, aunque la suplementación de pancreatina puede mejorar la digestibilidad de lípidos, estas mejoras no resultan subsecuentemente en mejoras en el desempeño en crecimiento.

Meng et al. (2004) alimentaron una forma purificada de lipasa suplementaria a pollos jóvenes y no observaron efectos sobre la digestibilidad de lípidos o EMA. Estos investigadores sugieren que la producción de lipasa pancreática puede no ser un factor limitante contribuyendo a la reducción en la digestión de lípidos en aves jóvenes.

La adición de diferentes mezclas de carbohidrasas, proteasas y enzimas a dietas de aves se ha vuelto muy popular en años recientes en un intento por incrementar la digestibilidad de energía y nutrientes en dietas conteniendo diferentes fibras en la dieta. Las dietas para aves compuestas por granos de cereales contienen fibra que causa un incremento en la viscosidad de la digesta y reduce la digestibilidad de los lípidos (Ward y Marquardt, 1983; Choct y Annison, 1992). Como resultado, las dietas con base en cereales son comúnmente suplementadas con xilanasas (carbohidrasas) para minimizar los efectos detrimentales causados por la viscosidad y mejorar así la digestión de energía y nutrientes y el desempeño en crecimiento en pollos de engorde.

Dänicke et al. (1997) alimentaron dietas a base de centeno conteniendo 10% de aceite de soya o sebo, con y sin la suplementación de enzimas xilanasas a pollos. Ellos observaron mayor consumo alimenticio y ganancia de peso cuando los pollos consumieron las dietas con aceite de soya en comparación con los que consumieron las dietas suplementadas con sebo, y agregando xilanasas a las dietas con 10% de sebo mejoró la conversión alimenticia a un nivel similar al de las aves consumiendo las dietas con aceite de soya sin la suplementación de xilanasas. Esta mejora fue atribuida a la reducción en la viscosidad de la digesta ileal, que subsecuentemente mejoró la digestibilidad de lípidos y el desempeño en crecimiento comparados con las aves alimentadas con dietas sin xilanasas suplementaria.

Langhout et al. (1997) alimentó dietas con base trigo y centeno conteniendo 6.5% de aceite de soya o una mezcla de 6% de sebo con 0.5% de aceite de soya, con o sin la suplementación de xilanasas. Similar a los resultados reportados por Dänicke et al. (1997), las aves alimentadas con las dietas conteniendo la mezcla de sebo-aceite de soya y xilanasas resultaron en una mejora mayor en la digestibilidad de lípidos que cuando se adicionó xilanasas a las dietas con aceite de soya. Estos resultados sugieren que la suplementación de xilanasas a las dietas con aceite de soya alimentadas a pollos, tiene efectos mínimos sobre una mejor digestibilidad de lípidos en comparación con las dietas conteniendo grasas de origen animal

RESUMEN

Ha habido considerable interés en usar aditivos de manera eficiente para mejorar la digestibilidad de lípidos. La lecitina puede servir tanto como fuente de energía y como emulsionante, pero su contenido energético es sustancialmente menor que el del aceite de soya y su efectividad como emulsionante para mejorar la digestibilidad es mínimo en dietas para cerdos y cuestionable en dietas para aves. Además, la adición

de productos de lisolecitina comercialmente disponibles parecen tener mínimos beneficios para mejorar la digestibilidad y el contenido de EMA en dietas para aves suplementadas con aceite de soya y mayores beneficios cuando se agrega a dietas conteniendo grasas de origen animal. La adición de L-carnitina a las dietas suplementadas con aceite de soya ha resultado en respuestas inconsistentes en pollos de engorde, pero evidencia reciente sugiere que puede mejorar los títulos de anticuerpos contra el virus de la Enfermedad de Newcastle al mismo tiempo que mejora la ganancia de peso y la conversión alimenticia en comparación con alimentar dietas sin aceite de soya o aceite de girasol con o sin la suplementación de L-carnitina. Varios estudios han demostrado mejoras en la digestibilidad de lípidos y energía cuando se suplementa L-carnitina a las dietas con aceite de soya en cerdos recién nacidos y mejoras en la deposición magra de canales y reducción de la grasa dorsal cuando se proporcionan dietas conteniendo aceite de soya y L-carnitina a cerdos en crecimiento-finalización. Similarmente la suplementación con L-carnitina a dietas para cerdas ha mostrado beneficios consistentes para mejorar el desempeño reproductivo, pero ningún estudio ha evaluado su suplementación en dietas para cerdas conteniendo aceite de soya. El uso de sales biliares como suplementos en dietas para aves parece proveer beneficios mejorando la digestibilidad de lípidos y el contenido de EMA en dietas suplementadas con sebo, pero se desconoce si estos efectos también se observarían en dietas conteniendo aceite de soya. Independientemente, la suplementación de sales biliares en dietas para aves y cerdos es actualmente prohibitivo en términos de costos. Finalmente, la adición de xilanasas a dietas con base en granos de cereales conteniendo aceite de soya suplementario parece ser efectivo en la reducción de la viscosidad y mejorar la digestibilidad de lípidos, pero se sabe poco con respecto a los potenciales beneficios en dietas para cerdos.

REFERENCIAS

- Adabi, S.G., R.G. Cooper, N.Ceylan, and M. Corduk. 2011. L-carnitine and its functional effects in poultry nutrition. *World's Poultry Sci. J.* 67:277-296.
- Alzawqari, M., H.N. Moghaddam, H. Kermanshahi, and A.R. Raji. 2011. The effect of desiccated ox bile supplementation on performance, fat digestibility, gut morphology and blood chemistry of broiler chickens fed tallow diets. *J. Appl. Anim. Res.* 39:169-174.
- Al-Marzooqi, W., and S. Leeson. 1999. Evaluation of dietary supplements of lipase, detergent, and crude porcine pancreas on fat utilization by young broiler chicks. *Poultry Sci.* 79:956-960.
- Anonimo. 2011. Lecithins in poultry and pig diets. Circular letter SFR 2011-24. Schothorst Feed Research, Lelystad, The Netherlands.
- Ardekani, H.M., M. Shevazad, M. Chamani, M. Aminafshar, and M. D. Arani. 2012. The effect of L-carnitine and low crude protein supplemented with crystalline essential amino acids diets on broiler chickens. *Ann. Biol. Res.* 3:1085-1093.
- Arslan, C. 2006. L-carnitine and its use as a feed additive in poultry feeding a review. *Rev. Med. Vet.* 157:134-142.
- Boontiam, W., Y.K. Hyun, B. Jung, and Y.Y. Kim. 2019. Effects of lysophospholipid supplementation to reduced energy, crude protein, and amino acid diets on growth performance, nutrient digestibility, and blood profiles in broiler chickens. *Poultry Sci.* 0:1-9. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pex005>
- Borsatti, L., S.L. Vieira, C. Stefanello, L. Kindlein, E.O. Oviedo-Rondón, and C.R. Angel. 2018. Apparent metabolizable energy of by-products from the soybean oil industry from broilers: acidulated soapstock, glycerin, lecithin, and their mixture. *Poultry Sci.* 97:124-130.
- Carter, A.L., T.O. Abney, and D.F. Lapp. 1995. Biosynthesis and metabolism of carnitine. *J. Child Neurol.* 10:3-7.

- Cho, W.T., J.H. Kim, S.H. Bae, I.K. Han, K.N. Heo, and J. Odle. 1999. Effects of L-carnitine with different lysine levels on growth and nutrient digestibility in pigs weaned at 21 days of age. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 12:799-805.
- Choct, M., and G. Annison. 1992. Anti-nutritive effect of wheat pentosans in broiler chickens: roles of viscosity and gut microflora. *Br. Poult. Sci.* 33:821-834.
- Corduk, M., and S. Sarica. 2008. Effects of L-carnitine in layer diets containing different fat sources and energy levels on hen performance and egg quality. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 38:260-270.
- Corduk, M., N. Ceylan, and F. Ildiz. 2007. Effect of dietary energy density and L-carnitine supplementation on growth performance, carcass traits and blood parameters of broiler chickens. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 37:65-73.
- Dänicke, S., O. Simon, H. Jeroch, and M. Bedford. 1997. Interactions between dietary fat type and xylanase supplementation when rye-based diets are fed to broiler chickens. 2. Performance, nutrient digestibility and the fat-soluble vitamin status of livers. *Br. Poultry Sci.* 38:546-556.
- de Souza, T.R., J. Peiniau, A. Mounier, and A. Aumaitre. 1995. Effect of addition of tallow and lecithin in the diet of weanling piglets on the apparent total tract and ileal digestibility of fat and fatty acids. *Anim. Feed Sci. Technol.* 52:77-91.
- DiMango, E.P., J.R. Malagelada, V.L. Go, and C.G. Moertel. 1977. Fate of orally ingested enzymes in pancreatic insufficiency. Comparison of two dosage schedules. *N. Engl. J. Med.* 296:1318-1322.
- Eder, K. 2009. Influence of L-carnitine on metabolism and performance of sows *Br. J. Nutrition* 102:645-654.
- Fedde, M.R., P.E. Waibel, and R.E. Burger. 1960. Factors affecting the absorbability of certain dietary fats in the chick. *J. Nutrition* 70:447-452.
- Friedman, A., and D. Sklan. 1997. Effect of dietary fatty acids on humoral immune response in turkeys. *Brit. Poultry. Sci.* 38:342-348.
- Gatlin, L.A., M.T. See, and J. Odle. 2005. Effects of chemical hydrogenation of supplemental fat on relative apparent lipid digestibility in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 83:1890-1898.
- Gomez, M.X., and D. Polin. 1976. The use of bile salts to improve absorption of tallow in chicks one to three weeks of age. *Poultry Sci.* 55:2189-2195.
- Heo, K.N., X. Lin, K.K. Han, and J. Odle. 2002. Medium-chain fatty acids but not L-carnitine accelerate the kinetics of [14C] triacylglycerol utilization by colostrum-deprived newborn pigs. *J. Nutrition* 132:1989-1994.
- Heo, K., J. Odle, I.K. Han, W. Cho, S. Seo, E. van Heugten, and D.H. Pilkington. 2000. Dietary L-carnitine improves nitrogen utilization in growing pigs fed low energy, fat-containing diets. *J. Nutrition* 130:1809-1814.
- Hoffman, L.A., D.J. Ivers, M.R. Ellersieck, and T.L. Veum. 1993. The effect of L-carnitine and soybean oil on performance and nitrogen and energy utilization by neonatal and young pigs. *J. Anim. Sci.* 71:132-138.
- Hu, Y.D., D. Lan, Y. Zhu, H.Z. Pang, X.P. Mu, and X.F. Hu. 2018. Effect of diets with different energy and lipase levels on performance, digestibility and carcass trait in broilers. *Asian-Australia J. Anim. Sci.* 31:1275-1284.

- Jalali, S.M.A., R. Rabiei, and F. Kheiri. 2015. Effects of dietary soybean and sunflower oils with and without L-carnitine supplementation on growth performance and blood biochemical parameters of broiler chicks. *Arch. Anim. Breed.* 58:387-394.
- Jensen, M., F. Nuyens, J. Buyse, S. Leleu, and L. van Campenhout. 2015. Interaction between fat type and lysolecithin supplementation in broiler feeds. *Poultry Sci.* 94:2506-2515.
- Jones, D.B., J.D. Hancock, D.L. Harmon, and C.E. Walker. 1992. Effects of exogenous emulsifiers and fat sources on nutrient digestibility, serum lipids, and growth performance in weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 70:3473-3482.
- Keralapurath, M.M., R.W. Keirs, A. Corzo, L.W. Bennett, R. Pulikanti, and E.D. Peebles. 2010. Effects of in ovo injection of L-carnitine on subsequent broiler chick tissue nutrient profiles. *Poultry Sci.* 89:335-341.
- Kerner, J., J.A. Froseth, E.R. Miller, and L.L. Bieber. 1984. A study of the acylcarnitine content of sows' colostrum, milk and newborn piglet tissues: Demonstration of high amounts of iso-valeryl-carnitine in colostrum and milk. *J. Nutrition* 114:854-861.
- Kussaibati, R.J. Guillaume, and B. Leclerq. 1982. Effects of intestinal microflora and added bile salts on the metabolizable energy and digestibility of saturated fats. *Arch. Geflugelk* 46:42-46.
- Kermanshahi, H., D.D. Maenz, and H.L. Classen. 1998. Stability of porcine and microbial lipases to conditions that approximate the small intestine of young birds. *Poultry Sci.* 77:1671-1677.
- Kerr, B.J., and G.C. Shurson. 2017. Determination of ether extract digestibility and energy content of specialty lipids with different fatty acid and free fatty acid content, and the effect of lecithin, for nursery pigs. *Professional Anim. Sci.* 33:127-134.
- Kheiri, F., J. Pourreza, Y. Ebrahimnezhad, and S.M.A. Jalali-Haji Abadi. 2011. Effect of supplemental ractopamine and L-carnitine on growth performance, blood biochemical parameters and carcass traits of male broiler chickens. *Afr. J. Biotech.* 68:15450-15455.
- Krogdahl, A. 1985. Digestion and absorption of lipid in poultry. *J. Nutr.* 115:675-685.
- Langhout, D.J., J.B. Schutte, C. Geerse, A.K. Kies, J. De Jong, and M.W. Verstegen. 1997. Effects on chick performance and nutrient digestibility of an endo-xylanase added to a wheat-and rye-based diet in relation to fat source. *Br. Poultry Sci.* 38:557-563.
- Leibetseder, J. 1995. Studies on the effects of L-carnitine in poultry. *Arch. Anim. Nutrition* 48:97-108.
- Lien, T.F., and Y.M. Horng. 2001. The effect of supplemental dietary l-carnitine on the growth performance, serum components, carcass traits and enzyme activities in relation to fatty acid β -oxidation of broiler chickens. *Brit. Poultry Sci.* 42:92-95.
- Mandalawi, H.A., R. Lazaro, M. Redon, J. Herrera, D. Menoyo, and G.G. Mateos. 2015. Glycerin and lecithin inclusion in diets for brown egg-laying hens: effects on egg production and nutrient digestibility. *Anim. Feed Sci. Technol.* 209:145-156.
- Mateos, G.G., M.P. Serrano, J. Berrocoso, A. Perez-Bonilla, and R. Lazaro. 2012. Improving the utilization of raw materials in poultry feeding: new technologies and inclusion levels. In: *Proc. XXIV World's Poultry Congress, Salvador, Bahia, Brazil.* 13 pp.

- Melegy, T., N.F. Khaled, R. El-Bana, and H. Abdellatif. 2010. Dietary fortification of a natural biosurfactant, lysolecithin in broiler. *Afr. J. Agric. Res.* 5:2886-2892.
- Meng, X., B.A. Slominski, and W. Guenter. 2004. The effect of fat type, carbohydrase, and lipase addition on growth performance and nutrient utilization of young broilers fed wheat-based diets. *Poult. Sci.* 83:1718-1727.
- Miller, P.S., A.J. Lewis, and C.K. Wolverton. 1994. Evaluation of a soybean meal: soy lecithin: soapstock mixture for nursery pigs. *Nebraska Swine Report, Univ. Nebraska-Lincoln, Lincoln, NE*, p. 19-21.
- Musser, R.E., R.D. Goodband, M.D. Tokach, K.Q. Owen, J.L. Nelssen, S.A. Blum, S.S. Dritz, and C.A. Civis. 1999. Effects of L-carnitine fed during gestation and lactation on sow and litter performance. *J. Anim. Sci.* 77:3289-3295.
- Noy, Y., and D. Sklan. 1995. Digestion and absorption in the young chick. *Poultry Sci.* 74:366-373.
- Odle, J. 1997. New insights into the utilization of medium-chain triglycerides by the neonate: Observations from a piglet model. *J. Nutrition* 127:1061-1067.
- Othman, T., V. Ravindran, and P.C.H. Morel. 2008. Effects of fat type and an emulsifier on broiler performance. In: *Advancing Poultry Production – Massey Technical Update Conference*, V. Ravindran, Editor. Monogastric Research Centre, Palmerston North, New Zealand. 10:108-112.
- Overland, M., Z. Mroz, and F. Sundstol. 1994. Effect of lecithin on the apparent ileal and overall digestibility of crude fat and fatty acids in pigs. *J. Anim. Sci.* 72:2022-2028.
- Overland, M., M.D. Tokach, S.G. Cornelius, J.E. Pettigrew, and J.W. Rust. 1993a. Lecithin in swine diets: I. Weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 71:1187-1193.
- Overland, M., M.D. Tokach, S.G. Cornelius, J.E. Pettigrew, and M.W. Wilson. 1993b. Lecithin in swine diets: I. Growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 71:1194-1197.
- Owen, K.Q., J.L. Nelssen, R.D. Goodband, M.D. Tokach, and K.G. Friesen. 2001. Effect of dietary L-carnitine on growth performance and body composition in nursery and growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 79:1509-1515.
- Owen, K.Q., J.L. Nelssen, R.D. Goodband, T.L. Weeden, and S.A. Blum. 1996. Effect of L-carnitine and soybean oil on growth performance and body composition of early-weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 74:1612-1619.
- Pilevar, M., J. Arshami, A. Golian, and M.R. Basami. 2011. Effects of dietary n-6: n-3 ratio on immune and reproductive systems of pullet chicks. *Poultry Sci.* 90:1758-1766.
- Polin, D., T.L. Wing, P. Ki, and K.E. Pell. 1980. The effect of bile acids and lipase on absorption of tallow in young chickens. *Poultry Sci.* 59:2738-2743.
- Rabie, M.H., M. Szilagyi, and T. Gippert. 1997a. Effects of dietary L-carnitine supplementation and protein level on performance and degree of meatiness and fatness of broilers. *Acta. Biol. Hung.* 48:221-239.
- Rabie, M.H., M. Szilagyi, T. Gippert, E. Votisky, and D. Gerendai. 1997b. Influence of dietary L-carnitine on performance and carcass quality of broiler chickens. *Acta. Biol. Hung.* 48:241-252.
- Ravindran, V., P. Tancharoenrat, F. Zaefarian, and G. Ravindran. 2016. Fats in poultry nutrition: digestive physiology and factors influencing their utilization. *Anim. Feed Sci. Technol.* 213:1-21.

- Rincker, M.J., S.D. Carter, D.E. Real, J.L. Nelssen, M.D. Tokach, R.D. Goodband, S.S. Dritz, B.W. Senne, R.W. Fent, L.A. Pettey, and K.Q. Owen. 2003. Effects of increasing dietary L-carnitine on growth performance of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 81:2259-2269.
- Russett, J.C. 2000. Lecithin applications in animal feeds. Animal Nutrition research Notes LEC-T-27. The Solae Company, Hamburg, Germany.
- Sayed, A.N., H.K. Shoeib, and H.A. Abdel-Raheem. 2001. Effect of dietary L-carnitine on the performance of broiler chickens fed on different levels of fat. *Assuit. Vet. Med. J.* 45:37-47.
- Serafin, J.A., and M.C. Nesheim. 1970. Influence of dietary heat-labile factors in soybean meal upon bile acid pools and turnover in the chick. *J. Nutrition* 100:786-796.
- Serafin, J.A., and M.C. Nesheim. 1967. The influence of diet on bile acid production and excretion in chicks. In: *Proc. Cornell Nutrition Conf., Ithaca, NY.* pp. 146-150.
- Shi, B. C. Wang, T. Teng, X. Zhang, and A. Shan. 2019. Effects of dietary soybean lecithin oil on the immunoglobulin level and fat globule size of milk in lactating sows. *Food Agric. Immunol.* 30:774-785.
- Siyal, F.A., M.E. Abd El-hack, M. Alagawany, C. Wang, X. Wan, J. He, M. Wang, L. Zhang, X. Zhong, T. Wang, and K. Dhama. 2017. Effect of soy lecithin on growth performance, nutrient digestibility and hepatic antioxidant parameters of broilers chickens. *Int. J. Pharmacology* 13:396-402.
- Tancharoenrat, P., V. Ravindran, F. Zaefarian, and G. Ravindran. 2013. Influence of age on the apparent metabolizable energy and total tract fat digestibility of different fat sources for broiler starters. *Anim. Feed sci. technol.* 186:186-192.
- Ward, A.T., and R.R. Marquardt. 1983. The effect of saturation, chain length of pure triglycerides, and age of bird on the utilization of rye diets. *Poultry Sci.* 62:1054-1062.
- Xing, J.J., E. van Heugten, D.F. Li, K.J. Touchette, J.A. Coalson, R.L. Odgaard, and J. Odle. 2004. Effects of emulsification, fat encapsulation, and pelleting on weanling pig performance and nutrient digestibility. *J. Anim. Sci.* 82:2601-2609.
- Xu, Z.R., M.Q. Wang, H.X. Mao, X.A. Zhan, and C.H. Hu. 2003. Effects of L-carnitine on growth performance, carcass composition, and metabolism of lipids in male broilers. *Poultry Sci.* 82:408-413.
- Zhang, B., L. Haitao, D. Zhao, Y. Guo, and A. Barri. 2011. Effect of fat type and lysophosphatidylcholine addition to broiler diets on performance, apparent digestibility of fatty acids, and apparent metabolizable energy content. *Anim. Feed Sci. Technol.* 163:177-184.
- Zhang, Y., Q. Ma, X. Bai, L. Zhao, Q. Wang, C. Ji, L. Liu, and H. Yin. 2010. Effects of dietary acetyl-L-carnitine on meat quality and lipid metabolism in arbor acres broilers. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 23:1639-1644.

Capítulo



13

**Valor Energético del Aceite Acidulado
de Soya en Dietas para Cerdos y Aves**

INTRODUCCIÓN

Los aceites vegetales “ácidos” o acidulados, incluyendo al aceite acidulado de soya, son subproductos del proceso de refinación del aceite. A medida que el aceite de soya crudo atraviesa el proceso de refinación y neutralización alcalina, aproximadamente el 6% del volumen total se separa como jabón (pasta de neutralización – soapstock) de aceite de soya. La composición varía dependiendo de la calidad de la semilla de soya, así como de la extracción del aceite y de las condiciones de refinación, pero está compuesto de una mezcla de aceite neutro, agua, ácidos grasos libres, fosfolípidos, materia insaponificable, proteína, compuestos mucilaginosos (Hammond, 2005). Este subproducto inestable es posteriormente procesado tratándolo con ácido sulfúrico en una solución acuosa para producir una pasta de neutralización de aceite de soya acidulado (Hammond, 2005). El aceite acidulado de soya contiene relativamente altas concentraciones de ácidos grasos libres (>50%), materia insaponificable, ácidos grasos oxidados y carotenoides, con un pH de 2.5 a 3.0 (Bornstein y Lipstein, 1963; Lipstein et al., 1965; Pardo et al., 2001). La mayoría del aceite acidulado de soya se utiliza como ingrediente en alimentos para animales, pero algo de éste es usado en la producción de jabón y fundición. El aceite acidulado de soya es considerado como el subproducto menos valioso en el procesamiento del aceite de soya y es comúnmente cotizado con un descuento significativo con respecto al aceite de soya crudo desgomado (Hammond, 2005).

Los aceites acidulados de alta calidad deben estabilizarse con antioxidantes ya que típicamente contienen entre 40 y 55% de ácidos grasos libres, y pueden tener ácidos grasos libres tan elevados como hasta 90 a 98% (Kerr y Shurson, 2017). En general, las grasas y aceites conteniendo elevadas concentraciones de ácidos grasos libres tienen menor valor energético debido a las insuficientes cantidades de monoglicéridos para combinar con una elevada proporción de ácidos grasos libres resultando en una absorción reducida de lípidos (Blanch et al., 1995). Sin embargo, esto no parece ser cierto para el aceite acidulado de soya debido a las bajas concentraciones de glicerina en el aceite acidulado, que tiene menor valor energético que los ácidos grasos, y no diluye el contenido de energía metabolizable (EM). Aunque la alta concentración de ácidos grasos libres es la característica más importante que distingue al aceite acidulado de soya en comparación con el aceite de soya cruda, el aceite acidulado puede tener entre 95 a 100% del valor de EM del aceite de soya desgomado para cerdos (Kerr y Shurson 2017). Además, a diferencia del aceite de soya desgomado, el contenido de ácidos grasos libres del aceite acidulado de soya no es un buen indicador de oxidación, ya que esto es para grasas y aceites no acidulados, pero sí deben agregarse antioxidantes para disminuir la oxidación y estabilizar las grasas y aceites acidulados.

ACEITE DE SOYA ACIDULADO PARA CERDOS

Un estudio reciente de Kerr y Shurson (2017) evaluó la composición de ácidos grasos, el estado oxidativo y el valor energético de varios lípidos especiales comercialmente disponibles, incluyendo una fuente de grasa de origen animal con un alto porcentaje de ácidos grasos C16:0 y C 18:0 y otra fuente de grasa de origen animal con un alto porcentaje de ácidos grasos libres (AGL) de C16:0 y C18:0, aceite de soya refinado norteamericano y un aceite acidulado de soya con elevados AGL para cerdos en crecimiento. El perfil de ácidos grasos de la fuente de aceite de soya alto en ácidos grasos libres fue modificado durante el proceso de manufactura resultando en una pérdida de ácidos oleico, linoleico y linolénico, que correspondió a un incremento en ácidos esteárico, palmítico, mirístico y láurico en comparación con los encontrados en aceite de soya refinado (**Tabla 1**). Hubo diferencias mínimas en el contenido de humedad, insolubles e insaponificables (MIU) de estas fuentes de lípidos, pero la fuente de aceite acidulado de soya tuvo mayor valor de peróxido, anisidina y valores hexanales comparado con las otras fuentes de lípidos, lo que posiblemente se debió a una mayor susceptibilidad a la oxidación durante el proceso de manufactura. Aunque estas fuentes de grasa animal y de aceite de soya contenían valores similares de energía bruta (EB), cuando se acidularon (incremento en el contenido de AGL), la energía digestible (DE) y contenido de EM de la grasa animal fue sustancialmente reducida mientras que el contenido de ED y EM del aceite acidulado de soya fue comparable con el aceite de soya refinado para cerdos (**Tabla 1**). Considerar solamente la relación ácidos grasos insaturados y saturados (I:S) al evaluar relativamente los valores entre diversas fuentes de lípidos puede ser engañoso. Por ejemplo, los aceites de coco y palmiste contienen altas concentraciones de ácidos grasos saturados (alrededor de 77%), pero son altamente digestibles y tienen un contenido de EM relativamente elevado, ya que la mayoría de los

ácidos grasos de estas fuentes tienen cadenas de carbono de menos de 14 carbonos cada uno (NRC, 2012) Sin embargo la relación I:S es una importante consideración para lípidos con una elevada concentración de ácidos grasos de más de 16 carbonos. Por lo tanto, alimentar aceites acidulados con un elevado contenido de AGL no es un problema mientras que consistan de ácidos grasos de cadena corta (C14:0, C16:0, C18:0), estén presentes en bajas concentraciones y contengan relativamente elevadas concentraciones de ácidos grasos insaturados de cadena larga (como el aceite acidulado de soya). Kerr y Shurson (2017) mostraron que, aunque la grasa animal y el aceite de soya tienen un contenido de EB similar, cuando estas fuentes de grasa y aceite son aciduladas (incremento en el contenido de AGL), el contenido de ED y EM de la grasa animal es sustancialmente reducida mientras que la ED y EM en el aceite ácido de soya es comparable con el aceite refinado de soya para cerdos (**Tabla 1**). Los aceites acidulados típicamente contienen alrededor de 50% del contenido de glicerina encontrado en el aceite de soya crudo. Debido a que la glicerina tiene un valor de energía mucho menor que el de los ácidos grasos libres, el mayor contenido de ácidos grasos libres en el aceite ácido de soya generalmente resulta en un mayor contenido de ED y EM para cerdos y aves.

Tabla 1. Comparación de los indicadores de composición y oxidación de grasas y aceites con y sin acidular sobre el contenido de energía para cerdos en crecimiento (adaptado de Kerr y Shurson, 2017).

Medición	Grasa Animal Alta en C16:0 y C18:0	Grasa Animal Alta en AGL	Aceite de Soya Refinado	Aceite de Soya Alto en AGL
Extracto etéreo, %	96.9	99.7	99.8	99.9
Acidos grasos libres, %	2.80	98.1	0.02	89.6
Acido graso, % del total del lípido				
Valérico (C5:0)	ND ¹	0.29	ND	ND
Caprílico (C8:0)	ND	0.39	ND	0.45
Perlagónico (C9:0)	ND	0.80	ND	ND
Cáprico (C10:0)	ND	0.16	ND	0.39
Láurico (C12:0)	0.70	0.26	ND	3.08
Mirístico (C14:0)	3.55	3.84	0.07	1.75
Pentadecanóico (C16:0)	26.7	37.8	10.3	16.3
Palmitico (C18:0)	55.3	41.2	4.64	3.55
Palmitoléico (cis-9 C16:1)	0.16	0.33	0.08	ND
Margárico (C17:0)	2.11	1.87	0.09	ND
Margaroléico (C17:1 digesti)0.06	0.06	0.06	ND	ND
Esteárico (C18:0)	55.3	41.2	4.64	3.55
Oléico (cis-9 C18:1)	9.18	8.60	24.11	22.23
Linoléico (18:2n-6)	0.11	1.01	52.84	45.51
Linolénico (18:3n-3)	0.21	0.18	6.52	4.97
Nonadecenoico (C19:1)	ND	ND	0.23	ND
Araquídico (C20:0)	0.61	0.57	0.35	ND
Gadoléico (C20:1)	ND	ND	0.19	ND
Behenóico (C22:0)	ND	ND	0.35	0.67
Lignocérico (C24:0)	ND	ND	0.13	0.72
Otros ácidos grasos	1.37	2.12	0.14	ND
MIU ² , %	0.79	2.02	4.05	8.13
Valor de peróxido, meq/kg	7.57	5.83	2.30	23.9
Valor de anisidina ³	0.40	17.9	7.6	173
Hexanal, µg/g	1.21	3.27	1.72	13.5
EB, kcal/kg	9,397	9,142	9,398	9,326
ED, kcal/kg	3,110	4,612	8,315	8,448
EM, kcal/kg	3,108	4,862	8,368	8,472

¹ND = no detectable.

²MIU = suma de humedad, insolubles, materia insaponificable.

³No hay unidades para valor de anisidina.

Mendoza y Van Heugten (2014) determinaron la digestibilidad aparente total del aceite y el contenido de EB en el tracto digestivo total, así como las respuestas en desempeño en crecimientos en cerdos destetados alimentados con 6% de aceite de soya (0.3% AGL) y una mezcla de aceites acidulados de soya-semilla

Tabla 2. Especificaciones de calidad químicas y física de los aceites de soya desgomado y acidulado (Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal, 2000)

Medición	Aceite de soya desgomado	Aceite ácido de soya
Humedad máxima, %	0.50	1.0
Mínimo de ácidos grasos totales, %	98	30
Máximo de materia insaponificable, %	1.5	2.0
Valor de saponificación, %	195-198	195-198
Valor de yodo, g/110 g	125-135	115-125
Valor máximo de peróxido, mEq/1000 g	3.0	-
Acidez total, %	3.0	-
Densidad, g/mL	0.93	0.93
Color	ámbar	café oscuro

de algodón (70.5% AGL). El valor de peróxido inicial (1.8mEq/kg aceite) y el valor de anisidina (5.8) fueron menores en la mezcla de aceites acidulados de soya que en el aceite de soya (33.6 y 12.4, respectivamente). Ellos concluyeron que al alimentar dietas conteniendo lípidos acidulados resultaron en un desempeño en crecimiento similar en comparación con lípidos refinados y podrían servir como alternativas económicas a fuentes de lípidos más caras.

ACEITE ACIDULADO DE SOYA PARA AVES

En la **Tabla 2** se muestra una comparación de especificaciones de calidad químicas y físicas del aceite de soya cruda desgomada y aceite acidulado de soya. Nótese que el aceite acidulado de soya tiene sustancialmente menor contenido de ácido graso total que el aceite desgomado de soya, ligeramente mayor humedad y contenido de materia insaponificable, con similar valor de yodo y densidad a granel, pero un color más oscuro.

Wiseman y Salvador (1991) evaluaron el contenido de EM en sebo, aceite de soya, y aceite de palma, así como sus respectivas formas aciduladas con diferentes concentraciones de AGLs en dietas para pollos de engorda. Ellos observaron que la reducción en el contenido de EM de grasas y aceites fue mayor con concentraciones crecientes de ácidos grasos libres y esta magnitud de reducción se incrementó a medida que los rangos de inclusión fueron incrementando. Además, la magnitud en la reducción del contenido de EM con el contenido creciente de AGL fue mayor con fuentes de lípidos saturados (ej. Sebo) que con fuentes insaturadas (ej. Aceite de soya), y los efectos fueron más pronunciados en aves jóvenes en comparación con aves mayores.

En la **Tabla 3**, se muestra un resumen de los valores publicados de EMA para aceite acidulado de soya para aves. Freitas et al. (2002) sugieren que el contenido de EMAn de la pasta de neutralización del aceite acidulado de soya fue de 7,788 y 8,610 kcal/kg para aves jóvenes y adultas respectivamente. Baião y Lara (2005) resumieron algunos trabajos (Butolo, 2002; Nascif et al., 2004; Lara, 2004) en los que reportaron valores de energía para aceite acidulado de soya, aceite de soya cruda desgomado y varias otras fuentes de lípidos para aves. Para aves de menos de 3 semanas de edad, el contenido de EM del aceite acidulado de soya fue de 7,800 kcal/kg, que se incrementó a 8,100 kcal/kg para aves de más de 3 semanas de edad, y ambos fueron menores en contenido de EMA en comparación con 8,790 kcal/kg del aceite de soya desgomado. Leeson y Summers (2001) también reportaron valores de digestibilidad para aceite acidulado de soya y aceite de soya cruda desgomada basados en las edades de las aves. Para aves de 3 y 4 semanas de edad, la digestibilidad del aceite fue de 88% para el aceite de soya en comparación con 96% para el aceite de soya desgomado, pero a > de 8 semanas de edad las diferencias en digestibilidad se redujeron a 93% para el aceite de soya en comparación con 96% de digestibilidad del aceite de soya desgomada. Irandoust et al. (2012) determinaron que el contenido de EMA de la pasta neutralizante (soapstock) del aceite acidulado de

soya con 67.4% de ácidos grasos libres fue de 7,954 kcal/kg para aves de postura. El estimado de EMA (8,527 kcal/kg) determinado por Veira et al. (2015) es comparable con el estimado de 8,610 kcal/kg determinado por Freitas et al. (2002) para aves mayores. El valor estimado más reciente del contenido de EMAn de la pasta neutralizante (soapstock) acidulada de soya fue determinado por Borsatti et al. (2018), que reportó un valor de 7,153 kcal/kg, y desarrollaron una ecuación de regresión usando la inclinación de la regresión basados en el consumo de EMAn en relación con el consumo de alimento ($Y = 7,153X - 451.9$; $r^2 = 0.79$). De manera similar a otras fuentes de grasa y aceites, el contenido de EMA del aceite acidulado de soya varía considerablemente (6,679 a 8,598 kcal/kg). Esta variabilidad es atribuida en parte a la edad del ave, rango de inclusión de la dieta, composición de la dieta basal, así como del contenido de ácidos grasos libres y de la extensión de la oxidación de las numerosas fuentes de aceites acidulados de soya evaluados. Curiosamente, Cascabulho (2000) reportaron que las concentraciones de ácido linoléico en canales de pollos fue menor al alimentar pasta de neutralización (soapstock) de aceite acidulado de soya en comparación con alimentar dietas conteniendo aceite refinado o crudo de soya

Tabla 3. Resumen de varias publicaciones del contenido estimado de EMA de aceite acidulado de soya para aves.

Criterio	EMA, kcal/kg	Referencia
Varias edades	6,679	Vilà and Esteve-Garcia (1996)
25 días de edad	8,349 – 8,598	Zumbado et al. (1999)
Aves jóvenes	7,788	Freitas et al. (2002)
Aves adultas	8,610	Freitas et al. (2002)
3 semanas de edad	7,488	Freitas et al. (2005)
Gallos	8,610	Freitas et al. (2005)
Aves < 3 semanas de edad	7,800	Baião and Lara (2005)
Aves > 3 semanas de edad	8,100	Baião and Lara (2005)
Gallinas de postura	7,858 - 7,954	Irlandoust et al. (2012)
5 semanas de edad	8,527	Veira et al. (2015)
	6,715	Gaiotto et al. (2001)
4 semanas de edad	7,951 – 9,232	Peña et al. (2014)
3 a 4 semanas de edad	7,153	Borsatti et al. (2018)

Sin embargo, al comprar o alimentar aceite acidulado de soya, es importante asegurarse de que no ha sido adulterado por la adición de aceites de baja calidad (Vieira et al., 2002). Mateos et al. (2012) indicaron que las pastas neutralizantes (soapstocks) aciduladas ($pH < 5.0$ y menor contenido de MIU) son fuentes de energía aceptables para uso en particular en pollo de engorda en finalización y dietas para gallinas de postura. Sin embargo, Ravindran et al. (2016) sugieren que al utilizar fuentes aciduladas de lípidos conteniendo elevadas concentraciones de ácidos grasos libres para pollos, 1) pueden proporcionarse como mezclas de grasas que deberían contener suficientes cantidades de triglicéridos para asegurar una digestión óptima, y una absorción y utilización de energía, 2) la proporción de AGL debe ser controlada, y 3) la relación I:S de la mezcla final debe ser considerada.

Irlandoust et al. (2012) compararon el desempeño de gallina y huevo al alimentar dietas conteniendo 4% de aceite de soya (9,127 kcal/kg EMAn) o pasta neutralizante de aceite acidulado de soya (7,966 kcal/kg EMAn) durante 6 semanas de período de producción. No se observaron diferencias en consumo de alimento, ganancia de peso, tasa de producción de huevo, masa de huevo, y conversión alimenticia entre dietas tratamientos (**Tabla 4**).

Tabla 4. Comparación de desempeño de gallinas de postura y producción de huevo de la semana 44 a 56 de edad alimentadas con dietas con 4% de aceite de soya o pasta neutralizante (soapstock) de aceite acidulado de soya (adaptado de Irlandoust et al., 2012)

Medición	Aceite de soya	Aceite de soya acidulado
Consumo de alimento, g/día	100.0	98.2
Ganancia de peso corporal, g	185	196
Tasa de producción de huevo, %	85.9	85.0
Peso de huevo, g	60.4	60.2
Masa de huevo, g/día	51.9	59.1
Conversión alimenticia, kg/kg	1.93	1.93
Conversión alimenticia, kg/docena	1.40	1.39

RESUMEN

El aceite acidulado de soya es una fuente de energía de menor calidad y menor precio en comparación con el aceite de soya cruda desgomada para cerdos y aves, pero estudios han demostrado que tiene un valor de EM de 90 a 100% del aceite de soya desgomado a pesar del contenido de ácidos grasos libres. Esto parece deberse a las relativamente bajas concentraciones de ácidos grasos de cadena mediana (C14:0, C16:0, C18:0) y a la elevada proporción de ácidos grasos insaturados de cadena larga. Sin embargo, el aceite acidulado de soya es más susceptible a la oxidación que el aceite de soya desgomado, y debe ser estabilizado utilizando antioxidantes para prevenir oxidación posterior antes de alimentarlo a cerdos y aves.

REFERENCIAS

- Baião, N.C., and L.J.C. Lara. 2005. Oil and fat in broiler nutrition. *Braz. J. Poultry. Sci.* 7:129-141.
- Blanch, A., A.C. Barroeta, M.D. Baucells, and F. Puchal. 1995. The nutritive value of dietary fats in relation to their chemical composition. Apparent fat availability and metabolizable energy in two-week-old chicks. *Poultry. Sci.* 74:1335-1340.
- Bornstein, S., and B. Lipstein. 1963. Some unusual waste vegetable oils or fat supplements in practical broiler rations. *Poultry. Sci.* 42:172-184.
- Borsatti, L., S.L. Vieira, C. Stefanello, L. Kindlein, E.O. Oviedo-Rondón, and C.R. Angel. 2018. Apparent metabolizable energy of by-products from the soybean oil industry for broilers: acidulated soapstock, glycerin, lecithin, and their mixture. *Poultry Sci.* 97:124-130.
- Butolo, J.E. 2002. Qualidade de ingredientes na alimentação animal. In: *Anais do Simpósio Sobre Ingredientes na Alimentação Animal, 2001, Campinas, SP. Campinas Colégio brasileira de Nutrição Animal.*
- Cascabulho, A.R. 2000. Efeitos de diferentes óleos de soja composição de gordura da carcaça de frango de corte. *Dissertação. Belo Horizonte, Escola de veterinária, UMGF.*
- Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal. 2000. Padronização de matérias primas para alimentação animal. *Sindirações/ANFAL, São Paulo, BR.*
- Freitas, R.E., N. K. Sakomura, R. Neme, and A.L. Santos. 2005. Valor energético do óleo ácido de soja para aves. *Pesq. Agropec. Bras.* 40:241-246.
- Freitas, E.R., N.K. Sakomura, R. Neme, and A.L. dos Santos. 2002. Valores de energia metabolizável do óleo ácido de soja para aves. In: *Anais da 39ª Reunião Annual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Recife, PE.*
- Gaiotto, J.B., J.F.M. Menten, A.M.C. Racanicci, and M.C. Lafigliola. 2001. Óleo de soja, óleo ácido de soja e sebo bovino como fontes de gorduras em rações de frangos de corte. *Braz. J. Poultry. Sci.* 2:219-227.
- Hammond, E.G., L.A. Johnson, C. Su, T. Wang, and P.J. White. 2005. Soybean Oil. In: *Bailey's Industrial Oil and Fat Products, 6th edition, Ed. F. Shahidi, John Wiley & Sons, Inc. pp. 577-653.*
- Irandoost, H. A.H. Samie, H.R. Rahmani, M.A. Edriss, and G.G. Mateos. 2012. Influence of source of fat and supplementation of the diet with vitamin E and C on performance and egg quality of laying hens from forty four to fifty six weeks of age. *Anim. Feed Sci. Technol.* 177:75-85.

- Kerr, B.J., and G.C. Shurson. 2017. Determination of ether extract digestibility and energy content of specialty lipids with different fatty acid and free fatty acid content, and the effect of lecithin, for nursery pigs. *Professional Anim. Sci.* 33:127-134.
- Leeson, S., and J.D. Summers. 2001. *Nutrition of the chicken*. 4th ed. Ontario University Books, p. 413.
- Lara, L.J.C. 2004. Efeito da fonte lipídica em dietas para frangos de corte sobre o desempenho, rendimento e composição da carcaça. Dissertação. Belo Horizonte, Escola de Veterinária, UFMG.
- Lipstein, B., P. Budowski, and S. Bornstein. 1965. Effect of autoxidation on the nutritive value of acidulated soybean soapstock in chicks. *Poultry Sci.* 44:1480-1488.
- Mateos, G.G., M.P. Serrano, J. Berrocoso, A. Perez-Bonilla, and R. Lazaro. 2012. Improving the utilization of raw materials in poultry feeding: new technologies and inclusion levels. In: *Proc. XXIV World's Poultry Congress*, Salvador, Bahia, Brazil. 13 pp.
- Mendoza, S.M., and E. van Heugten. 2014. Effects of dietary lipid sources on performance and apparent total tract digestibility and energy when fed to nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 92:627-636.
- Nascif, C.C.C., P.C. Gomes, L.F.T. Albino, and H.S. Rostagno. 2004. Determinação dos valores energéticos de alguns óleos e gorduras para pintos de cortes machos e fêmeas aos 21 dias de idade. *Revista Brasileira de Zootecnia* 33:375-385.
- NRC. 2012. *Nutrient Requirements of Swine*. 10th rev. ed., Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Pardio, V.T., L.A. Landin, K.N. Waliszewski, C. Badillo, and F. Perez-Gil. 2001. The effect of acidified soapstock on feed conversion and broiler skin pigmentation. *Poultry Sci.* 80:1236-1239.
- Peña, J.E.M.I., S.L. Vieira, L. Borsatti, C. Pontin, and H.V. Rios. 2014. Energy utilization of by products from the soybean oil industry by broiler chickens: acidulated soapstock, lecithin, glycerol and their mixture. *Braz. J. Poultry Sci.* 4:437-442.
- Ravindran, V., P. Tancharoenrat, F. Zaefarian, and G. Ravidran. 2016. Fats in poultry nutrition: Digestive physiology and factors influencing their utilization. *Anim. Feed Sci. Technol.* 213:1-21.
- Veira, S.L., L. Kindlein, C. Stefanello, C.T. Simones, G.O. Santiago, and L.P. Machado. 2015. Energy utilization from various fat sources by broiler chickens at different ages. *Int. J. Poultry Sci.* 14:257-261.
- Vieira, S.L., A.M.L. Ribeiro, A.M. Kessler, L.M. Fernandes, A.R. Ebert, and G. Eichner. 2002. Utilização da energia de dietas para frangos de corte formulados com óleo ácido de soja. *Revista Brasileira Ciência Avícola* 4:1-13.
- Vilà, B., and E. Esteve-Garcia. 1996. Studies on acid oils and fatty acids for chickens. I. Influence of age, rate of inclusion and degree of saturation on fat digestibility and metabolizable energy of acid oils. *Br. Poultry Sci.* 37:105-11.

Wiseman, J., and F. Salvador. 1991. The influence of free fatty acid content and degree of saturation on the apparent metabolizable energy value of fats fed to broilers. *Poultry Sci.* 70:573-582.

Zumbado, M.E., C.W. Scheele, and C. Kwakernaak. 1999. Chemical composition, digestibility, and metabolizable energy content of different fat and oil by-products. *J. Appl. Poult. Res.* 8:263-274.

LA VENTAJA DE LA SOYA DE LOS ESTADOS UNIDOS

A través de una red global de oficinas internacionales y un fuerte apoyo en los EE. UU., el Consejo de Exportación de los Estados Unidos promueve la Ventaja de la Soya de los Estados Unidos, fomentando su preferencia, educando sobre sus beneficios y conectando a líderes de la industria.

Cuatro elementos clave actúan como la columna vertebral para respaldar la Ventaja de la Soya de los Estados Unidos: composición excepcional, suministro constante, agricultura sostenible e innovación.

- **COMPOSICIÓN EXCEPCIONAL** - La soya de EE. UU. contiene un paquete nutricional elite, siendo este enfoque en la calidad, lo que garantiza que la Soya de los Estados Unidos siga siendo el líder en la industria.
- **SUMINISTRO CONSTANTE** – Debido al excelente sistema de transporte y los niveles de producción de soya de EE. UU., su soya llegará a tiempo cuando la necesite. El movimiento oportuno de la soya desde el primer punto de entrega hasta el usuario final es vital para mantener competitiva la industria de la soya de los EE. UU.
- **PRÁCTICAS AGRÍCOLAS SOSTENIBLES** – La sostenibilidad es un enfoque desde el principio hasta el final de la cadena de valor de la soya. Enfocados en la mejora continua, los productores de soya de EE. UU. se comprometen a proteger el medio ambiente mientras producen soya de excelente calidad de manera eficiente. El Protocolo de Garantía de Sostenibilidad de los Estados Unidos (SSAP) se basa en los datos agregados existentes recopilados de los agricultores de todo el país que participan en programas nacionales de conservación. La información sirve como prueba de que el cultivo de soya de EE. UU. se produce bajo un sistema de sostenibilidad que incluye todo, desde la conservación del agua hasta el uso de energía.
- **INNOVACIÓN** – La industria de la soya está en constante cambio y la industria de la soya de los Estados Unidos promete adaptarse. Ya sea para el desarrollo de semillas, las prácticas de producción o las oportunidades de comercialización, la industria de la soya de los EE. UU. trabajará para satisfacer las demandas de un mundo en crecimiento, protegiendo al mismo tiempo los recursos naturales.

Adicionalmente, el Consejo de Exportación de Soya de los Estados Unidos brinda soporte y asistencia técnica a clientes de todo el mundo en las áreas de manufactura de alimentos, avicultura, porcicultura, acuicultura, procesamiento de aceite y manejo de riesgo, entre otros; lo que representa una ventaja competitiva.

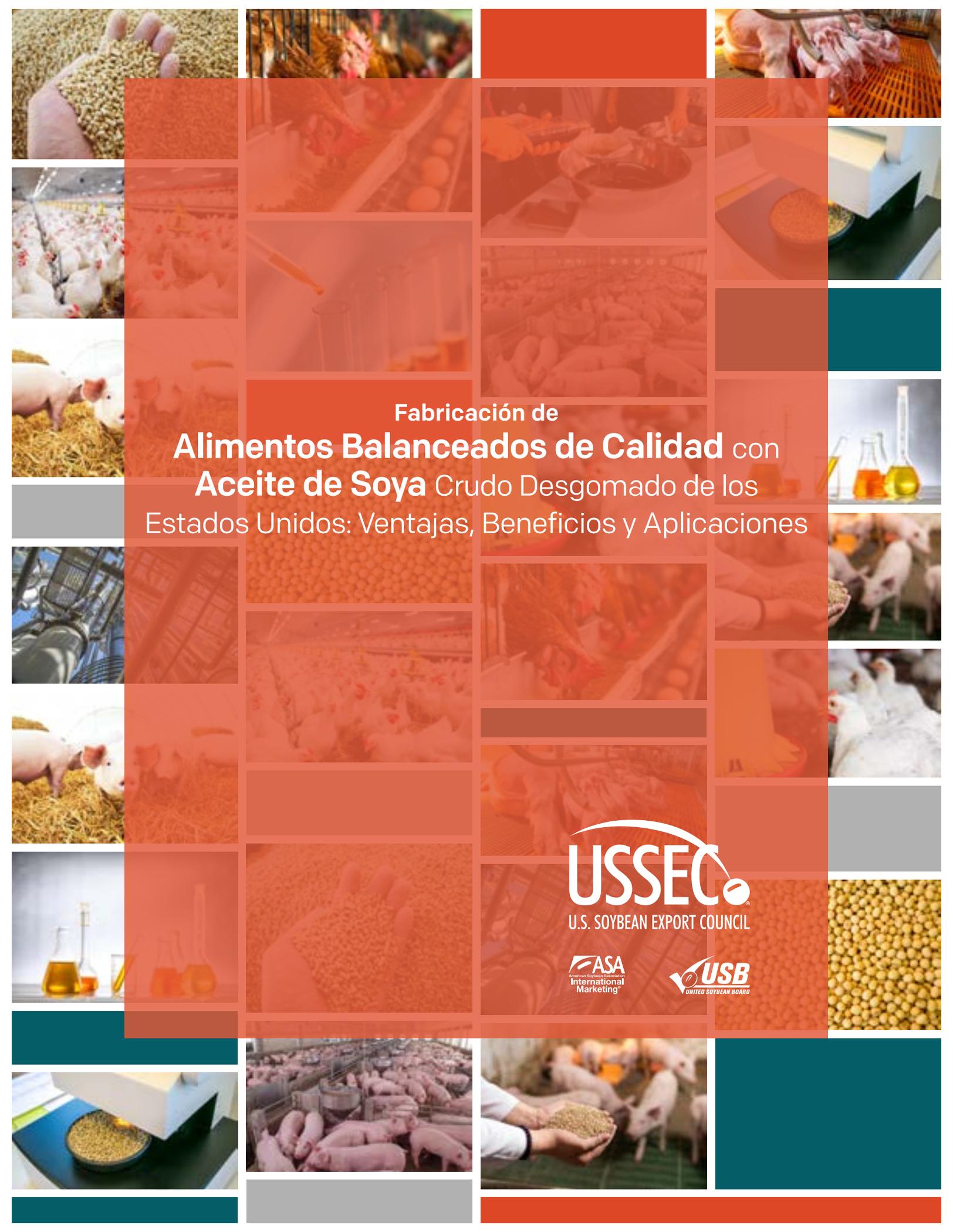
**PARA OBTENER MÁS INFORMACIÓN SOBRE LA INDUSTRIA DE LA
SOYA DE EE. UU., VISITE:**

WWW.USSEC.ORG & WWW.USSOY.ORG



16305 Swingley Ridge Road
Suite 200
Chesterfield, MO 63017-USA
phone: 636.449.6400
fax: 636.449.1293
www.ussec.org





Fabricación de
Alimentos Balanceados de Calidad con
Aceite de Soya Crudo Desgomado de los
Estados Unidos: Ventajas, Beneficios y Aplicaciones

USSEC
U.S. SOYBEAN EXPORT COUNCIL

ASA
American Soybean Association
International
Marketing

USB
UNITED SOYBEAN BOARD