



VALORIZACIÓN DE LOS SUBPRODUCTOS DE LA CADENA DEL ACEITE DE OLIVA

Julio Berbel^t, Carlos Gutiérrez-Martín^a y José Antonio La Cal^b

^aUniversidad de Córdoba y ^bUniversidad de Jaén

Resumen

La generación de biomasa residual y subproductos de la cadena de valor del aceite de oliva en la UE-28 generan un volumen aproximado de 10,5 millones de toneladas anuales. Estos son principalmente restos de podas en campo, 'hojín' (hojas y ramas finas del proceso de limpieza del fruto en almazara), orujo grasoso y húmedo o 'alperoujo', (procedente del proceso de almazara), hueso y orujo extractado y seco u 'orujillo', generado en las extractoras de aceite de orujo (orujeras). En este trabajo se analiza el uso actual de esta biomasa que es valorizada principalmente para generación de energía eléctrica para su inyección a red a partir del orujillo y restos de podas, o térmica en forma de agua caliente, de proceso, vapor o calefacción a partir del hueso. Estas aplicaciones han generado una actividad económica significativa en muchos municipios de zonas rurales productoras. No obstante, en este caso de éxito de aprovechamiento integral de la biomasa residual, la bioeconomía abre nuevas oportunidades, entre las que cabe citar la producción de biocombustibles sólidos de alto valor añadido, como los pellets o hueso limpio y tratado, la obtención de biocarburantes de segunda generación (bioetanol), la alimentación ganadera funcional o la obtención de compuestos bioactivos, entre otros.

Abstract

The residual biomass and by-products generated in the olive oil value chain in the EU-28 account for an approximate volume of 10.5 million tons annually. These are mainly cuttings from pruning in the fields, hojín (leaves and thin branches from when the fruit is cleaned in the press), fatty and humid pomace or alperoujo, (from the pressing process), the pits and pomace extracted and dried or orujillo, generated in the pomace oil extractors (orujeras). In this work we analyse the current use of this biomass, which is principally valued for electrical power generation to be injected into the grid, from orujillo and pruning remains, or thermal energy in the form of hot water, from the process, steam or heating from the pits. These applications have generated significant economic activity for many municipalities in oil-producing rural zones. Nonetheless, in this successful case of residual biomass use, the bioeconomy opens up new opportunities, including the production of high-added-value solid biofuels (in the form of pellets or clean, treated pits), the acquisition of second-generation biofuels (bioethanol), animal fodder, and the acquisition of bioactive compounds, among other things.

1. Introducción

Las previsiones para el año 2050 plantean una moderación del crecimiento de la demanda de alimentos que se reducirán a un 1,1 % anual en el periodo de 2010-2050, frente al 2,2 % del periodo 1970-2010 (Alexandratos y Bruinsma, 2012). A pesar de esto, hay riesgos para una seguridad alimentaria global que, debido al aumento de presiones sobre los recursos naturales y al cambio climático, puede estar en peligro si las tendencias actuales continúan (FAO, 2017a). Entre los cambios previstos para el año 2050 se espera que la oferta global de alimentos en los países desarrollados superará a la demanda, siendo el envejecimiento de la población el factor clave. Por tanto, la calidad y la salubridad serán los determinantes de este consumo.

Por otro lado, el futuro de la agricultura y la habilidad del sistema global alimenticio para asegurar la seguridad alimentaria con una población mundial creciente está estrechamente vinculado a la mejora de la gestión de los recursos naturales. La producción de alimentos es responsable de gran parte de las emisiones de gases de efecto invernadero (FAO, 2017a), por ello, la mitigación de los efectos del cambio climático pasa por disminuir las pérdidas y residuos de la cadena alimentaria.

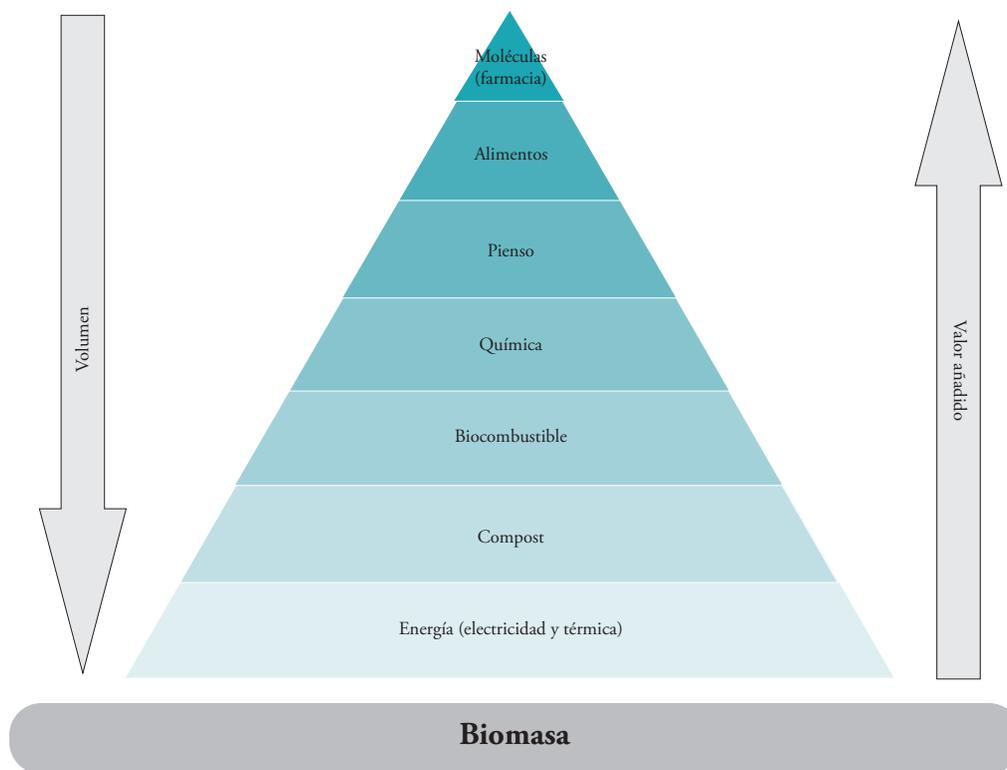
Este trabajo tiene como objetivo analizar la contribución actual de la cadena de valor del aceite de oliva para apoyar una producción de alimentos y de energía más sostenible, basada en un aprovechamiento más eficiente de los subproductos. Revisaremos lo conseguido, que ha sido mucho, y plantearemos los desafíos del sector con una estrategia relevante e inteligente en el marco de la bioeconomía, la economía circular, y la política de recursos sostenibles.

2. Los residuos del sector agroalimentario en la bioeconomía

La bioeconomía abarca la producción de recursos biológicamente renovables y la conversión de estos recursos y residuos en productos con valor añadido, tales como alimentos, pienso, productos de base biológica y bioenergía. Según la Comisión Europea, en la UE trabajan en este sector 18,6 millones de personas y generan aproximadamente 2,2 billones de euros, lo que supone el 9 % del PIB de la UE (Ronzon y Camia, 2017). Una fuente de biomasa que va tomando una importancia creciente son los residuos procedentes de los sectores agrícola, forestal y pesquero. El modelo de economía lineal «extraer-consumir-desechar» es insostenible, y el enfoque de la economía circular aspira a mantener el valor del producto y los materiales tanto tiempo como sea posible (Comisión Europea, 2015).

La estrategia europea se basa en una comprensión amplia de la bioeconomía que incluye la biotecnología, pero también la ingeniería, agronomía y zootecnia. Se centra en tres sectores dentro del uso de la biomasa: a) la destinada a alimentos y pienso, b) productos industriales de base biológica, y c) bioenergía. Las diferentes estrategias nacionales no priorizan de forma clara ninguno de estos sectores sobre los otros y es frecuente que existan programas nacionales independientes y específicos de I+D para cada subsector mencionado. El enfoque estratégico seguido en la bioeconomía debería considerar la pirámide de valor de la biomasa como referencia (Figura 1). La biomasa es más valiosa cuando se emplea en farmacia o en química fina con el propósito de mejora de salud (alimentos funcionales y medicinas) y estilo de vida (cosmética). En segundo lugar, aparecen alimentación y piensos, siendo los productos químicos el tercer nivel y finalmente la bioenergía y compostaje las opciones menos prioritarias.

Figura 1. Pirámide de valor de la biomasa



Fuente: Asveld *et al.* (2011). Elaboración propia.

Un análisis reciente de estrategias bioeconómicas oficiales en la OCDE muestra la existencia de un conflicto entre los diferentes usos de la biomasa para la producción de alimentos, materiales y energía (Meyer, 2017). Aunque el desarrollo de productos innovadores y de alto valor es un objetivo común en la mayor parte de las estrategias, la realidad es que las estrategias se centran en productos químicos (*building blocks*) con base biológica y la bioenergía. McCormick y Kautto (2013) concluyen que en las estrategias de aprovechamiento de la biomasa se debe hacer énfasis en una perspectiva económica y en la creación de bienestar social, y no plantear un enfoque centrado en la solución energética como prioritaria.

Sin embargo, hay una oportunidad de dotar de mayor valor a los residuos del sector de la aceituna, ya que el uso de los subproductos del aceite de oliva como fuente de bajo coste, puede mejorar el perfil de los ácidos grasos que constituyen la grasa animal (en leche o carne), aumentando los ácidos grasos considerados beneficiosos. Así mismo, los subproductos de la aceituna pueden ser una fuente de componentes funcionales como el esteroil vegetal y otros componentes funcionales, con el objetivo de reducir los niveles de colesterol en sangre consumiendo alimentos fortificados y «funcionales» con fitonutrientes naturales. El aceite de oliva y los subproductos de este son una fuente abundante de estos componentes funcionales, y por

El sector industrial (almazaras, extractoras y refinerías) generan a nivel del conjunto de la UE un total de 9,6 millones de toneladas al año de subproductos sujetos a valoración (orujo, hojas y hueso). La poda del olivo produce adicionalmente una cantidad difícil de estimar de biomasa agrícola que podemos considerar que asciende a 3,0 millones de toneladas de las cuales se estima que un 30 % puede ser valorizada con una racionalidad económica (Manzanares *et al.*, 2017). Esto conlleva una estimación para la UE-28 de 10,5 millones de toneladas de biomasa residual. La valorización de esta cantidad de biomasa ya está generando actualmente empleo y actividad económica, aunque se abren nuevas oportunidades con la aplicación del paradigma de la bioeconomía que queremos analizar en este trabajo.

Las hojas del olivo son una mezcla entre hojas y pequeñas ramas, ambas generadas tanto en la explotación agraria con la actividad de poda de los olivos, como en la recolección y limpieza de las aceitunas antes de la extracción del aceite en la planta de procesamiento. Las hojas se aprovechan para alimentación animal en fresco, compostaje, generación de energía eléctrica y, lamentablemente, en algunos casos se elimina mediante combustión o aplicación directa. En cuanto a la alimentación animal, actualmente se aprovecha en fresco a pesar de la existencia de algunas experiencias de pelletizado y ensilado, y de alguna pequeña empresa que ofrece el producto de pellets de hojín pero no por el momento estas iniciativas no se han extendido a un aprovechamiento más integral y duradero para alimentación animal.

El orujo de aceituna, también llamado alperujo cuando procede de almazara de dos fases (que es el sistema generalizado en España), consiste en pulpa de aceituna, piel, hueso y agua, aunque las características específicas pueden diferir según el tipo de extracción del aceite, de si es fresco o seco, y de si ha sido ya extractado (orujillo). Los huesos de aceituna pueden usarse en bruto (uso agroindustrial) o tras un proceso de limpieza y tamizado (uso doméstico). Se utilizan principalmente para la producción de energía.

4. El uso de la biomasa generada por el sector oleícola

La biomasa generada por el sector oleícola se puede englobar en dos grandes grupos:

- a) La que se produce en la explotación agrícola como consecuencia del proceso de poda del olivo, la cual está compuesta por hojas (25 % peso seco), ramas finas (50 %) y madera de diferente grosor (25 %) (Manzanares *et al.*, 2017). Solo una pequeña cantidad de restos de poda se usa como combustible en plantas generadoras de energía eléctrica, al igual que para usos finales térmicos en forma de astillas. Ha habido también alguna experiencia de uso de esta biomasa para la producción de pellets.
- b) La obtenida en las industrias del sector: almazaras y extractoras de aceite de orujo principalmente. En las primeras se obtienen hojín y pequeñas ramas del proceso de limpieza del fruto, orujo graso y húmedo y hueso sin tratar, es decir, extraído directa-

mente de la corriente de orujo. En las segundas, también llamadas orujeras, se genera un subproducto denominado orujo seco y extractado u orujillo.

Los restos de poda han sido tradicionalmente quemados a cielo abierto sin ningún tipo de aprovechamiento para evitar la propagación del temido «barrenillo». Desde hace unos años esta práctica ha convivido con la trituración y su deposición en el suelo como aporte orgánico, fundamentalmente la fracción fina o ramón. La leña, en cambio, es autoconsumida por los propios agricultores o bien comercializada para fines térmicos o culinarios sin demasiado valor añadido. Incluso, en las grandes explotaciones oliveras, es eliminada directamente mediante incineración a cielo abierto o enterrada en barrancos.

Los subproductos industriales como el hueso o el orujillo han sido también utilizados tradicionalmente como combustibles para fines térmicos. Este último se ha utilizado también para autoconsumo en las propias industrias extractoras y para generar energía eléctrica. Durante algunos años ha sido exportado a países de nuestro entorno como Italia o Reino Unido. La hoja se ha empleado como alimento para el ganado o, en algunos casos también, para la producción de compost junto con orujo grasoso y húmedo y residuos de explotaciones ganaderas.

También cabe mencionar que ha habido alguna experiencia de obtención de productos de mayor valor añadido como carbón activo, usado para fines tales como la limpieza de fachadas a presión. No obstante, se puede afirmar que la biomasa procedente del olivar en su conjunto ha sido mayoritariamente valorizada para fines energéticos, en menor medida para alimentación animal y producción de compost, y muy residualmente para la obtención de productos de mayor valor añadido.

Las investigaciones actuales se centran en este último aspecto, como por ejemplo bioetanol como carburante de segunda generación o bioplásticos, entre otros. Las aplicaciones energéticas van a pasar por el autoconsumo eléctrico y térmico, para lo cual la tecnología de gasificación se prevé que experimente un desarrollo medio-alto, así como las aplicaciones térmicas de mayor eficiencia energética y la producción de biocombustibles sólidos de calidad (La Cal, 2017). También se prevé que el compostaje experimente un crecimiento lento y sostenido, limitado por los trámites ambientales que impone la administración autonómica.

4.1. Usos actuales de la biomasa del olivar y la industria del aceite

La utilización de los residuos y subproductos de la cadena del aceite de oliva es un caso de éxito ya que han pasado de ser un problema ambiental en la década de los ochenta a ser un recurso que se destina principalmente a aprovechamiento energético y compostaje. La Figura 2 refleja los flujos de biomasa donde predomina el uso energético, que además de generar una actividad económica y empleo en zonas rurales de Andalucía, supone un beneficio ambiental si

se consideran el volumen de 1,6 millones de toneladas de CO_{2-eq}/año ahorradas en Andalucía (Consejería de Agricultura y Pesca, 2015) por su empleo.

4.1.1. Biomasa para energía

El uso de subproductos del olivar con finalidad energética está ampliamente instituido en Andalucía, de hecho, se puede considerar como un caso de éxito. El análisis del uso de los subproductos andaluces pone de manifiesto que la biomasa como forma de generación de energía hace uso del 80 % de los subproductos de la aceituna (47 % para la generación de electricidad y 33 % para la térmica) (Consejería de Agricultura y Pesca, 2015). El compostaje o la aplicación directa en el campo es el destino del 14,3 %, mientras que los residuos llevados al vertedero solo suponen el 0,7 %. Por consiguiente, los usos energéticos, compostaje y aplicación directa suman un total del 95 %, destinando el 5 % restante para alimentación animal.

También el uso energético de la biomasa de olivar se puede considerar otro caso de éxito. Andalucía es líder mundial en este campo donde, entre los proyectos que se han realizado destacan el llevado a cabo por la Cooperativa de Segundo Grado Oleícola El Tejar, que ha sido pionera en este campo en su planta de Palenciana (Córdoba). También, en el municipio de Cañete de las Torres (Córdoba), hay una instalación de gasificación de poda de olivar que es un modelo a seguir. Por último, y también en esta provincia y ubicada en Puente Genil, se encuentra una planta de cogeneración integrada en una extractora que es capaz de utilizar, junto a los ya conocidos orujillo y hueso de aceituna, otras fuentes de biomasa (podas de olivo y forestales). Todo ello es una muestra de la pujanza de este sector en España y Andalucía.

Probablemente, los parámetros expuestos en la Figura 2 presenten una versión optimista del sector en la UE, ya que el complejo agroindustrial dentro del sector de la aceituna en Andalucía, que supone la mitad de la UE, es también el más desarrollado. El resto de los miembros de la UE pueden tener un menor aprovechamiento energético y una mayor presencia de compostaje, aplicaciones en el campo e incluso vertido como tratamiento final. En el resto de regiones mediterráneas se sigue molturando la aceituna con prensas de capachos, tres fases y dos fases y los problemas de vertidos siguen sin estar resueltos. como lo están en el caso de Andalucía y España.

Se puede afirmar que la principal aplicación actual de la biomasa del olivar en su conjunto es la generación de energía eléctrica en plantas de combustión soportadas por un marco normativo que ha primado algunos tipos de producción de energía eléctrica. Según datos de la Agencia Andaluza de la Energía, la potencia total instalada con biomasa en Andalucía se sitúa en 257,5 MW, de los cuales la mayor parte procede del olivar (orujillo en su mayor parte y también restos de poda). En algunas ocasiones, este tipo de plantas forman parte de complejos industriales donde se realizan una serie de procesos en continuo a partir de orujo graso y húmedo, también llamado alperujo, que son los siguientes: deshuesado, repaso o centrifugación mecánica, secado térmico con cogeneración termoeléctrica y extracción de aceite

de orujo de oliva. El subproducto resultante, el orujillo, es la materia prima para las plantas de combustión, en general junto con otros biocombustibles tales como restos de podas de olivar o residuos forestales.

Otro gran porcentaje de la biomasa del olivar es empleado para fines térmicos, como el hueso bruto en almazaras para la generación de agua caliente de proceso (calentamiento de la pasta previa a la extracción de aceite) y calefacción de oficinas y bodegas, o el orujillo en las extractoras para el secado del orujo grasoso y húmedo previo a la extracción química. En el caso de las almazaras, los equipos utilizados suelen ser calderas de agua caliente de potencias medias-altas, las cuales están adaptadas para consumir el hueso con una humedad elevada (40-45 %) y con un elevado contenido en pulpa y finos, lo que hace que el rendimiento energético sea inferior, al mismo tiempo que incrementa las emisiones de partículas a la atmósfera. En el caso de las orujeras, los sistemas empleados para el secado suelen ser los llamados trómeles rotativos que emplean aire caliente generado en un horno, también de no muy elevada eficiencia energética. En algunas industrias, tal y como se ha citado, se utilizan los gases de escape de grupos motogeneradores (cogeneraciones).

La combustión directa de biomasa para la generación de electricidad o su uso térmico no ha generado muchos trabajos de investigación debido a que es una industria bien establecida. El uso del hueso de aceituna como biocombustible para aplicaciones térmicas está bastante extendido en las regiones productoras de aceite de oliva, especialmente en las agroindustrias, las explotaciones ganaderas, los invernaderos y dentro del sistema de calefacción doméstica. La investigación en cuanto al uso de la energía se ha enfocado en la mejora de la generación de metano en procesos de digestión anaeróbica (Siciliano *et al.*, 2016).

Los intentos de producir pellets de madera de olivo se han encontrado con la dificultad del exceso de cenizas que impide al producto cumplir el producto los estándares de calidad (García-Maraver *et al.*, 2012), pudiendo obtenerse un pellet de categoría B según la Norma UNE-EN ISO 17225-2:2014.

Los restos futuros en el ámbito de la biomasa del olivar para fines energéticos pasan por lo siguiente:

- La producción de astilla normalizada para usos finales térmicos a partir de la fracción gruesa o leña de la poda.
- El tratamiento del hueso de aceituna de almazara para la obtención de un biocombustible sólido de calidad.
- La gasificación para autoconsumo en almazara, tanto térmica como eléctrica.
- La obtención de bioproductos, como por ejemplo etanol carburante y otros productos para el sector farmacéutico.

La biomasa disponible en Andalucía se cuantifica en 5,6 millones toneladas, que supondría un potencial de generación de 3,3 millones MWh, por lo que sería posible aumentar todavía más el aprovechamiento energético, especialmente en lo relativo a poda de olivar (Berbel y Delgado-Serrano, 2017).

4.1.2. Biomasa para compostaje y otros

Los residuos procedentes de la almazara se caracterizan por ser fitotóxicos, por lo que no se recomienda su liberación directa al medioambiente (Akratos *et al.*, 2017). La pasta residual de las almazaras de dos fases (llamada generalmente ‘orujo húmedo’, o ‘alperujo’) es un desecho sólido con un fuerte olor y una textura pastosa, lo cual dificulta su tratamiento y transporte. El compostaje de los residuos de las almazaras ha sido foco de una gran atención (Roig *et al.*, 2006). La producción anual de compost de alperujo en Andalucía se estima en unos 100.000 ton/año (Álvarez de la Puente *et al.*, 2010). A pesar del apoyo de la administración, este uso sigue siendo una opción poco establecida. Por una parte, los nutrientes que aporta compiten con los productos de origen químico y los agricultores no valoran suficientemente la componente orgánica del compost por lo que la demanda es reducida. Por otra, existe un problema administrativo, ya que la administración considera al alperujo un residuo en lugar de un co-producto cuando va destinado a este fin, lo que obliga a unos trámites ambientales complejos y costosos.

Otra alternativa al uso energético que se ha analizado en la sección precedente es la conversión de residuos a biocombustibles sólidos (pellets) o líquidos (biodiésel y bioetanol) que aporta un mayor valor en comparación con el uso directo de la energía o el compostaje. Por último, y en relación a los usos de mayor volumen de la pirámide de biomasa (Figura 1), otras investigaciones se han dirigido hacia la conversión de subproductos del olivar en biodiésel con el uso de enzimas (lipasas) (Yücel, 2011 y Calero *et al.*, 2015) o por otros medios (Hernández *et al.*, 2014).

4.2. Usos con alto valor procedentes de la biomasa de la aceituna (compuestos funcionales)

La biomasa de la aceituna como fuente de compuestos bioactivos es una prioridad en la investigación aplicada en este campo. En lo que respecta a la extracción de compuestos valiosos que puedan ser objeto de comercialización en la industria farmacéutica y cosmética, Galanakis y Kotsiou (2017) describen las diferentes tecnologías para la recuperación de compuestos bioactivos a partir del aceite de oliva, procesando subproductos de la aceituna, y sugiere una metodología integral que garantice la sostenibilidad del proceso. La técnica más ampliamente utilizada consiste en la realización de un pretratamiento de la materia inicial y la conversión posterior de la oleuropeína en hidroxitiroso, previa a la extracción de fenoles con disolvente

y/u otras tecnologías. Fernández-Bolaños y colaboradores (2006) resumen el conocimiento actual sobre la utilización de productos residuales con más de noventa referencias que incluyen artículos y patentes, destacando prometedoras aplicaciones futuras. Todos estos trabajos los clasifican en torno a dos opciones: la recuperación de componentes naturales de valor y la bioconversión en productos de valor.

Las aguas residuales procedentes de almazaras son una fuente rica en compuestos bioactivos y fenoles naturales como el hidroxitirosol, el tirosol y la oleuropeína. Estos fenoles son filtros ultravioleta activos usados en cosmética (Galanakis *et al.*, 2018). Un aspecto interesante consiste en la posibilidad de aplicar el principio de ‘uso en cascada’, por el cual solo se hace uso de la energía una vez que los compuestos de valor han sido extraídos. La separación y purificación de estos compuestos de alto valor añadido podría abrir la puerta a futuras investigaciones, dado el efecto inhibitorio que los compuestos fenólicos pueden ejercer sobre la fermentación del azúcar. La eliminación de estos compuestos del extracto acuoso también podría favorecer la producción de etanol procedente de la glucosa presente en la fracción extractiva, aumentando así la producción de biogás o bioetanol (Manzanares *et al.*, 2017).

4.3. Usos con valor medio de la biomasa de la aceituna (alimentación animal)

Como se ha mencionado anteriormente, tanto los usos de alto valor como los de bajo valor en alimentación humana han sido tratados en un número relevante de publicaciones y patentes, mientras que la atención prestada al empleo en la alimentación animal ha sido inferior. El uso de los residuos alimenticios para alimentación animal está bien establecido en algunas industrias, pero los residuos de la aceituna necesitan generalmente algún procesamiento y son más complejos de usar que, por ejemplo, la pulpa de remolacha o la piel de la patata, que son suministradas por sus respectivas industrias y están bien integradas en la industria ganadera.

Los subproductos de la aceituna han sido empleados tradicionalmente por los agricultores de las regiones productoras en el Mediterráneo, sin embargo existen tres barreras que impiden que se lleve a cabo un uso más amplio: a) la biomasa de la aceituna tiene poca proteína asimilable, b) existe cierta presencia de fitoesteroles que pueden tener resultados contraproducentes y c) los subproductos de las almazaras son una buena fuente de energía, sin embargo este alto contenido energético puede reducir la ingesta total de los animales, produciendo también de esta forma otros efectos contraproducentes. Estas características convierten a los subproductos de la aceituna en un buen suplemento para una dieta equilibrada, pero los subproductos con un alto contenido en grasa deben ser limitados a un porcentaje inferior al 10 % (recomendándose generalmente un 5 % de la dieta total).

El subproducto utilizado con más frecuencia en alimentación animal es el orujo de oliva, uno de los dos subproductos principales en la industria de extracción de aceite de oliva. Por cada 100 kg de aceitunas se obtienen 40-80 kg de orujo (altamente variable según la tecnología). El orujo ha sido usado directamente en bajas dosis (5 % de la ingesta total) con

resultados satisfactorios. Nasopoulou y Zabetakis (2013) llevaron a cabo una revisión de la evidencia disponible del uso los subproductos de la aceituna como alimento en acuicultura y ganado, concluyendo en ambos casos que un consumo moderado de orujo por debajo del 12 % de la ingesta no afecta el crecimiento y mejora el perfil de ácidos grasos, disminuyendo la composición de ácidos saturados y aumentando los insaturados, tanto en la carne como en la leche (Rodríguez *et al.*, 2008). En el caso de los rumiantes con una dieta con un contenido de orujo inferior al 10 % de la ingesta total, se consigue una reducción en el coste de alimentación y se mejora la composición de la leche sin efectos negativos en la cantidad producida (Molina-Alcaide *et al.*, 2010).

Existen además otros subproductos de la aceituna a los que se hace referencia en la literatura, como los huesos de aceituna usados para conejos y aves (Perez-Alba *et al.*, 1997; Carraro *et al.*, 2005 y Sanz Sampelayo *et al.*, 2007), o el uso de derivados para las ovejas (Rojas-Cano *et al.*, 2014) y la crianza de cerdo ibérico. Todos estos estudios ponen de manifiesto la modificación del perfil de ácidos grasos hacia una mayor presencia relativa de componentes insaturados frente a los saturados.

4.4. Los subproductos de la cadena del aceite de oliva como suplemento de pienso funcional para mejorar la alimentación humana

Es de todos conocido que, de forma general, una reducción de la grasa saturada en la dieta alimenticia mejora la salud cardiovascular. Así, las recomendaciones y políticas dietéticas se centran con frecuencia en reducir el consumo de ácidos grasos saturados para mejorar la salud cardiometabólica. La leche y los productos lácteos contienen grasas saturadas, y su consumo a menudo conduce a un aumento en el nivel de colesterol en plasma. Las recomendaciones aportadas por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 2016) para la consecución de una dieta saludable señalan la conveniencia de evitar las grasas saturadas en la dieta, incluida la contenida en los productos lácteos. Sin embargo, los meta-análisis llevados a cabo por Elwood y colaboradores (2010) indican una reducción del riesgo de contraer enfermedades vasculares y diabetes en los sujetos con un mayor consumo de lácteos en relación con los que reportan un consumo más bajo.

El concepto de bioeconomía y el uso los subproductos procedentes del aceite de oliva ofrecen la posibilidad de mejorar el perfil de ácidos grasos de la leche mediante la inclusión de fuentes de grasa apropiadas en las dietas de los rumiantes (Berbel y Posadillo, 2018a). Más específicamente, el objetivo es reducir en la leche el contenido de ácidos grasos saturados de cadena media (AGSCM), los cuales tienen un efecto hipercolesterolemiante, y aumentar los ácidos grasos considerados beneficiosos, como los ácidos grasos poliinsaturados de la serie n-3 y el ácido ruménico (*cis*-9, *trans*-11 18: 2) (Lock y Bauman, 2004 y Martínez Marín *et al.*, 2011). La fuente de los ácidos grasos poliinsaturados puede ser tanto en semillas oleaginosas como en el aceite de oliva de baja calidad (aceite lampante) (Castro *et al.*, 2016). Como se ha

indicado en los apartados anteriores, los subproductos de la aceituna pueden ser utilizados como alternativas dentro de la alimentación primaria (granos o pienso), siguiendo los principios de la economía circular y de la bioeconomía.

En cuanto a los rumiantes, las hojas de olivo son fibrosas y con una baja digestibilidad, especialmente en proteína cruda, y promueven una fermentación ruminal muy pobre. De igual forma, se ha observado que en el caso de los animales lactantes, las hojas de olivo presentan un resultado de mejora en la calidad de la grasa de la leche en comparación con las dietas basadas en forrajes convencionales (Molina-Alcaide y Yáñez-Ruiz, 2008).

Hay estudios que demuestran que el uso de orujillo está en línea con lo descrito respecto a la hoja de olivo. La leche de cabra muestra un cambio significativo en su composición cuando se incrementan los niveles de orujillo en la dieta. Un hallazgo común es que los contenidos de grasa y sólidos en la leche, así como su producción, aumentan en una dieta con orujillo, con una reducción en ácidos grasos saturados y un incremento de los monoinsaturados comparados con el control (Molina-Alcaide *et al.*, 2010; Gomes *et al.*, 2015 y Castro *et al.*, 2016). Estos mismos autores coinciden en que la adición de cantidades moderadas de los subproductos de la aceituna a las dietas de cabras lecheras tiene efectos favorables sobre la composición de ácidos grasos de la leche desde el punto de vista del consumidor humano, sin presentar efectos negativos sobre el rendimiento. También se ha demostrado un cambio en el perfil de ácidos grasos en la carne similar al mencionado para la leche, tanto en rumiantes (Molina-Alcaide y Yáñez-Ruiz, 2008; Nasopoulou y Zabetakis, 2013; Castro *et al.*, 2016) como en cerdos ibéricos (Rojas-Cano *et al.*, 2014), y también en pescado (Nasopoulou y Zabetakis, 2013).

Respecto al impacto medioambiental que tendría un aumento en el uso de estos subproductos para la alimentación animal, hemos realizado una estimación preliminar basada en el «Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial (GLEAM_v2)» (FAO, 2017b). Asumiendo una estimación conservadora, y suponiendo que el 10 % de la dieta alimenticia actual para ovejas lecheras fuera sustituida por subproductos de la aceituna, el modelo estima un 8 % de disminución en emisiones de gases de efecto invernadero. Esta estimación es solo preliminar (para ovejas en el sur de Europa) y requiere una verificación más detallada, pero los resultados provisionales indican que existe una contribución a la mitigación del cambio climático gracias al uso de subproductos de la aceituna en la alimentación de animales productores de leche.

5. Discusión y conclusiones

La producción intensiva de productos lácteos en la cuenca mediterránea se basa en gran parte en la importación de ingredientes. El uso de subproductos de la aceituna en la alimentación animal está creciendo (Romero-Huelva *et al.*, 2017), sin embargo, su uso es aún limitado en comparación con los usos en energía y compostaje. Según EUROSTAT, la producción de leche en la UE-28 es de alrededor de 160 millones de toneladas, de los que el 37 % se desti-

na para producir 9,3 millones de toneladas de queso (el consumo per cápita en la UE es de 18,3 kg). En conjunto, la alimentación y los gastos veterinarios representaron 94,5 millones de euros y la UE-28 presenta en general una tasa de autosuficiencia para la alimentación del ganado entre el 58 % y el 71 %. Existe la posibilidad de mejorar esta situación, reduciendo la dependencia externa de materia prima en la UE y aumentando la calidad de los productos de origen animal (principalmente lácteos) mediante el uso de subproductos de la aceituna en las dietas de los rumiantes, en especial en las regiones mediterráneas.

La industria de fabricación de piensos compuestos es un elemento esencial dentro de la cadena de producción de los productos de origen animal. La bioeconomía y la economía circular aspiran a que los operadores en la industria alimentaria aumenten la eficiencia del uso de los recursos, reduciendo las pérdidas tanto como sea posible. Por tanto, hay que fomentar que los fabricantes de alimentos hagan uso de los subproductos del olivar para la alimentación animal, algo que es compatible con el enfoque de una industria olivarera que ha favorecido el uso energético. En la UE-28, el valor de la carne y otros productos de origen animal representó 170.000 millones de euros en el año 2014 (el 42 % del valor total de la producción agraria) y la alimentación animal es el factor más importante del coste de producción ganadera. Los animales de granja en la UE-28 se alimentan con 475 millones de toneladas de pienso y el uso de los subproductos de la aceituna para la alimentación animal, que se ha estimado en alrededor de 13,1 millones de toneladas (restos de poda, hojín, orujo y orujillo), puede contribuir de forma relevante a reducir los costes de alimentación y aumentar la calidad de los productos de origen animal (carne y productos lácteos).

No obstante, a pesar de proponer nuevos usos para estos subproductos y residuos, esto no implica que se abandonen los avances conseguidos con el enfoque de extraer componentes funcionales o en la línea del aprovechamiento energético. Ambas líneas de trabajo se pueden considerar un éxito, ya sea en el ámbito científico como en el empresarial, pero habría que evitar «dormirse en los laureles» de lo que ya ha sido capaz el sector de conseguir, e intentar aumentar el valor del sector en su conjunto.

Este trabajo considera el hecho de que los alimentos consumidos por los animales finalmente determinan la alimentación humana, y que el empleo de la biomasa en usos con bajo valor añadido debe ser el último recurso una vez que se haya empleado la biomasa en usos de alto valor añadido, lo que representaría una mejora sobre la situación actual en el sector del olivar. Sería conveniente llevar a cabo un análisis más amplio que incluya el sector de las aceitunas de mesa y realizar un análisis económico y ambiental a nivel global de la estrategia de valorización de los subproductos de la aceituna.

Agradecimientos

Este trabajo se ha beneficiado de la financiación del proyecto AGL2014-53417-R (MINECO). Parte de este trabajo está basado en la reciente publicación Berbel y Posadillo (2018b). Los

autores agradecen a Cajamar la oportunidad de publicar este trabajo y a Eduarda Molina Alcaide (CSIC-Zaidin) por la información aportada. Todos los datos y opiniones reflejadas en este trabajo pertenecen a los autores.

Referencias bibliográficas

- AKRATOS, C. S.; TEKERLEKOPOULOU, A. G.; VASILIOU, I. A. y VAYENAS, D. V. (2017): «Co-composting of olive mill waste for the production of soil amendments»; en GALANAKIS, C. M., ed.: *Olive mill waste. Recent advances for sustainable management*. Academic Press.
- ALEXANDRATOS, N. y BRUINSMA, J. (2012): *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision*. ESA Working paper Rome, FAO.
- ÁLVAREZ DE LA PUENTE, J. M.; GARCÍA RUIZ, R.; JÁUREGUI ARANA, J. y MARTÍN PÉREZ, A. (2010): «Compostaje de alperujos en Andalucía»; en *Fertilidad de la Tierra: Revista de Agricultura Ecológica* (41); pp. 12-14.
- ASVELD, L.; VAN EST, R. y STEMERDING, D. (2011): *Getting to the core of the bio-economy. A perspective on the sustainable promise of biomass*.
- BERBEL, J. y DELGADO-SERRANO, M. M. (2017): «La bioeconomía del sector del olivar y del aceite de oliva»; en GÓMEZ-LIMÓN, J. A. y PARRAS, M., eds.: *La economía y la comercialización de los aceites de oliva*. Almería, Cajamar Caja Rural.
- BERBEL, J. y POSADILLO, A. (2018a): «Opportunities for the bioeconomy of olive oil by-products»; en *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research* (1, 7).
- BERBEL, J. y POSADILLO, A. (2018b) «Review and analysis of alternatives for the agro-industrial olive oil by-products valorisation»; en *Sustainability* (10, 1); pp. 237
- CALERO, J.; LUNA, D.; SANCHO, E. D.; LUNA, C.; BAUTISTA, F. M. *et al.* (2015): «An overview on glycerol-free processes for the production of renewable liquid biofuels, applicable in diesel engines»; en *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (42, Supplement C); pp. 1437-1452.
- CARRARO, L.; TROCINO, A. y XICCATO, G. (2005): «Dietary supplementation with olive stone meal in growing rabbits»; en *Italian Journal of Animal Science* 4(sup3); pp. 88-90.
- CASTRO, T.; CABEZAS, A.; DE LA FUENTE, J.; ISABEL, B.; MANSO, T. *et al.* (2016): «Animal performance and meat characteristics in steers reared in intensive conditions fed with different vegetable oils»; en *Animal* (10, 3); pp. 520-530.
- COMISIÓN EUROPEA (2015): *Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy*. COM/2015/0614 final. Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.

- CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA-JUNTA DE ANDALUCÍA (2015): *Evaluación de la producción y usos de los subproductos de las agroindustrias del olivar en Andalucía*. Sevilla.
- ELWOOD, P. C.; PICKERING, J. E.; GIVENS, D. I. y GALLACHER, J. E. (2010): «The consumption of milk and dairy foods and the incidence of vascular disease and diabetes: An overview of the evidence»; en *Lipids* (45, 10); pp. 925-939.
- FAO (2017a): *The future of food and agriculture – Trends and challenges*. Rome.
- FAO (2017b): *Global livestock environmental assessment model*. Roma, FAO.
- FERNÁNDEZ-BOLAÑOS, J.; RODRÍGUEZ, G.; RODRÍGUEZ, R.; GUILLÉN, R. y JIMÉNEZ, A. (2006): «Extraction of interesting organic compounds from olive oil waste»; *Grasas y aceites* 57(1); p. 12; <https://doi.org/10.3989/gya.2006.v57.i1.25>.
- GALANAKIS, C. M. y KOTSIU, K. (2017): «Recovery of bioactive compounds from olive mill waste»; en GALANAKIS, C. M., ed.: *Olive mill waste. Recent advances for sustainable management*. Reino Unido, Londres. Academic Press.
- GALANAKIS, C. M.; TSATALAS, P. y GALANAKIS, I. M. (2018): «Implementation of phenols recovered from olive mill wastewater as UV booster in cosmetics»; en *Industrial Crops and Products* (111, Supplement C); pp. 30-37.
- GARCÍA-MARAVÉ, A.; ZAMORANO, M.; RAMOS-RIDAO, A. y DÍAZ, L. F. (2012): «Analysis of olive grove residual biomass potential for electric and thermal energy generation in Andalusia (Spain)»; en *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (16,1); pp. 745-751.
- GOMES, L. C.; ALCALDE, C. R.; SANTOS, G. T.; FEHRMANN, A. C.; MOLINA, B. S. L. *et al.* (2015): «Concentrate with calcium salts of fatty acids increases the concentration of polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy goats»; en *Small Ruminant Research* (124, Supplement C); pp. 81-88.
- HERNÁNDEZ, V.; ROMERO-GARCÍA, J. M.; DÁVILA, J. A.; CASTRO, E. y CARDONA, C. A. (2014): «Techno-economic and environmental assessment of an olive stone based biorefinery»; en *Resources, Conservation and Recycling* (92, Supplement C); pp. 145-150.
- LA CAL, J. A. ed. (2017): *Valorización energética de subproductos del olivar y sus industrias de transformación*. Jaén, Fundación Caja Rural de Jaén.
- LOCK, A. L. y BAUMAN, D. E. (2004): «Modifying milk fat composition of dairy cows to enhance fatty acids beneficial to human health»; en *Lipids* (39, 12); pp. 1197-1206.
- MANZANARES, P.; RUIZ, E.; BALLESTEROS, M.; NEGRO, M. J.; GALLEGO, F. J. *et al.* (2017): «Residual biomass potential in olive tree cultivation and olive oil industry in Spain: valorization proposal in a biorefinery context»; *Spanish Journal of Agricultural research (SJAR)* (15, 3); pp. 1-12.

- MARTÍNEZ MARÍN, A. L.; GÓMEZ-CORTÉS, P.; GÓMEZ CASTRO, A. G.; JUÁREZ, M.; PÉREZ ALBA, L. M. *et al.* (2011): «Animal performance and milk fatty acid profile of dairy goats fed diets with different unsaturated plant oils»; en *Journal of Dairy Science* (94, 11); pp. 5359-5368.
- MCCORMICK, K. y KAUTTO, N. (2013): «The Bioeconomy in Europe: An Overview»; en *Sustainability* (5, 6); pp. 2589.
- MEYER, R. (2017): «Bioeconomy strategies: Contexts, visions, guiding implementation principles and resulting debates»; en *Sustainability* (9, 6); p. 1031.
- MOLINA-ALCAIDE, E.; MORALES-GARCÍA, E. Y.; MARTÍN-GARCÍA, A. I.; BEN SALEM, H.; NEZAOUI, A. *et al.* (2010): «Effects of partial replacement of concentrate with feed blocks on nutrient utilization, microbial N flow, and milk yield and composition in goats»; en *Journal of Dairy Science* (93, 5); pp. 2076-2087.
- MOLINA-ALCAIDE, E. y YÁÑEZ-RUIZ, D. R. (2008): «Potential use of olive by-products in ruminant feeding: A review»; en *Animal Feed Science and Technology* (147, 1); pp. 247-264.
- NASOPOULOU, C. y ZABETAKIS, I. (2013): «Agricultural and aquacultural potential of olive pomace a review»; en *Journal of Agricultural Science* (5, 7); pp. 116-127.
- PÉREZ-ALBA, L. M.; DE SOUZA CAVALCANTI, S.; HERNANDEZ, M. P.; MARÍN, A. M. y MARÍN, G. F. (1997): «Calcium soaps of olive fatty acids in the diets of manchega dairy ewes: Effects on digestibility and production»; en *Journal of Dairy Science* (80, 12); pp. 3316-3324.
- RODRÍGUEZ, G.; LAMA, A.; RODRÍGUEZ, R.; JIMÉNEZ, A.; GUILLÉN, R. *et al.* (2008): «Olive stone an attractive source of bioactive and valuable compounds»; en *Bioresource Technology* (99, 13); pp. 5261-5269.
- ROIG, A.; CAYUELA, M. L. y SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A. (2006): «An overview on olive mill wastes and their valorisation methods»; en *Waste Management* (26, 9); pp. 960-969.
- ROJAS-CANO, M. L.; RUÍZ-GUERRERO, V.; LARA, L.; NIETO, R. y AGUILERA, J. F. (2014): «Digestibility and energy value of diets containing increasing proportions of olive soapstocks for Iberian crossbred pigs»; *Animal Feed Science and Technology* (191, Supplement C); pp. 83-90.
- ROMERO-HUELVA, M.; RAMÍREZ-FENOSA, M. A.; PLANELLES-GONZÁLEZ, R.; GARCÍA-CASADO, P. y MOLINA-ALCAIDE, E. (2017): «Can by-products replace conventional ingredients in concentrate of dairy goat diet?»; en *Journal of Dairy Science* (100, 6); pp. 4500-4512.
- RONZON, T.; KLINKENBERG, M.; LUSSER, M.; LANDA, L.; SÁNCHEZ LÓPEZ, J.; M'BAREK, R.; HADJAMU, G.; BELWARD, A.; CAMIA, A.; CRISTOBAL, J.; PARISI, C.; FERRARI, E.; GIUNTOLI, J.; MARELLI, L.; TORRES DE MATOS, C.; GÓMEZ BARBERO, M.; RODRÍGUEZ CEREZO, E. (2017): *Bioeconomy Report 2016*. Joint Research Centre. Unión Europea.

- SANZ SAMPELAYO, M. R.; CHILLIARD, Y.; SCHMIDELY, P. y BOZA, J. (2007): «Influence of type of diet on the fat constituents of goat and sheep milk»; *Small Ruminant Research* (68, 1); pp. 42-63.
- SICILIANO, A.; STILLITANO, M. y LIMONTI, C. (2016): «Energetic Valorization of Wet Olive Mill Wastes through a Suitable Integrated Treatment: H₂O₂ with Lime and Anaerobic Digestion»; en *Sustainability* (8, 11); pp. 1150.
- USDA (2016). 2015-2020 dietary guidelines: Answers to your questions. *ChooseMyPlate.gov*. Retrieved December 2017; en <https://www.choosemyplate.gov/2015-2020-dietary-guidelines-answers-your-questions>.
- YÜCEL, Y. (2011): «Biodiésel production from pomace oil by using lipase immobilized onto olive pomace»; en *Bioresource Technology* (102, 4); pp. 3977-3980.