

Los insectos como complemento nutricional de la dieta: fuente de lípidos potencialmente bioactivos

C. Santurino¹, A. García-Serrano¹, J. Molina García², P. Sierra Fernández², M. P. Castro-Gómez³, M. V. Calvo⁴, J. Fontecha⁵

¹PREDOCTORAL CSIC. ²ESTUDIANTE DE BACHILLERATO. ³POSTDOCTORAL CSIC.

⁴TITULADA SUPERIOR CSIC. ⁵INVESTIGADOR CIENTÍFICO CSIC.

DEPARTAMENTO DE BIOACTIVIDAD Y ANÁLISIS DE ALIMENTOS. GRUPO LÍPIDOS. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DE LA ALIMENTACIÓN (CIAL). CSIC-UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID. MADRID

RESUMEN

Los insectos comestibles pueden constituir una alternativa sostenible tanto para la alimentación humana como para la alimentación animal y es considerada respetuosa con el medio ambiente. De hecho, estos insectos son tradicionalmente empleados en la dieta de muchas regiones del mundo y además representan una parte importante de los recursos económicos de estas sociedades. Este estudio describe la composición lipídica de cuatro especies de insectos con una amplia tradición de consumo en diferentes culturas. Para evaluar el potencial de dichos insectos como fuente de lípidos bioactivos, se ha analizado su composición en ácidos grasos y triacilglicéridos, así como la fracción de lípidos polares que incluye principalmente los fosfolípidos. Desde un punto de vista nutricional, destaca su elevado contenido en ácidos grasos insaturados (superior al 60%) y en particular los altos niveles de los ácidos oleico (C18:1), linoleico (C18:2 n-6) y α -linolénico (C18:3 n-3), todos ellos de probado efecto positivo sobre la salud humana. En el caso de la *A. domesticus* cabe destacar además la presencia de fosfolípidos en una alta concentración, lo que resulta interesante teniendo en cuenta su potencial efecto positivo a nivel nutricional y de la salud.

Palabras clave: Insectos comestibles. Ácidos grasos. Lípidos bioactivos. Fosfolípidos.

ABSTRACT

Edible insects can provide a sustainable and environmentally-friendly option for human diet and animal feed. In fact, they have been traditionally employed as food in many regions around the world, representing an important part of economic resources in many societies. This study describes the lipid composition of four species of insects with a long consuming tradition in different cultures. In order to evaluate their potential use as a source of bioactive lipids, the fatty acid and triacylglycerides composition as well as the polar lipid fraction have been analyzed. From a nutritional point of view, it is noteworthy their high content of unsaturated fatty acids (60%) and the high levels of oleic (C18:1), linoleic (C18:2 n-6) and α -linolenic (C18:3 n-3) acids, which have proven their positive effect on human health. In the case of the *A. domesticus* is worth mentioning the presence high content phospholipids, which is interesting considering its potential positive effect both at nutritional and healthy level.

Key words: Edible insects. Fatty acids. Bioactive lipids. Phospholipids.

INTRODUCCIÓN

El consumo de insectos o entomofagia se halla profundamente enraizado en la historia evolutiva del ser humano (Fontaneto y cols., 2011). De hecho, los insectos constituyen un recurso alimenticio de considerable importancia en ciertas culturas, principalmente en regiones de Asia,

África y América Latina, ya que son abundantes, relativamente fáciles de recolectar y, sobre todo, muy nutritivos (Ramos-Elorduy, 2008). Según la FAO, los insectos representarían una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente tanto para la alimentación animal como para la dieta de millones de personas en todo el mundo (FAO, 2013). A pesar de que el nivel de nutrientes de los insectos varía notablemente según la especie, su etapa de

vida (estadio de metamorfosis), su hábitat y su dieta (Lease y Wolf, 2011; Rumpold y Schlüter, 2013a), en general, constituyen una fuente importante de proteínas, ácidos grasos esenciales, vitaminas, fibra, micronutrientes como cobre, hierro, magnesio, fósforo, manganeso, selenio y zinc, así como de otras sustancias bioactivas (FAO, 2013).

Actualmente, si bien la entomofagia viene despertando un creciente interés entre científicos, gobiernos y medios de comunicación, el rechazo por parte del consumidor sigue siendo una de las grandes barreras para que los insectos se consideren fuentes viables de alimento en muchos países occidentales. Para que pueda generalizarse su consumo, además de estudiar en mayor profundidad sus propiedades nutricionales (Payne y cols., 2015), debe establecerse un sistema adecuado de producción y un marco regulador que solucione cuestiones relacionadas con su seguridad química (Mlcek y cols., 2014; Rumpold y Schlüter, 2013b) y bacteriológica (Belluco y cols., 2013; van Huis, 2013).

Hasta ahora gran parte de la atención en los insectos como alimento se ha centrado en su elevado contenido en proteína, sin embargo se ha demostrado que también representan una fuente alternativa de lípidos y en especial de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) esenciales (linoleico AL n-6 y linolénico ALA n-3) (Yang y cols., 2006; Ramos-Elorduy, 2008; Chen y cols., 2009). Tal y como se recoge en algunas revisiones publicadas recientemente (Rumpold y Schlüter 2013b; Nowak y cols., 2016), existe un gran número de trabajos que hacen referencia al contenido total de lípidos presentes en distintas especies de insectos comestibles, así como a su composición de ácidos grasos. Sin embargo, apenas si existen datos relativos a la distribución de las distintas clases lipídicas y en particular en lo concerniente a la presencia de lípidos polares (LP), glicerofosfolípidos y esfingolípidos en los insectos comestibles. Los LP desempeñan un papel clave en el mantenimiento de la integridad y la funcionalidad de las membranas celulares, participando además en gran variedad de procesos metabólicos, neurológicos y de señalización intracelular indispensables (Guo y cols., 2005). Recientemente Castro-Gómez y cols. (2015) han revisado las funciones biológicas potencialmente saludables atribuidas a los fosfolípidos, llegando a la conclusión de que estas moléculas podrían ser explotadas como nutraceúticos para complementar la terapia de patologías ampliamente difundidas como son las enfermedades neurodegenerativas, algunos tipos de cáncer o el síndrome metabólico. Dado que actualmente el consumo mundial de LP potencialmente saludables está disminuyendo debido al uso generalizado de productos “bajos en grasa”, la búsqueda de nuevas fuentes alternativas resulta de interés.

Dentro de este contexto, el objetivo de este trabajo ha sido la caracterización del perfil lipídico de cuatro especies de insectos comestibles, con una amplia tradición de consumo en distintas culturas. Además de la composición de ácidos grasos y de especies moleculares de triacilglicéridos (TAG), se ha analizado la distribución de clases lipídicas, con especial interés en la fracción de fosfolípidos, para evaluar el potencial de dichos insectos como fuente de lípidos bioactivos con efecto positivo sobre la salud del consumidor.

MATERIALES Y MÉTODOS

PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Para llevar a cabo el estudio se eligieron cuatro especies de insectos (Fig. 1), dos larvas de coleópteros, *Tenebrio molitor* (gusano de la harina) y *Zophoba morio* (gusano rey) e individuos adultos pertenecientes a dos especies de ortópteros, *Acheta domesticus* (grillo común) y *Locusta migratoria* (langosta migratoria). Todos ellos fueron adquiridos en un comercio especializado de la ciudad de Madrid. Los insectos fueron congelados a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, liofilizados (LIOBETA-15, Telstar, Madrid, España) y molturados para obtener una muestra en polvo homogénea, que finalmente se conservó a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis.

EXTRACCIÓN DE LA FRACCIÓN LIPÍDICA

La extracción de la fracción lipídica se llevó a cabo a partir de la muestra liofilizada (2 g) con una mezcla de disolventes diclorometano:metanol (2:1 vol/vol) mediante un equipo de extracción por líquidos presurizados (PLE) (ASE-200 Dionex Corp., Sunnyvale, CA, Estados Unidos) siguiendo las condiciones descritas por Castro-Gómez y cols. (2014). La utilización de disolventes sometidos a condiciones de temperatura y presión elevadas, aplicada en muestras sólidas y semisólidas, permite una extracción completa de los lípidos, al mismo tiempo que incrementa la eficiencia del proceso, disminuyendo el tiempo y el gasto de disolvente en comparación con otros métodos utilizados para la extracción total de lípidos. Una vez determinado el contenido graso, los extractos lipídicos se conservaron en viales ámbar bajo atmósfera de N_2 y almacenados a $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis.

ANÁLISIS DE ÁCIDOS GRASOS

Los ésteres metílicos de los ácidos grasos fueron preparados según el método de derivatización directa descrito por

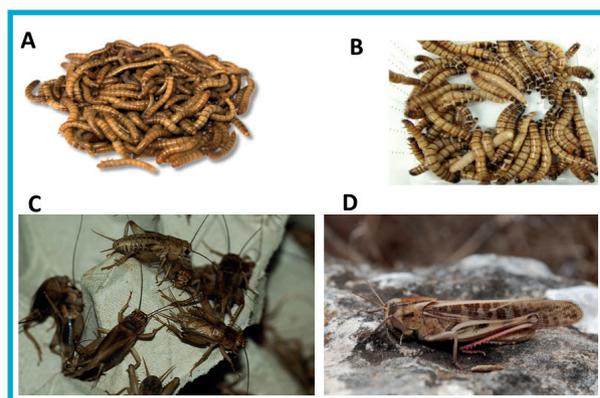


Fig. 1. Especies de insectos analizadas en el estudio. Larva de *Tenebrio molitor* (A), Larva de *Zophoba morio* (B), *Acheta domesticus* (C) y *Locusta migratoria* (D).

Castro-Gómez y cols. (2015), que utiliza metóxido sódico/ácido sulfúrico. La separación se llevó a cabo empleando una columna CPSil-88 (100 m × 0,25 mm d.i. × 0,2- μ m) (Agilent Technologies Inc., Palo Alto, CA, Estados Unidos) en un GC-MS Agilent (modelo 6890N; Agilent Technologies Inc., Palo Alto, CA, Estados Unidos), según el procedimiento de Rodríguez-Alcalá y Fontecha (2007). Para la identificación de los ácidos grasos se empleó la librería de espectros NIST (Gaithersburg, MD) y para su cuantificación se utilizó la tritridecanoina como estándar interno (200 μ l; 1,3 mg/ml), así como una grasa anhidra de referencia de composición conocida para el cálculo de los factores de respuesta. Los análisis fueron llevados a cabo por triplicado.

ANÁLISIS DE GRUPOS DE TRIACILGLICÉRIDOS

Los TAG presentes en las muestras se analizaron según su número de átomos de carbono mediante el método descrito por Fontecha y cols. (2005) en un GC-FID (modelo Clarus 400, Perkin Elmer Ltd., Beaconsfield, Reino Unido) con una columna Rtx-65TAG (30 m × 0,25 mm d.i. × 0,1 μ m) (Restek Corp., Bellefonte, PA, Estados Unidos). Para la identificación y determinación de los factores de respuesta, se utilizó una grasa anhidra de referencia de composición conocida. Los análisis fueron llevados a cabo por triplicado.

ANÁLISIS DE CLASES LIPÍDICAS

Las distintas clases lipídicas presentes en los extractos lipídicos obtenidos de los insectos se llevó a cabo mediante HPLC (serie 1200; Agilent Technologies Inc., Palo Alto, CA, Estados Unidos) acoplado a un detector evaporativo de dispersión de luz (ELSD) (modelo SEDEX 85; Sedere SAS, Alfortville Cedex, Francia). Se utilizaron dos columnas en serie (250 × 4,5 mm Zorbax Rx-SIL, Agilent Technologies Inc., Palo Alto, CA, Estados Unidos) y una precolumna con idéntico relleno. Los extractos lipídicos, a una concentración de 5 mg/ml en diclorometano se inyectaron (50 μ l) en un gradiente de fases móviles de disolventes orgánicos como describe Castro-Gómez y cols. (2014). Para la identificación y cuantificación de cada una de las clases lipídicas, se emplearon patrones puros de cada uno de los compuestos. Los análisis fueron llevados a cabo por triplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla I se muestran los contenidos tanto de materia seca (MS) como de grasa presentes en las distintas especies de insectos analizados. El porcentaje de MS en aquellos insectos que se encontraban en estado larvario (*T. molitor* y *Z. morio*) fue superior al de los individuos adultos (*A. domesticus* y *L. migratoria*) con valores medios entre 42% y 43% respectivamente. Por lo que respecta al contenido graso (en % MS), varió entre un 8% y un 40%, confirmando la presencia de un contenido lipídico muy va-

riable, tal y como describen Lease y Wolf (2011). En los insectos, los lípidos se almacenan predominantemente en el denominado cuerpo graso, un órgano equivalente al tejido adiposo y el hígado de los vertebrados (Arrese y Soulages, 2011); aunque una pequeña parte de los lípidos almacenados pueden ser resultado de la síntesis *de novo* a partir de carbohidratos (Canavoso y cols., 2011), la mayor parte procede directamente de la dieta, por lo que esta influirá de manera decisiva en la composición lipídica de los insectos (Finke 2002; Mlck 2016).

Al igual que describen otros autores, los contenidos de grasa en las dos larvas de coleópteros estudiados fueron claramente superiores al observado en los especímenes adultos de ortópteros (Chen y cols., 2009; Rumpold y Schlüter, 2013b). La acumulación de lípidos es particularmente importante para explicar los cambios tan trascendentes que se producen tanto desde el punto de vista estructural como bioquímico durante el ciclo vital de los insectos holometábolos (Horne y cols., 2009; Arrese y Soulages, 2011), es decir, aquellos que experimentan una metamorfosis completa como ocurre en los coleópteros. En cambio, en los individuos adultos, como es el caso del grillo o la langosta, se produce movilización del material lipídico para atender demandas de energía en actividades relacionadas con el vuelo, la supervivencia y la reproducción (ovogénesis y embriogénesis). Dicha movilización también puede ser inducida por situaciones de estrés o inanición.

PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS

Los perfiles lipídicos de las cuatro especies de insectos analizadas se muestran en la tabla II. Además del contenido de los principales ácidos grasos (AG), se incluyen también los sumatorios del total de ácidos grasos saturados (AGS) monoinsaturados (AGMI), poliinsaturados (AGPI) e insaturados totales (AGI = AGMI + AGPI), así como las relaciones AGS/AGI y el índice omega 6 frente a omega 3 (n6/n3) utilizados como marcadores de salud nutricional. En términos generales, se aprecia una proporción de AGI totales muy superior a la de AGS. Así, el contenido total de AGI fue igual o superior al 60% en todos los casos, alcanzando un valor particularmente elevado en la larva de *T. molitor* con un 72%. Estos datos están de acuerdo con los publicados en estudios previos por otros autores para insectos de la

TABLA I

CONTENIDO DE MATERIA SECA Y DE GRASA PRESENTE EN LAS CUATRO ESPECIES DE INSECTOS ESTUDIADAS

Especie de insecto	Materia seca %	Grasa (en % materia seca)
<i>T. molitor</i> (larva)	42,44	32,33
<i>Z. morio</i> (larva)	43,21	40,19
<i>A. domesticus</i> (adulto)	32,53	15,25
<i>L. migratoria</i> (adulto)	36,55	8,05

TABLA II

PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS MAYORITARIOS EN LOS INSECTOS ANALIZADOS EN EL ESTUDIO (g AG/100 g GRASA)

	<i>T. molitor</i> (larva)	<i>Z. morio</i> (larva)	<i>A. domesticus</i> (adulto)	<i>L. migratoria</i> (adulto)
Ácido graso (AG)				
C14:0	2,94	1,17	0,43	1,75
C16:0	20,01	31,14	25,88	26,30
C18:0	4,02	5,40	9,28	7,92
Total AGS (%)	26,97	37,71	35,59	35,97
C16:1	2,23	2,69	0,99	1,20
C18:1 <i>cis</i> 9	48,55	39,45	22,54	34,20
Total AGMI (%)	50,78	42,14	23,53	35,40
C18:2 (n-6) <i>cis</i> 9 <i>cis</i> 12	20,34	16,29	37,88	18,27
C18:3 (n-3) <i>cis</i> 9 <i>cis</i> 12 <i>cis</i> 15	0,61	0,21	0,99	9,33
Total AGPI (%)	20,95	16,50	38,87	27,60
Total AGI (%)	71,73	58,64	62,40	63,00
AGS/AGI	0,38	0,64	0,57	0,57
Ratio n6/n3	33,34	77,57	38,26	1,96

misma especie o similares (Finke, 2002; Rumpold y Schlüter, 2013b; Tzompa-Sosa y cols., 2014; Zielińska y cols., 2015). Mientras que las dos especies de insectos adultos presentaron un contenido similar de AGS (~36%), en las larvas los niveles de AGS difieren de forma notable, siendo aproximadamente de un 28% y un 41%, respectivamente. Dentro de este grupo, el compuesto mayoritario, en todos los casos fue el ácido palmítico (C16:0), cuya concentración máxima (31%) se encontró en la larva de *Z. morio*, mientras que en la larva de *T. molitor* fue la más baja y solo supuso un 20% del total de los AG. También se detectaron niveles importantes de ácido esteárico (C18:0) en todos los insectos analizados; sin embargo, su contenido fue muy variable, así su concentración en *A. domesticus* fue más del doble de la hallada en *T. molitor* (9% vs. 4%, respectivamente). Contenidos similares han sido descritos en trabajos recientemente publicados por otros autores (Zielińska y cols., 2015; Tzompa-Sosa y cols., 2014).

Dependiendo de la especie, también se observaron diferencias acusadas en el contenido total de AGMI, así la cantidad presente en las larvas llegó a duplicar la encontrada en los insectos adultos (51% vs. 24%). En todos los casos el oleico (C18:1n9) fue el AG mayoritario y la concentración más elevada de dicho ácido graso (48,5%) se encontró en la larva de *T. molitor*, coincidiendo con los datos publicados recientemente por Siemianowska y cols. (2013).

Teniendo en cuenta que en el aceite de oliva el oleico representa entre el 50% y el 80% del total de AG, la ingesta de los insectos analizados y en particular de las larvas supondría un aporte importante de dicho compuesto a la dieta, con el consiguiente efecto beneficioso sobre la salud cardiovascular (López-Huertas, 2010).

En cuanto al contenido en AGPI, *A. domesticus* fue el insecto que presentó niveles más elevados (39,2%) siendo el ácido linoleico (C18:2n6 AL) el AG mayoritario en todas las especies analizadas, lo que concuerda con datos publicados en estudios previos que caracterizaron la composición lipídica de distintas especies de insectos comestibles (Yang y cols., 2006; Rumpold y Schlüter, 2013b). En concreto, el *A. domesticus* presentó los niveles de oleico más bajos (22,5%) y linoleico más elevados (38%), que prácticamente duplicaron los encontrados en el resto de los insectos analizados. Aunque este hecho podría ser consecuencia directa de la alimentación recibida por el insecto (Mlcek y cols., 2014), existe también la posibilidad de que sea el resultado de la acción de la enzima delta-12 desaturasa, responsable de la producción de linoleico a partir del ácido oleico y cuyos genes han sido estudiados en *A. domesticus* por Zhou y cols., 2008.

Entre los AGPI destaca el contenido en AL (C18:3n3, ALA) presente en *L. migratoria*, que alcanza un 9%, cuando la concentración de dicho AG es de alrededor del 1% en el resto de especies de insectos analizados. Tal y como demuestra el trabajo publicado por Oonincx y Van der Poel (2011), la composición química de langostas migratorias puede ser manipulada a través de la dieta, por tanto la elevada presencia de ALA probablemente se encuentre relacionada con la alimentación suministrada a las langostas durante su cría (Siemianowska y cols., 2013). Este nivel de ALA es coincidente con la elevada concentración (11,7%) detectada en una langosta consumida tradicionalmente en Sudán (Mohamed, 2015). Aunque se ha sugerido que los insectos comestibles pueden ser una fuente de AGPI de cadena larga como el eicosapentaenoico (C20:5n3; EPA) o el docosahexaenoico (C22:6n3; DHA) (Yang y cols., 2006), en este estudio no se ha detectado la presencia de ninguno

de estos AG. La presencia de EPA y DHA en insectos se ha relacionado con su dieta por lo que no resulta extraño que en la literatura especializada se describa tanto la presencia como la ausencia de EPA, dependiendo de la especie de insecto analizada y la dieta de este (Fontaneto y cols., 2011; Tzompa-Sosa y cols., 2014).

Como es bien conocido, la relación de los AGPI omega 6 y omega 3 (n6/n3) de la dieta es un biomarcador en la prevención del riesgo de enfermedad coronaria. El valor recomendado por la FAO (2010) para dicho índice es de 10:1 y en este estudio fue muy superior en todas las especies de insectos, a excepción de *L. migratoria*, donde el valor n6/n3 fue de 2:1. Esto es consecuencia de la reducida presencia de ALA en la composición lipídica de los insectos y a la elevada concentración de LA, que es el principal AG n6 presente. Parece claro que la composición en AG de los insectos se ve claramente influenciada por su alimentación, por lo que se podría lograr una relación n6/n3 más equilibrada modificando la dieta de insectos de forma que se incremente el consumo de alimentos ricos en omega 3.

ANÁLISIS DE CLASES LIPÍDICAS

En la tabla III se observa la distribución de las distintas clases lipídicas presentes en las cuatro especies de insectos comestibles analizadas. En todos los casos, los TAG fueron la clase lipídica mayoritaria y representaba > 93% del total de la grasa, excepto en el caso de *A. domesticus* donde su concentración fue de 72%. Tampoco es sorprendente dicho valor teniendo en cuenta las diferencias existentes entre las distintas familias de insectos en cuanto a la utilización de sus reservas de lípidos (Horne y cols., 2009).

En cuanto a los diacilglicérols (DAG), estos compuestos se hallan presentes en todos los insectos en cantidades reseñables. Su presencia se debe a que, a diferencia de lo que ocurre en los mamíferos donde la movilización de los TAG almacenados implica su hidrólisis completa hasta ácidos grasos libres y glicerol, en el caso de los insectos, los DAG

representan la principal forma de transporte de lípidos, siendo secretados a la hemolinfa, donde una lipoproteína llamada lipoforina se encarga de trasladarlos hasta los tejidos (Canavoso y cols., 2001; Horne y cols., 2009; Arrese y Soulages, 2011).

Teniendo en cuenta el potencial efecto positivo de los LP sobre la salud humana, cabe destacar el alto porcentaje de dichos compuestos encontrados en *A. domesticus* (22% del total de lípidos). En el resto de las especies estudiadas las cantidades detectadas fueron muy inferiores. Por lo que se refiere a los componentes individuales dentro de la fracción polar, en todos los casos la fosfatidiletanolamina (FE) y la fosfatidilcolina (FC) fueron los fosfolípidos más abundantes, coincidiendo con lo descrito por Castro-Gómez y cols. (2015) en otros tejidos biológicos.

A. domesticus, además de presentar la mayor concentración total de LP, fue la especie que mostró una mayor variedad en cuanto a composición, puesto que además de FE y FC contenía fosfatidilinositol (FI) y fosfatidilserina (FS). Este hecho le confiere una especial relevancia, dado que la incorporación de dichos compuestos en la dieta ha sido relacionada con potenciales efectos beneficiosos sobre la salud cognitiva, enfermedades neurológicas y cardiovasculares, entre otras (Castro-Gómez y cols., 2015).

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN DE TRIACILGLICÉRIDOS (TAG)

La distribución de TAG según su número de átomos de carbono (NC), en los extractos lipídicos obtenidos de las cuatro especies de insectos analizados, comparte un patrón similar (Fig. 2). En todos los casos se encontraron 10 grupos de TAG (de 36 NC a 54 NC), siendo aquellos de mayor peso molecular, desde 50 NC hasta 54 NC, los que presentaron concentraciones más elevadas. Este hecho se ha relacionado con el elevado contenido en ácidos grasos de cadena larga (de C16 y C18) y que supera el 97% en

TABLA III

DISTRIBUCIÓN DE LAS CLASES LIPÍDICAS Y DE LOS DISTINTOS FOSFOLÍPIDOS EN LAS ESPECIES DE INSECTOS ESTUDIADAS

Clase lipídica (%)		<i>T. molitor</i>	<i>Z. morio</i>	<i>A. domesticus</i>	<i>L. migratoria</i>
TAG		92,7	92,8	71,8	95,0
DAG		6,57	5,65	3,76	1,18
Col		0,12	0,09	1,76	0,1
LP		0,61	1,29	21,97	3,66
FL (% de LP)	FE	49,18	42,64	33,41	39,34
	FI	3,28	1,55	3,28	1,37
	FS	-	1,55	2,18	-
	FC	47,54	54,26	60,22	59,29

TAG: triglicérido; DAG: diglicérido; Col: colesterol; LP: lípidos polares; FL: fosfolípidos; FE: fosfatidiletanolamina; FI: fosfatidilinositol; FS: fosfatidilserina; FC: fosfatidilcolina.

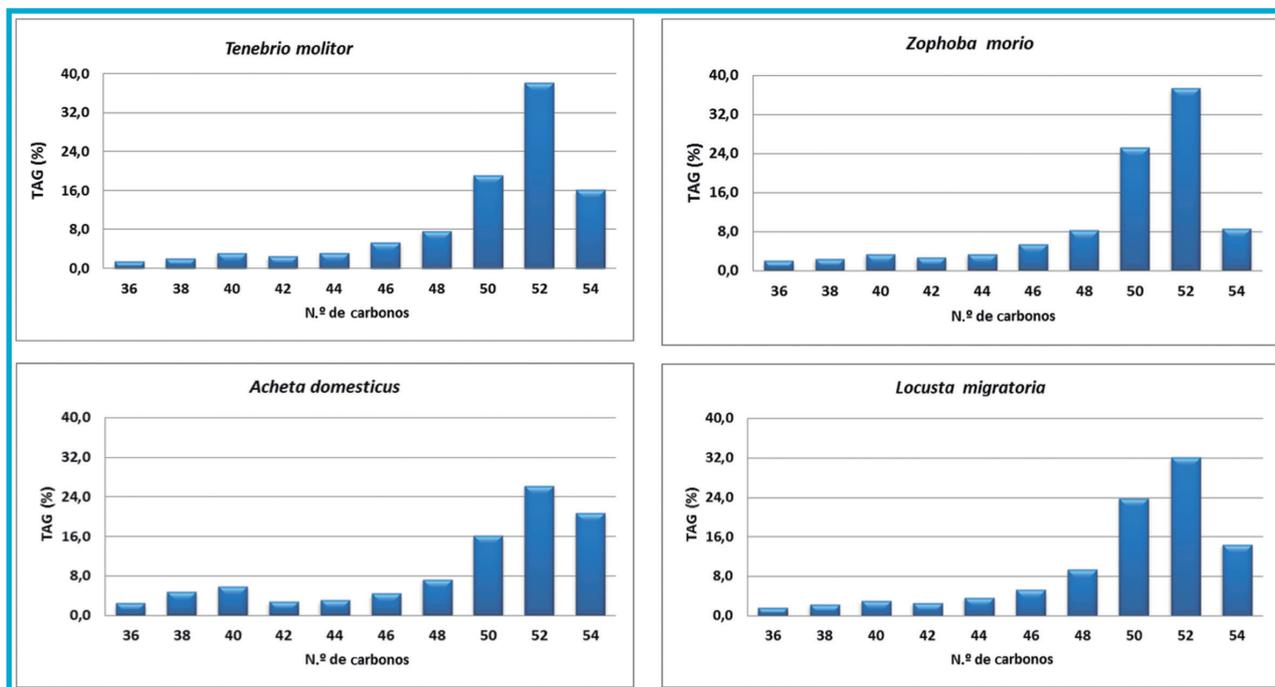


Fig. 2. Distribución de los grupos de triacilglicéridos (TAG) según su número de átomos de carbono en las especies de insectos estudiadas.

todas las muestras (Fig. 2). Cabe señalar que el TAG con 52 NC fue la especie más abundante en todas las muestras, y que los mayores niveles se encontraron en los insectos que se hallaban en fase larvaria, *T. molitor* y *Z. morio*, (38% y 37%, respectivamente). Es reseñable la presencia de una cantidad apreciable de TAG en la zona de 36 NC hasta 42 NC, lo que difiere del perfil característico de la mayoría de grasas animales y de aceites vegetales, en las cuales no se detectan. Estos resultados son coincidentes con los descritos por Tzompa y cols., 2014 para *A. domesticus*, que presentó una mayor concentración de TAG con NC (36-42). Estos aumentos se corresponden con tiempos de elución tanto de DAG como de fosfolípidos y coinciden con el hecho de que *A. domesticus* fue el insecto que presentaba una mayor concentración de LP.

Por otro lado, respecto al contenido en colesterol libre (Tabla III), este difiere de forma notable dependiendo de la especie de insecto. Así, mientras que en los insectos en estado larvario se hallaba por debajo del 1%, en el caso de *A. domesticus* alcanzó casi un 2%, lo que está en la línea de lo descrito previamente por otros autores (Ekpo y cols., 2009; Tzompa-Sosa y cols., 2014). El colesterol es un componente estructural de las membranas celulares, actúa como precursor de las hormonas de la muda y resulta esencial en el desarrollo de la mayoría de los insectos (Canavoso y cols., 2001). Dado que no puede ser sintetizado *de novo*, la mayoría de las especies han desarrollado mecanismos para obtenerlo a partir de esteroides vegetales ingeridos en la dieta. Por tanto, los niveles de colesterol presentes en los insectos, al igual que ocurría con la composición de AG, variará en función de su alimentación (Rumpold 2013a). En

nuestro estudio, una explicación de la alta proporción de colesterol detectada en *A. domesticus*, pudiera ser que, a diferencia de los insectos fitófagos, el grillo al ser omnívoro y generalista sería capaz de obtener el colesterol suficiente directamente de su dieta sin necesidad de sintetizarlo a partir de fitosteroides.

CONCLUSIONES

Los extractos lipídicos de los insectos comestibles analizados podrían ser considerados como una fuente potencial de lípidos bioactivos de buena calidad. Desde el punto de vista nutricional, destaca su contenido total de AGI que fue superior al 60% en todos los casos y en particular los elevados niveles de ácido oleico y de los ácidos grasos esenciales linoleico y linolénico n6 y n3, respectivamente, todos ellos de probado efecto positivo sobre la salud. En el caso de *A. domesticus*, cabe destacar además la presencia de fosfolípidos en una alta concentración, lo que resulta interesante teniendo en cuenta el potencial efecto positivo de dichos compuestos sobre las enfermedades neurodegenerativas, algunos tipos de cáncer o el síndrome metabólico.

Por otro lado, la influencia que la alimentación recibida durante su cría ejerce sobre la composición lipídica de los insectos, lejos de ser una desventaja, representa una herramienta útil que permitiría adaptar dicha composición para satisfacer las demandas nutricionales especificadas por parte del consumidor ●

CORRESPONDENCIA:

Javier Fontecha
 Departamento de Bioactividad y Análisis de Alimentos.
 Grupo Lípidos
 Instituto de Investigación en Ciencias de la Alimentación
 (CIAL) CSIC-UAM
 C/ Nicolás Cabrera, 9
 Campus de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM)
 28049 Madrid
 e-mail: j.fontecha@csic.es

BIBLIOGRAFÍA

- Arrese EL and Soulages JL. Insect fat body: energy, metabolism, and regulation. *Annu Rev Entomol* 2010;55:207-25.
- Castro-Gómez MP, Holgado F, Rodríguez-Alcalá LM, Montero O, Fontecha J. Comprehensive study of the lipid classes of krill oil by fractionation and identification of triacylglycerols, diacylglycerols, and phospholipid molecular species by using UPLC/QToF-MS. *Food Anal Methods* 2015;8:2568-80.
- Castro-Gómez MP, Rodríguez-Alcalá LM, Calvo MV, Romero J, Mendiola JA, Ibáñez E, et al. Total milk fat extraction and quantification of polar and neutral lipids of cow, goat, and ewe milk by using a pressurized liquid system and chromatographic techniques. *J Dairy Sci* 2014;97:6719-28.
- Castro-Gómez MP, García-Serrano A, Visioli F, Fontecha J. Relevance of dietary glycerophospholipids and sphingolipids to human health. *Prostag Leukotr ESS* 2015;101:41-51.
- Calvo MV, Castro-Gómez MP, García-Serrano A, Rodríguez-Alcalá LM, Juárez M, Fontecha J. Grasa láctea: una fuente natural de compuestos bioactivos *Alim Nutri Salud* 2014;21(3):57-63.
- Canavoso LE, Jouni ZE, Karnas KJ, Pennington JE, Wells MA. Fat metabolism in insects. *Ann Rev Nutr* 2001;21:23-46.
- Chen X, Feng Y, Chen Z. Common edible insects and their utilization in China. *Entomological Research* 2010;39:299-303.
- Ekpo KE, Onigbinde AO, Asia IO. Pharmaceutical potentials of the oils of some popular insects consumed in southern Nigeria. *Afr J Pharm Pharmacol* 2009;3:51-7.
- FAO. Edible insects: future prospects for food and feed security. Roma, Italia: FAO Forestry paper; 2013. p. 171.
- FAO 2010. Fats and fatty acids in human nutrition: Report of an expert consultation, 10-14 November 2008, Geneva.
- Finke MD, 2004 *Encyclopedia of Entomology*, 1st ed., Kluwer Academic Press: Dordrecht, The Netherlands.
- Finke MD. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food from insectivores. *Zoo Biology* 2002;21:269-85.
- Folch J, Lees M, Stanley GHS. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* 1957;226:497-509.
- Fontaneto D, Tommaseo-Ponzetta M, Gallid C, Risé P, Glew RH, Paoletti MG. Differences in fatty acid composition between aquatic and terrestrial insects used as food in human nutrition. *Ecol Food Nutr* 2011;50:351-67.
- Fontecha J, Goudjil H, Ríos JJ, Fraga MJ, Juárez M. Identity of the major triacylglycerols in ovine milk fat. *Intl Dairy J* 2005;5:1217-24.
- Guo Z, Vikbjerg AF, Xu X. Enzymatic modification of phospholipids for functional applications and human nutrition. *Biotechnol Adv* 2005;23:203-59.
- Horne I, Haritos VS, Oakeshott JG. Comparative and functional genomics of lipases in holometabolous insects. *Insect Biochem Mol Biol* 2009;39:547-67.
- Lease HM, Wolf BO. Lipid content of terrestrial arthropods in relation to body size, phylogeny, ontogeny and sex. *Physiol Entomol* 2011;36:29-38.
- López-Huertas E. Health effects of oleic acid and long chain omega-3 fatty acids (EPA and DHA) enriched milks. A review of intervention studies. *Pharmacol Res* 2010;61:200-7.
- Mlcek J, Rop O, Borkovcova M, Bednarova M. A comprehensive look at the possibilities of edible insects as food in Europe – a review. *Pol J Food Nutr Sci* 2014;64:147-57.
- Mohamed EHA. Fatty acids contents of the edible migratory locust *Locusta migratoria*, Linnaeus, 1758 (Orthoptera: Acrididae) *IJAPBC* 2015;4:746-50.
- Nowak V, Persijn D, Rittenschober D, Charrondiere UR. Review of food composition data for edible insects *Food Chem* 2016;193:39-46.
- Oonincx DG B, van der Poel AFB. Effects of diet on the chemical composition of Migratory Locusts (*Locusta migratoria*). *Zoo Biol* 2011;30:9-16.
- Payne CLR, Scarborough P, Rayner M, Nonaka K. Are edible insects more or less 'healthy' than commonly consumed meats? A comparison using two nutrient profiling models developed to combat over- and undernutrition. *Eur J Clin Nutr* 2016;70:285-91.
- Ramos-Elorduy BJ, Viejo Montesino JL. Los insectos como alimento humano: Breve ensayo sobre la entomofagia, con especial referencia a México. Insects as human food: Short essay on entomophagy, with special reference to Mexico. *Bol R Soc Esp Hist. Nat* 2007;102:61-84.
- Ramos-Elorduy J. Energy supplied by edible insects from Mexico and their nutritional and ecological importance. *Ecol Food Nutr* 2008;47:280-97.
- Rodríguez-Alcalá LM, Fontecha J. Hot topic: fatty acid and conjugated linoleic acid (CLA) isomer composition of commercial CLA-fortified dairy products: Evaluation after processing and storage. *J Dairy Sci* 2007;0:2083-90.
- Rumpold BA, Schlüter OK. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production; *Inn Food Sci Emer Technol* 2013a;17:1-11.
- Rumpold BA, Schlüter OK. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Mol Nutr Food Res* 2013b;57:802-23.
- Siemianowska E, Kosewska A, Aljewicz M, Skibniewska KA, Polak-Juszczak L, Jarocki A, et al. Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. *Agric Sci* 2013;4:287-91.
- Simopoulos AP. Omega-6/omega-3 essential fatty acid ratio and chronic diseases. *Food Rev Int* 2004;20:77-90.
- Tzompa-Sosa DA, Yi L, van Valenberg HJF, van Boekel MAJS, Lakemond CMM. Insect lipid profile: aqueous versus organic solvent-based extraction methods. *Food Res Int* 2014;62:1087-94.
- Van Huis A. Potential of insect as food and feed in assuring food security. *Ann Rev Entomol* 2013;58:563-83.
- Yang LF, Siriamornpun S, Li D. Polyunsaturated fatty acid content of edible insects in Thailand. *J Lipids* 2006;13:277-85.
- Zielińska E. Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. *Food Res Int* 2015;77:460-6.
- Zhou X, Horne I, Damcevski K, Haritos V, Green A, Singh S. Isolation and functional characterization of two independently-evolved fatty acid $\Delta 12$ -desaturase genes from insects. *Insect Mol Biol* 2008;17:667-76.

