



**C3-BIOECONOMY**  
Circular and Sustainable Bioeconomy

## Cuantificación de los recursos biomásicos del sector oleícola en Andalucía: una aproximación actualizada

David Polonio<sup>1</sup>, Anastasio J. Villanueva<sup>2</sup> y José A. Gómez-Limón<sup>3</sup>

---

Autor de Correspondencia: [pg2pobad@uco.es](mailto:pg2pobad@uco.es)

---

### Resumen:

La tendencia creciente de la superficie y la intensificación productiva del olivar en Andalucía ha supuesto un incremento en la generación de subproductos en este sistema agrario. En este contexto, resulta necesario actualizar la cuantificación del volumen de biomasa producido, habida cuenta de la ausencia de estimaciones recientes. Existe una extensa literatura que proporciona diferentes estimaciones de índices de producción de biomasa en el sector, tanto en la fase agrícola como en la industrial. No obstante, las estimaciones basadas en estos trabajos proporcionan resultados muy heterogéneos. El objetivo de este estudio es analizar críticamente las propuestas de cuantificación de los subproductos del olivar y la industria oleícola, identificando cuáles deben tomarse como referencia para una estimación lo más realista posible. Para ello, se analizan las principales publicaciones científicas y se aplican los resultados a los datos medios de las últimas 5 campañas del sector oleícola andaluz. Esto ha permitido cuantificar el potencial biomásico medio del sector del olivar en Andalucía en 2,6 Mt/año en la fase agrícola, 5,4 Mt/año en almazaras, 1,6 Mt/año en extractoras y 0,006 Mt/año en entamadoras. Esta cuantificación resulta útil para soportar la toma de decisiones, públicas y privadas, en relación con el desarrollo de actividades de bioeconomía circular orientadas a la valorización de esta producción.

**Palabras clave:** Biomasa, Subproductos olivar, Alpeorujo, Economía circular, Bioeconomía.

## Measurement of the biomass resources from the olive grove sector in Andalusia: An updated approach

David Polonio<sup>1</sup>, Anastasio J. Villanueva<sup>2</sup> and José A. Gómez-Limón<sup>3</sup>

### Abstract:

The growing trend in olive groves area and intensification of olive farms in Andalusia has led to an increase in the production of olive by-products. In this context, an updated quantification of the

---

<sup>1</sup> Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía (AGAPA) y Grupo WEARE (España), [pg2pobad@uco.es](mailto:pg2pobad@uco.es).

<sup>2</sup> Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA) y Grupo WEARE (España), [anastasioj.villanueva@juntadeandalucia.es](mailto:anastasioj.villanueva@juntadeandalucia.es); <https://orcid.org/0000-0002-1384-8372>.

<sup>3</sup> Universidad de Córdoba y Grupo WEARE (España), [jglimon@uco.es](mailto:jglimon@uco.es); <https://orcid.org/0000-0002-6364-0027>.



volume of these biomass resources is utterly needed, especially considering that recent estimations are lacking. There is an extensive literature that provides different estimates of biomass production rates for this sector, both in the agricultural and industrial phases. However, the estimates based on these studies yield very heterogeneous results. This study aims to critically analyze the proposals for the quantification of by-products in the Andalusian olive sector, identifying which ones should be taken as a reference for a realistic estimation. For this purpose, the main scientific publications are evaluated, and the results are applied to the average data of the last 5 olive growing seasons of the Andalusian olive sector. This has made it possible to quantify the biomass potential of the olive sector in Andalusia at 2,6 Mt per year in the agricultural stage, 5,4 Mt per year in olive mills, 1,6 Mt per year in pomace olive oil extraction industries and 0,006 Mt per year in table olive processing plant. This quantification is useful to support public and private decision-making about the development of circular bioeconomy activities oriented to the valorization of this production.

**Key Words:** Biomass, Olive by-products, Olive pomace, Circular economy, Bioeconomy.

## 1. INTRODUCCIÓN

El sector del olivar y de los aceites de oliva es clave para la economía andaluza. Se trata del principal cultivo a nivel regional, con 1,65 millones de hectáreas (40% de la superficie agraria útil regional), cuya producción anual ronda los 3.500 millones de euros, lo que supone algo más del 30% del valor de la producción vegetal andaluza (CAGPDS, 2019; Analistas Económicos de Andalucía, 2021). La producción media anual de aceite de oliva virgen supera ampliamente el millón de toneladas, suponiendo más de un cuarto de la producción mundial, constituyéndose, así, como la principal región productora a nivel mundial.

La tendencia creciente en la superficie de olivar en Andalucía, con incrementos anuales superiores al 1% en el periodo 1984-2015 (Berbel & Delgado-Serrano, 2017), así como la intensificación de su producción (Guerrero-Casado et al., 2021), ha llevado aparejado un incremento en la generación de subproductos, tanto en la fase agrícola (restos de poda), como industrial (hojín, hueso, orujillo y alpeorujos<sup>4</sup>). En concreto, la producción de estos subproductos excede ampliamente la producción de aceite de oliva, a razón, aproximadamente, de 5 kg de subproductos por kg de aceite producido (AAE, 2011; AGAPA, 2015).

---

<sup>4</sup> En Andalucía predomina ampliamente el sistema de extracción en dos fases (Alburquerque et al., 2004).

La valorización de estos subproductos presenta un elevado potencial de generación de riqueza y empleo, en la medida que la cantidad producida es elevada y con una tendencia creciente, y que existe un escaso desarrollo de las alternativas asociadas a un mayor valor añadido, prevaleciendo actualmente aquellas situadas en la base de la "pirámide de valor" de la biomasa, especialmente las relacionadas con el aprovechamiento energético (Berbel & Posadillo, 2018).

A pesar de este potencial de valorización, no existe consenso en la literatura sobre la cuantificación de los subproductos del olivar valorizables en Andalucía. En efecto, si bien ha habido varias propuestas en lo que respecta tanto a la fase agrícola (SODEAN, 2003; Terrados & Sánchez, 2003; AAE, 2013; Manzanares et al., 2017); como a la fase industrial (Cruz-Peragón et al., 2006; AGAPA, 2015; Manzanares et al., 2017), se observa una gran disparidad en la estimación de los recursos biomásicos. Sirva como ejemplo las estimaciones realizadas en la fase agrícola a partir de SODEAN (2003) y Terrados y Sánchez (2003), siendo las segundas prácticamente el doble de las primeras. Estas discrepancias justifican la necesidad de hacer el análisis crítico de las estimaciones de los subproductos realizados hasta la fecha en este sector, especialmente de cara a identificar las limitaciones derivadas de las metodologías seguidas y de los datos empleados. Así, el análisis propuesto pretende servir para identificar de forma específica aquellos parámetros que requieren de una mejor evaluación, de cara a poder realizar estimaciones más precisas sobre la disponibilidad de subproductos del olivar. De esta forma, a través de una estimación robusta de los volúmenes producidos de estos subproductos se podría apoyar de manera más adecuada la toma de decisiones para la implementación de instrumentos de política que fomenten de manera eficiente el desarrollo del conjunto de las actividades de bioeconomía circular en el sector oleícola.

Por ello, el objetivo principal de este estudio es analizar críticamente las propuestas de cuantificación de los subproductos del olivar e industria oleícola,

de cara a identificar cuáles ofrecen estimaciones más precisas y, por lo tanto, deben tomarse como referencia para una estimación rigurosa del potencial biomásico del sector. Si bien el estudio se centra en Andalucía, el interés del trabajo excede de este ámbito geográfico, ya que la mayor parte de los resultados obtenidos pueden extrapolarse a otras regiones productoras.

Para alcanzar el objetivo general, se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Analizar críticamente las principales publicaciones científicas relacionadas con la cuantificación de los subproductos procedentes del sector del olivar.
- Aplicar sus propuestas metodológicas a los datos medios de las últimas 5 campañas del sector oleícola andaluz, comparando las estimaciones resultantes.
- Determinar cuáles de ellas se adaptan mejor a las características andaluzas y realizar recomendaciones para la mejora en las estimaciones del potencial biomásico del sector.

## 2. MÉTODO

La metodología empleada en este trabajo se basa en la revisión bibliográfica de las principales propuestas de cuantificación de los recursos biomásicos producidos en la fases agrícola e industrial, y su aplicación para las últimas cinco campañas. De esta manera, seguidamente se exponen los antecedentes de estimación de producción de recursos biomásicos en la fase agrícola – centrándonos fundamentalmente en la producción de restos de poda– y en la fase industrial. Esta sección aborda asimismo la descripción de los datos utilizados para la cuantificación de los subproductos en ambas fases para el caso de Andalucía.

## 2.1 Antecedentes en la cuantificación de biomasa residual procedente de la poda de olivar

En la literatura científica son varias las publicaciones que abordan la producción de biomasa residual procedente de la poda de olivar<sup>5</sup> como consecuencia de su importancia, tanto a nivel de volumen residual, como por su valor energético. En esta línea se observan dos tipos de trabajos, los que emplean metodologías más directas o menos elaboradas, como Civantos (1981), Terrados y Sánchez (2003), SODEAN (2003), Vera et al. (2014) o Manzanares et al. (2017), y otras que presentan metodologías más elaboradas, entre las que cabe destacar los trabajos de Spinelli y Picchi (2010), AAE (2011) y Velázquez-Martí et al. (2011).

Civantos (1981) propuso las siguientes expresiones para cuantificar los restos de poda de olivar:

$$y_1=0,88x + 4,76 \quad y_2=0,74x - 6,48$$

donde,  $y_1$  es el peso de los ramones obtenidos en la poda bienal del olivo,  $y_2$  es el peso de la leña obtenida en la poda bienal del olivo, ambas medidas en kg por olivo y año, y  $x$  es la producción media anual de aceituna, medida igualmente en kg por olivo y año. En este trabajo no se aporta ningún tipo de información agronómica sobre la metodología seguida para la obtención de estas fórmulas las cuales, además, son para poda bienal, lo que no representa a la totalidad del olivar andaluz. A pesar de ello, éstas han sido referenciadas en diversos estudios posteriores, como los de Medina y Hernandez (2006) y Berbel y Delgado-Serrano (2017).

Terrados y Sánchez (2003) evalúan el potencial biomásico de los residuos de la poda de olivar, distinguiendo entre superficie aprovechable y no aprovechable<sup>6</sup>; y entre biomasa procedente del ramón de poda (fracción fina, por debajo de 10-15 cm de diámetro) y biomasa procedente de la leña de

---

<sup>5</sup> En la fase agrícola no se ha considerado la producción de otros potenciales subproductos, como por ejemplo los relativos a las cubiertas vegetales, dado que se recomienda la permanencia de la biomasa seca en el propio suelo (Gómez & Giráldez, 2009).

<sup>6</sup> Aquella que por sus características no presenta condiciones de rentabilidad para su aprovechamiento como residuo.

poda (fracción gruesa). En la Tabla 1 se pueden consultar los parámetros propuestos por estos autores.

Tabla 1. Indicadores de producción de biomasa procedente de restos de poda (en t/ha ·año).

Comarca	Residuo ramón	Residuo leña	Residuo total
S <sup>o</sup> Morena	2,05	1,13	3,18
El Condado	1,72	0,91	2,63
S <sup>o</sup> de Segura	1,60	0,71	2,30
Campiña del Norte	2,03	1,13	3,16
La Loma	2,19	1,25	3,44
Campiña del Sur	1,87	1,04	2,91
S <sup>o</sup> Mágina	1,88	0,91	2,79
S <sup>o</sup> de Cazorra	1,88	0,93	2,80
S <sup>o</sup> Sur	1,94	0,99	2,93
Total, Jaén	1,96	1,06	3,02

Fuente: Terrados y Sánchez (2003)

Este trabajo no cuantifica toda la biomasa procedente del olivar, sino solo aquella cuyo aprovechamiento puede ser rentable a juicio de los autores, dejando fuera (en el caso de Jaén) el 26% de la superficie.

Por otro lado, SODEAN (2003) propone unos índices de producción de biomasa por hectárea de cultivo de olivar, diferenciando entre seco y regadío y, en cada caso, para olivar intensivo y extensivo (ver Tabla 2). En el estudio no se aporta información sobre las plantaciones muestreadas, ni tampoco sobre aspectos agronómicos del olivar analizado, como la variedad, edad de la plantación, marco, rendimiento, etc.; cuya diferenciación permitiría una mejor aplicación a nivel andaluz.

Tabla 2. Indicadores de producción de biomasa procedente de restos de poda (en t/ha ·año).

Tipo de olivar	Secano	Regadío
Intensivo	1,710	1,713
Extensivo	1,446	1,712

Fuente: SODEAN (2003)

Vera et al. (2014) analizan la viabilidad y rentabilidad de una planta generadora de energía eléctrica y térmica instalada en una almazara de Úbeda (Jaén). En la publicación se aporta un índice de producción de restos

de poda entre 2,5 y 3,0 t/ha·año, sin tener en cuenta aspectos como la pendiente, la variedad o el tipo de cultivo (secano/regadío) (ver Tabla 3).

Tabla 3. Indicadores de producción de biomasa procedente de restos de poda (en t/ha·año).

Prod. biomasa mínima	Prod. biomasa máxima
2,5	3,0

Fuente: Vera et al. (2014)

Por último, Manzanares et al. (2017) aporta índices de producción de biomasa en las principales comunidades autónomas españolas productoras de aceites de oliva (Andalucía, Castilla-La Mancha, Extremadura y Cataluña) para olivar en secano y en regadío, diferenciando si la pendiente es mayor o menor del 10% (ver Tabla 4). Su aplicación se realiza para olivares con pendiente inferior al 20%, lo que dejaría fuera al 30% de la superficie andaluza de olivar (CAPDS, 2015)

Tabla 4. Indicadores de producción de biomasa procedente de restos de poda (en t/ha·año).

Tipo de olivar	Secano	Regadío
Pendiente<10%	1,6	1,7
Pendiente>10%	1,4	1,6

Fuente: Manzanares et al. (2017)

Entre las publicaciones con metodologías más elaboradas, Spinelli y Picchi (2010) analizan 7 parcelas de olivar en la zona de Palenciana (Córdoba). El objetivo del trabajo es la evaluación técnico-económica de dos tipos de maquinaria de triturado y recogida de restos de poda, aportándose información de cantidad de biomasa generada por hectárea. Se debe indicar que el trabajo, al no perseguir la cuantificación directa de la biomasa, sino el comportamiento de la maquinaria de recolección de restos de poda, no diferencia entre variedades de olivo, ni se evalúan parcelas con pendientes superiores al 10%, lo que excluye aproximadamente a dos terceras partes del olivar andaluz (CAPDS, 2015). Así, solo se muestran datos medios de cuantificación de restos de poda, tanto seca como húmeda, por unidad de superficie (ha) y unidad productiva (árbol).

Tabla 5. Indicadores de producción de biomasa procedentes de restos de poda.

Indicador	Parcela							Media
	1	2	3	4	5	6	7	
Marco de plantación	9×7	14×14	14×14	14×14	14×14	10×9	7×5	
Superficie (ha)	6,57	1,61	7,04	8,61	12,9	10,2	18,44	9,72
Biomasa húmeda (t/ha ·año)	1,613	1,988	7,031	2,067	1,767	1,078	1,236	1,63
Humedad (%)	25	35	35	26	30	27	26	28
Biomasa seca (t/ha ·año)	1,210	1,292	4,570	1,530	1,237	787	915	1,16

Nota: los datos de la parcela 3 no son tenidos en cuenta, ya que no se trató de una poda, sino de la sustitución de una plantación.

Fuente: Spinelli y Picchi (2010)

La Agencia Andaluza de la Energía (AAE, 2011) aporta unos índices máximos, mínimos y medios de producción de biomasa procedente de restos de poda de olivar, distinguiendo entre seco y regadío (ver Tabla 6). Sin embargo, no se aporta información sobre aspectos agronómicos, ni se especifican los niveles de producción de los olivares analizados. Asimismo, aunque los indicadores se han obtenido a partir de experiencias de campo de la propia Agencia, no se aporta información sobre la localización y procedimiento de la toma de muestras realizada.

Tabla 6. Indicadores de producción de biomasa procedente de restos de poda (en t/ha ·año).

	Secano	Regadío
Olivar de poca producción	0,6726	0,7859
Olivar de producción media	1,7701	2,0682
Olivar de mucha producción	2,4250	2,8334

Fuente: AAE (2011)

Por último, el estudio más exhaustivo encontrado sobre la producción de restos de poda en olivar es el realizado por Velázquez-Martí et al. (2011). Estos autores analizan la poda de más de 2.100 olivos, considerando las siguientes variables agronómicas: variedad, marco de plantación, rendimiento, edad, tipo de poda, intensidad de poda y regadío/secano (ver Tabla 7). El estudio se realizó en una selección de parcelas distribuidas geográficamente en Cataluña, Valencia, Murcia, Albacete y Andalucía, cuantificándose en ellas la cantidad de biomasa producida por árbol y por hectárea para cada una de las variedades estudiadas. Igualmente, se analizó la influencia de distintas variables



agronómicas en la producción anual de biomasa, obteniéndose diferencias estadísticamente significativas respecto de la variedad, edad de la plantación, rendimiento y régimen (regadío/secano). De lo mostrado en la Tabla 7 se puede extraer una media ponderada de la biomasa húmeda con hojas y seca sin hojas y para la poda anual de 2,31 y 1,31 t/ha ·año, respectivamente.

Tabla 7. Indicadores de producción de biomasa procedente de restos de poda (en t/ha ·año).

Tipo de poda	Variedad	Biomasa húmeda con hojas (t/ha año)	Biomasa seca sin hojas (t/ha año)
Anual	Arbequina	3,303	1,003
	Blanqueta	5,101	1,549
	Cornicabra	1,940	0,589
	Frantoio	2,384	0,724
	Grossal	1,222	0,371
	Manzanilla	6,751	2,05
	Picual	4,337	1,317
	Royal	1,439	0,437
	Serrana	9,345	2,838
	Villalonga	5,072	1,54
Bienal	Cornicabra	4,547	1,381
	Farga	9,829	2,985
	Manzanilla	11,624	3,53
	Marons	15,114	4,59
	Morrat	9,707	2,948
	Regne's	5,687	1,727
	Royal	4,310	1,309

Fuente: Velázquez-Martí et al. (2011)

Este trabajo contempla un amplio abanico de variedades agronómicas, sin embargo, al no estar hecho íntegramente en Andalucía, de las 10 variedades analizadas para poda anual, tan solo 3 se encuentran entre las 15 principales variedades andaluzas, lo que deja fuera el 34% de la superficie andaluza.

Finalmente, ninguno de los trabajos analiza el sistema de olivar de aceituna de mesa<sup>7</sup>, cuyas condiciones específicas de cultivo y variedades

<sup>7</sup> Tan solo Velázquez-Martí et al. (2011) considera en su estudio algunas variedades que en Andalucía producen aceituna de mesa, como la manzanilla, pero no considera otras relevantes como gordal u hojiblanca. Tampoco se indica si la recogida de datos se realizó en olivares destinados a aceituna de mesa (lo cual puede presentar relevancia por el diferente manejo de la poda).

hacen que posea unos índices de generación de biomasa específicos y diferentes a los del olivar para aceite.

## **2.2 Antecedentes en la cuantificación de la biomasa residual procedente de la industria oleícola**

Antes de mostrar las aproximaciones a la estimación de biomasa residual procedente de la industria oleícola, conviene aclarar los subproductos biomásicos generados en la producción de aceite de oliva virgen, los cuales son:

- Hojín: restos de hojas y ramas que se generan en la limpieza de la aceituna en las almazaras, aunque también se genera en las entamadoras. Sus principales usos son el compostaje, la incorporación directa al suelo como enmienda orgánica y la alimentación ganadera (AGAPA, 2015).
- Hueso de aceituna: se extrae en la gran mayoría de las almazaras y se utiliza como combustible en la caldera de biomasa.
- Alpeorujo/alperujo u orujo graso húmedo: es el subproducto mayoritario que se genera como consecuencia de la obtención de aceite de oliva virgen. El alpeorujo puede ser considerado un subproducto intermedio, ya que su principal uso es la obtención de aceite de orujo en las extractoras a través de procedimientos físicos y/o químicos; o un subproducto final, ya que se puede realizar compostaje con él (AGAPA, 2015).

Los subproductos biomásicos generados en las extractoras son:

- Hueso de aceituna: se extrae mediante un procedimiento físico previo a la obtención del aceite de orujo de oliva. Su principal uso es el autoconsumo térmico en las propias extractoras.
- Orujillo: es el subproducto generado tras la obtención de aceite de orujo por procedimientos físicos y químicos. Sus aprovechamientos son: la generación de la energía térmica necesaria para el secado del alpeorujo (en aquellas extractoras que no disponen de cogeneración); la

generación de energía eléctrica y, en algunos casos, la extracción de componentes de alto valor.

La producción de estos subproductos depende del tipo de empresa extractora y de los procesos de extracción que se realicen en ella (CAP, 2010).

Las publicaciones científicas que abordan la cuantificación de la biomasa residual procedente de la industria oleícola, al igual que ocurría con la biomasa de la fase agrícola, muestran una importante heterogeneidad en los índices aportados. A continuación, se analizan las principales publicaciones organizadas en dos grupos, donde se documentan los indicadores mostrados en la Tabla 8.

Un primer grupo está compuesto por los trabajos de Cruz-Peragón et al. (2006), AAE (2013), Vera et al. (2014), Romero-García et al. (2014) y García et al. (2020). Todos tienen la característica común de no indicar la metodología para la obtención de los índices, de no analizar los restos de hojín en las entamadoras (y dos de ellos tampoco en las almazaras); y, en los casos de Romero-García et al. (2014) y García et al. (2020), de mostrar solo la información en un gráfico de balance.

El segundo grupo es el compuesto por los estudios realizados por CAP (2010), AAE (2011), AGAPA (2015) y Manzanares et al. (2017). CAP (2010) y AGAPA (2015) son dos trabajos elaborados por la administración andaluza, basados en una encuesta a una muestra de almazaras, extractoras y entamadoras<sup>8</sup>. En ambos trabajos se aportan indicadores para hojín (tanto en almazaras como en entamadoras), hueso (en almazaras y extractoras), alpeorujo y orujillo. A pesar de utilizar métodos de estimación similares, metodológicamente difieren respecto a los cálculos en relación con el orujillo.

Tabla 8. Indicadores de producción de biomasa en la fase industrial.

Unidad	Almazaras		Hojín	Entamadoras	Extractoras	
	Alpeorujo	Hueso		Hojín	Hueso	Orujillo

<sup>8</sup> En CAP (2010) se obtiene la información a través de encuestas al 26% de las almazaras, el 88% de las extractoras y el 39% de las entamadoras en Andalucía, mientras que en AGAPA (2015) estos porcentajes son del 15% en almazaras, el 29% en extractoras y el 32% en entamadoras.

Cruz-Peragón et al. (2006)	(1)	0,773						
	(2)					0,11		0,285
CAP (2010)	(1)	0,819	0,05	0,09	0,018			
	(2)					0,045		Balance
AAE (2011)	(3)	3,21	0,57	0,38				
AAE (2013)	(1)	0,73				0,083		0,197
Romero-García et al. (2014)	(1)	0,8						
	(2)					0,2		0,13
Vera et al. (2014)	(1)	0,625	0,095	0,09				
AGAPA (2015)	(1)	0,805	0,081	0,094	0,017			
	(2)					0,077 <sup>9</sup>		Balance
Manzanares et al. (2017)	(1)			0,066				
	(2)							0,25
García et al. (2020)	(1)	0,83				0,22		
	(2)							0,25

Nota sobre las unidades: (1) (t biomasa/t aceituna); (2) (t biomasa/t alpeorujo); (3) (t biomasa/t aceite).  
Fuente: Elaboración propia a partir de las diferentes publicaciones.

En el trabajo de la AAE (2011) también se realiza una encuesta a 192 almazaras (el 22,5% del total) y 13 entamadoras (el 5% del total), aportándose indicadores de producción de hueso, alpeorujo y hojín en almazaras y solo hueso en entamadoras.

Manzanares et al. (2017) cuantifican el hojín y el orujillo producido en las almazaras a partir de una encuesta a 230 almazaras (el 17% del total) repartidas entre Andalucía, Castilla-La Mancha, Extremadura y Cataluña; mientras que para obtener el índice de producción de orujillo se encuestó al total de empresas extractoras de estas Comunidades Autónomas (N=69). Cabe señalar que en el cálculo del orujillo, Manzanares et al. (2017) y AGAPA (2015) siguen metodologías diferentes; mientras que en el segundo trabajo la cantidad de orujillo se obtiene por balance de masas, en el primero se obtienen unos indicadores de producción de orujillo en función del alpeorujo que entra en la extractora.

La aplicación de los resultados de estos trabajos a Andalucía se ve limitada por la disparidad en los mismos. Así, la producción de orujillo en extractoras se mueve en un rango entre 0,13 y 0,29 t de biomasa por t de

<sup>9</sup> Solo el 24% de las extractoras producen hueso (AGAPA, 2015).

alpeorujo, y la producción de hueso en almazaras entre 0,05 y 0,11 t de biomasa por t de aceituna.

### **2.3. Datos para la estimación biomásica del sector del olivar andaluz**

Para la elaboración de este estudio, se han recopilado los datos a nivel provincial de superficie, producción y rendimiento, tanto para olivar de almazara como para olivar de mesa, y según secano y regadío, para las campañas 2015/16 a 2019/20, a partir de anuarios publicados por la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía. De esta fuente se han obtenido, igualmente, datos sobre producciones de aceituna aderezada, aceite de oliva virgen y aceite de orujo de oliva.

Otros datos relacionados con la distribución superficial de algunas variables clave se han obtenido de CAPDS (2015). En concreto, la distribución de superficie de olivar para las distintas tipologías<sup>10</sup> y para las diferentes orientaciones productivas (almazara, mesa y mixtas), según variedad y según estratos de pendiente, así como la densidad de plantación provincial según orientaciones productivas. Los datos de orujo graso húmedo, orujo graso seco, aceite de orujo de extracción física y aceite de orujo de extracción química proceden del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA).

Finalmente, debe señalarse que, ante la falta de índices de producción de biomasa específicos para el olivar destinado a aceituna de mesa en la fase agrícola, se han aplicado a este tipo de olivar los mismos índices que al olivar destinado a aceite, como mejor aproximación disponible.

---

<sup>10</sup> Olivar de bajo rendimiento, olivar de alta pendiente, olivar extensivo de densidad menor de 150 árboles/ha, olivar extensivo de densidad media, olivar intensivo y olivar superintensivo; con desglose según secano/regadío.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1. Fase agrícola**

La Tabla 9 muestra las estimaciones de biomasa en la fase agrícola para cada una de las provincias andaluzas, así como para el conjunto de la Comunidad Autónoma, considerando para ello las propuestas metodológicas de los trabajos comentados previamente, incluyendo olivar de mesa y de almazara, tomando como referencia los datos medios del sector para el período 2015/16-2019/20. Como puede observarse, existe una gran disparidad de resultados. A nivel andaluz los resultados se mueven en un rango entre 1,7 y 6,0 Mt (i.e. ratio de 3,4 valor máximo/valor mínimo), con un dato medio de 3,7 Mt y una desviación típica de 1,4. A nivel provincial, Sevilla muestra una horquilla mayor, con un mínimo de 0,3 y un máximo de 0,9 Mt; aunque la mayor dispersión de datos la muestra Huelva, con un coeficiente de variación de 0,5.

#### **3.2. Fase industrial**

Análogamente, la Tabla 10 muestra las estimaciones de producción de alpeorujo, hueso y hojín procedentes de las almazaras; de orujillo y hueso procedente de las extractoras; y de hojín procedente de las industrias entamadoras; elaboradas todas ellas a partir de las propuestas metodológicas indicadas en apartados anteriores. El análisis de la Tabla 10 pone de manifiesto que, aun existiendo disparidad de resultados al aplicar los índices de las diversas publicaciones, ésta es menor que en el caso de la biomasa agrícola.

##### *3.2.1 Alpeorujo*

Los resultados obtenidos en el caso del alpeorujo se encuentran entre 3,4 y 4,5 Mt anuales, con una media de 4,1 y una desviación típica de 0,4 Mt/año (véase Tabla 10 y Tabla 11). Esta variabilidad se reduce drásticamente para 6 de los 8 estudios analizados, mostrando resultados entre 4,0 y 4,5 Mt/año.

Tabla 9. Producción media anual de biomasa procedente de restos de poda de olivar para las campañas 2015/16–2019/20 (t/año).

Provincia	Civantos (1981)	SODEAN (2003)	Terrados y Sánchez (2003)	Spinelli y Picchi (2010)	AAE (2011)	Velázquez-Martí et al. (2011)	Vera et al. (2014)	Manzanares et al. (2017)	Media	Desv. típica	Coef de variación
Almería	56.917	29.571	57.609	31.025	41.197	71.076	52.501	21.159	45.132	16.021	0,35
Cádiz	43.040	39.866	77.667	41.827	46.160	95.831	70.780	26.681	55.232	21.952	0,40
Córdoba	1.151.523	531.808	1.036.064	557.970	658.409	1.278.054	944.194	360.288	814.789	310.397	0,38
Granada	404.523	316.888	617.360	332.478	381.597	761.750	562.617	217.681	449.362	169.605	0,38
Huelva	34.091	50.334	98.061	52.811	22.525	120.678	89.366	35.939	62.976	33.018	0,52
Jaén	1.808.979	936.745	1.824.961	982.828	1.145.398	2.251.794	1.663.137	650.110	1.407.994	519.367	0,37
Málaga	309.453	210.565	410.221	220.923	257.350	505.584	373.845	144.929	304.109	111.769	0,37
Sevilla	729.309	365.834	712.716	383.831	405.363	872.750	649.518	289.189	551.064	200.986	0,36
Andalucía	4.537.835	2.481.611	4.834.659	2.603.694	2.957.999	5.957.518	4.405.957	1.745.976	3.690.656	1.352.711	0,37

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Producción media anual de biomasa procedente de la industria oleícola para las campañas 2015/16 – 2019/20 (t/año).

Industria	Sub-producto	Cruz-Peragón et al. (2006)	CAP (2010)	AAE (2011)	AAE (2013)	Romero-García et al. (2014)	Vera et al. (2014)	AGAPA (2015)	Manzanares et al. (2017)	García et al. (2020)
Almazara	Alpeorajo	4.240.192	4.491.938	3.514.294	4.003.803	4.387.729	3.427.914	4.415.153		4.524.846
	Hueso		286.930	624.033			521.043	444.258		
	Hojín		513.858	416.022			493.620	515.558	361.439	
Extractora	Orujillo	1.208.455	1.818.961		1.080.478	771.869		2.080.031	1.484.363	1.497.970
	Hueso	634.565	268.967		455.227	1.187.490		108.353		1.206.626
Entamadora	Hojín		6.189					5.874		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Producción máxima, mínima y media anual de biomasa procedente del sector oleícola para las campañas 2015/16 – 2019/20 (t/año).

Fase	Sub-producto	Máximo	Mínimo	Media	Desv. Típica	Coef de variación
Agrícola	Restos poda	5.957.518	1.745.976	3.690.656	1.352.711	0,37
	Alpeorujo	4.524.846	3.427.914	4.125.733	408.439	0,10
Almazara	Hueso	624.033	286.930	469.066	122.989	0,26
	Hojín	515.558	361.439	460.099	61.263	0,13
Extractora	Orujillo	2.080.031	1.080.478	1.528.376	340.242	0,22
	Hueso	1.206.626	108.353	643.538	423.324	0,66
Entamadora	Hojín	6.189	5.874	6.032	157	0,03

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2 Hueso

Las estimaciones de producción de hueso<sup>1</sup> realizadas para las 5 campañas consideradas muestran igualmente una gran disparidad. En almazara los resultados se mueven entre 0,3 y 0,6 Mt/año con una media de 0,5 y una desviación típica de 0,1 Mt/año; mientras que en extractora el rango es mayor, entre 0,1 y 1,2 Mt/año, con una media de 0,6 y una desviación típica de 0,4 Mt/año.

### 3.2.3 Hojín

En las almazaras los resultados son bastante homogéneos, moviéndose en un rango entre 0,4 y 0,5 Mt/año, con una media de 0,46 y una desviación típica de 0,06 Mt/año. En el caso del hojín en entamadoras, aplicando las únicas dos propuestas de cálculo disponibles, se obtienen valores muy parecidos, en torno a 0,006 Mt/año.

### 3.2.4 Orujillo

Respecto al subproducto principal de las extractoras, el orujillo, cabe apuntar que la estimación obtenida a partir de Romero-García et al. (2014) se ha considerado anormalmente reducida, por lo que se ha decidido ignorar en el análisis. Si se excluye este resultado, las estimaciones de producción de este

<sup>1</sup> Los datos de producción de hueso hacen referencia al hueso total producido en las almazaras, sin detraer la parte que posteriormente autoconsume.



subproducto se encontrarían entre 1,1 y 2,1 Mt/año con una media de 1,5 y una desviación típica de 0,3 Mt/año.

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1 Biomasa residual procedente de la poda de olivar

En los resultados de las distintas propuestas analizadas existe una elevada heterogeneidad. Por ejemplo, dentro del grupo de publicaciones con metodologías menos elaboradas, Terrados y Sánchez (2003) y Vera et al. (2014) aportan índices de producción de biomasa entre 2,5 y 3,0 t/ha ·año; mientras que los resultados de SODEAN (2003) y Manzanares et al. (2017) se encuentran entre 1,4 y 1,7 t/ha ·año.

Por otro lado, Terrados y Sánchez (2003) y Civantos (1981) son los dos únicos estudios que establecen indicadores parciales de residuo de ramón y residuo de leña, lo que contrasta con los trabajos de SODEAN (2003) y Manzanares et al. (2017), en los que se distingue entre secano y regadío, el primero incorporando la diferenciación entre intensivo y extensivo, y el segundo incluyendo la pendiente como elemento diferenciador (mayor o menor del 10%). Es decir, en general, no hay homogeneidad en el establecimiento de los criterios agronómicos relevantes para la obtención de los índices.

El grupo de publicaciones con metodología más detallada (Spinelli & Picchi, 2010; AAE, 2011; Velázquez-Martí et al., 2011) también muestra disparidad de resultados, seguramente derivadas de las diferencias metodológicas existentes. Spinelli y Picchi (2010) aportan un indicador medio de producción de biomasa de 1,6 t/ha ·año, sin establecer diferenciaciones; la AAE (2011) diferencia entre secano y regadío y distintas intensidades productivas, con resultados entre 0,7 y 2,8 t/ha ·año; y, finalmente, Velázquez-Martí et al. (2011) aporta datos entre 1,2 y 9,3 t/ha ·año, dependiendo de la variedad.

En cualquier caso, para el conjunto de propuestas metodológicas, independientemente de su complejidad, se observan tres grupos de propuestas según cantidades estimadas; por un lado, Manzanares et al. (2017), SODEAN (2003) y Spinelli y Picchi (2010), todos ellos en un rango entre 1,4 y 1,7 t/ha ·año; por otro lado, Terrados y Sánchez (2003) y Vera et al. (2014), que se sitúan en unas estimaciones más elevadas, entre 2,5 y 3,0 t/ha ·año; y, finalmente, las propuestas de (AAE, 2011) y Velázquez-Martí et al. (2011), cuyos resultados se distribuyen entre los dos rangos anteriores.

También es reseñable la diferencia entre la biomasa producida por el olivar intensivo en regadío del trabajo de SODEAN (2003) (1,7 t/ha ·año) y la del olivar de mucha producción en regadío del trabajo de la AAE (2011) (2,8 t/ha ·año).

La metodología expuesta por Velázquez-Martí et al. (2011) se podría considerar adecuada para obtener la biomasa agrícola. Sin embargo, la existencia de información solo para 3 de las principales variedades andaluzas y que el resultado a nivel andaluz sea el mayor de todos los calculados (6 Mt/año), recomienda tener cautela en su aplicación.

Finalmente, los índices aportados por Spinelli y Picchi (2010) parecen los más razonables: son el resultado de experiencias de campo detalladas y son similares a los resultados de otros autores como AAE (2011) o SODEAN (2003). Sin embargo, los ensayos de campo se realizaron solo en explotaciones con pendiente inferior al 10%. A pesar de ello, de los índices analizados, parece que los aportados por estos autores deberían servir como referencia principal para la estimación de subproductos de olivar en la fase agrícola.

#### **4.2 Biomasa residual procedente de la industria oleícola**

Existen diferencias en los trabajos analizados en cuanto al tipo de recursos biomásicos considerados (alpeorujo, hueso, hojín u orujillo) y el número de industrias analizadas (almazaras, extractoras o entamadoras).

Así, AAE (2011) y Vera et al. (2014) solo analizan las almazaras, aunque de una forma bastante completa. Cruz-Peragón et al. (2006), AAE (Agencia Andaluza de la Energía) (2013), Romero-García et al. (2014) y García et al. (2020) abordan el estudio de las almazaras y las extractoras, pero en las primeras la información de los subproductos no es completa. Finalmente CAP (2010) y AGAPA (2015), analizan, además de las almazaras y extractoras, las entamadoras, aportando información sobre todos los subproductos.

#### 4.2.1 Alpeorujo

En este apartado los índices de las diferentes publicaciones se encuentran en una horquilla entre 0,6 y 0,8 t/t de aceituna. Sin embargo, las 6 publicaciones que muestran más homogeneidad aportan resultados entre 0,7 y 0,8 t/t de aceituna. Así, el índice aportado por AGAPA (2015) (0,8 t/t de aceituna) se puede considerar el más adecuado para estimar la producción de alpeorujo, debido a su mayor actualidad y representatividad.

#### 4.2.2 Hueso

Los resultados para este subproducto se deben de analizar en función de cómo se han obtenido los índices en las diferentes publicaciones. Un primer grupo formado por (AAE, 2011) y Vera et al. (2014) ha considerado que todo el hueso se produce en las almazaras, aportando índices similares cuya aplicación muestra una producción de hueso entre 0,6 y 0,5 Mt/año. Un segundo grupo en el que se encuentran los trabajos de (Cruz-Peragón et al., 2006), (AAE, 2013), Romero-García et al. (2014) y García et al. (2020), consideran que todo el hueso se produce en las extractoras, obteniendo resultados muy heterogéneos entre 0,5 y 1,2 Mt/año. Finalmente, un tercer grupo formado por CAP (2010) y AGAPA (2015) analiza tanto el hueso que se produce en almazara, como el que se produce en las extractoras, obteniéndose en ambos trabajos, un montante total de hueso de aceituna de 0,5 Mt/año.

Los resultados totales de la producción de hueso de aceituna (producido tanto en almazara como en extractora) se encuentran entre 0,5 y 1,2 Mt/año. Sin embargo, si se eliminan del análisis los datos aportados por Romero-García et al. (2014) y García et al. (2020), dada la excesiva divergencia respecto del resto de trabajos (seguramente por presentar metodologías menos elaboradas), los resultados muestran bastante homogeneidad, encontrándose las estimaciones en un rango entre 0,5 y 0,6 Mt/año, con una media de 0,6 y una desviación típica menor de 0,1 Mt/año.

De todos estos últimos trabajos, se considera que los aportados por aquellos estudios que tienen en cuenta la extracción de hueso en almazara, esto es, CAP (2010) y AGAPA (2015), deberían servir como referencia para el cálculo de este subproducto.

#### 4.2.3 Hojín

En este subproducto de las almazaras existe cierta homogeneidad de resultados, con índices que se encuentran entre 0,07 y 0,09 t/t de aceituna. El índice aportado en el trabajo de CAP (2010) se puede considerar el más adecuado para calcular la producción andaluza de hojín, al ser el que está elaborado con una encuesta de mayor representatividad (el 26% de las almazaras andaluzas).

En cuanto a la producción de hojín en entamadoras, los resultados de CAP (2010) y AGAPA (2015) son similares, aproximadamente 6.000 t/año. Ambos índices se pueden considerar adecuados para este tipo de subproducto, si bien se recomienda el uso de CAP (2010) por ser el estudio con la muestra más elevada (el 39% de las entamadoras andaluzas).

#### 4.2.4 Orujillo

Analizados los diferentes enfoques metodológicos de AGAPA (2015) y Manzanares et al. (2017), este último se considera el más adecuado, dada su completa representatividad de las industrias extractoras que producen orujillo

en las principales comunidades autónomas productoras de aceite. No obstante, hubiera sido deseable que el resultado se diese a nivel regional y no solo agrupado a nivel nacional.

### 4.3 Potencial biomásico del sector del olivar andaluz

La selección de los trabajos que aportan los mejores resultados supone la cuantificación actualizada más realista del potencial biomásico de Andalucía, obteniéndose un resultado de 2,6 Mt/año en la fase agrícola, 5,4 Mt/año en almazaras, 1,6 Mt/año en extractoras y 0,006 Mt/año en entamadoras.

Tabla 12. Potencial biomásico del sector del olivar en Andalucía (t/año) en la fase agrícola y en almazara

Fase	Subproducto	Biomasa(t/año)
Agrícola	Restos de poda	2.603.694
Almazara	Alpeorujo	4.415.153
	Hueso*	444.258
	Hojín	513.858
Total		5.373.268

\* Incluye hueso autoconsumido en almazaras, que supone el 19% del total (AGAPA, 2015).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Potencial biomásico del sector del olivar en Andalucía (t/año) en extractoras y entamadoras

Fase	Subproducto	Biomasa(t/año)
Extractora	Orujillo	1.484.363
	Hueso*	108.353
Total		1.592.716

Fase	Subproducto	Biomasa(t/año)
Entamadora	Hojín	6.189

\* Incluye hueso autoconsumido en almazaras, que supone el 19% del total (AGAPA, 2015).

Fuente: Elaboración propia.

## 5. CONCLUSIONES

El análisis de los diferentes trabajos científicos que abordan la cuantificación de la biomasa procedente del olivar y su aplicación a los datos medios de las campañas oleícolas 2015/16-2019/20, pone de manifiesto una elevada disparidad de resultados en función de la propuesta metodológica utilizada para dicha cuantificación.

En el caso de la biomasa procedente de la poda del olivar, y ante los resultados expuestos, se concluye que el trabajo realizado por Spinelli y Picchi (2010) es la mejor referencia de entre las disponibles para el cálculo de esta biomasa. Así, la cuantificación más realista en Andalucía para este tipo de biomasa se cuantifica en 2,6 Mt/año.

A pesar de ello, parece obvio que la cuantificación de los restos de poda del olivar representa un ámbito de conocimiento todavía abierto a investigación, especialmente en lo que respecta a aportar datos de campo que permitan realizar una estimación más precisa y concluyente.

Como recomendación para mejorar los indicadores actuales, se deberían seguir los pasos metodológicos de Velázquez-Martí et al. (2011) aplicados solo a la poda anual, pero con las siguientes consideraciones:

- En el análisis se deberían incluir las principales variedades andaluzas para olivar de mesa y de almazara expuestas en el plan director del olivar (CAPDS, 2015).
- Se deberían obtener índices de producción de biomasa para explotaciones en plena producción, con distintos estratos de pendiente, según secano/regadío, diferentes densidades de plantación y técnicas de producción (convencional, integrado y ecológico), asegurándose en todo caso una distribución espacial representativa de los contextos productivos que caracterizan al olivar andaluz.

- Los índices de producción de biomasa deberían distinguir entre la fracción fina o “ramón” (por debajo de 10-15 cm de diámetro) y, la fracción gruesa o “leña” (que presenta un diámetro superior).

En el caso de la biomasa industrial, los trabajos que se pueden considerar más adecuados para estimar los subproductos del olivar son: para el alpeorujo, los indicadores propuestos por AGAPA (2015), para el hueso los trabajos de CAP (2010) y AGAPA (2015); para el hojín, los indicadores propuestos por CAP (2010); y para el orujillo los resultados de Manzanares et al. (2017).

Así, la mejor cuantificación de la biomasa procedente de la industria oleícola andaluza alcanzaría los valores de 5,4 Mt/año en almazaras, 1,6 Mt/año en extractoras y 0,006 Mt/año en entamadoras.

A pesar de ello, las diferencias metodológicas y disparidad de resultados nos llevan a plantear la necesidad de abordar trabajos con las siguientes características:

- en el caso del alpeorujo, aplicaciones de mayor actualidad y cuya muestra represente un porcentaje elevado de la producción;
- en cuanto al hueso, que cuantifiquen su producción, tanto en almazaras (al alza en los últimos años) como en extractoras y en entamadoras (en estas últimas la revisión bibliográfica no ha aportado ningún resultado que permita cuantificar la producción de hueso);
- finalmente, para el orujillo, trabajos cuyo indicador sea el resultado de encuestas a nivel andaluz.

Las especificaciones tecnológicas deberían ser tenidas en cuenta al abordar nuevos trabajos, no tanto en almazaras (la gran mayoría trabajan con el sistema de dos fases), como en extractoras, donde los procesos pueden ser más diversos.

Teniendo en cuenta el análisis realizado, se concluye que la mejor cuantificación de los subproductos biomásicos procedentes del olivar andaluz se cifra en 8 Mt/año a la salida de las almazaras (considerando el alpeorujo como un subproducto final y finalizando la cadena de valor del aceite de oliva en las almazaras) o en 5,2 Mt/año considerando el alpeorujo como un subproducto intermedio que es destinado íntegramente a la obtención de aceite de orujo en las extractoras. Estas cuantías incluyen los subproductos de la fase agraria, que presentan aprovechamientos especialmente relacionados con la conservación del suelo, a través de picado y esparcido de los restos de poda, y de energía térmica, siendo una parte quemados en la propia explotación. Asimismo, debe apuntarse que estas cuantías se refieren a biomasa con cierto contenido de humedad, de manera que habría que realizar la estimación posterior de biomasa seca (que es la proporción que se aprovecha en la mayoría de los casos).

Esta información se considera clave para el desarrollo de actividades de bioeconomía circular en la región. Asimismo, del análisis se deriva igualmente la necesidad de información a nivel regional para poder estimar los subproductos del sector oleícola, dadas las especificidades de los sistemas de cultivo e industriales de cada región. En efecto, en este trabajo se ha contado con el caso de estudio de Andalucía, posiblemente uno de los que más información disponible presenta, si bien los resultados se antojan extrapolables a regiones con características parecidas (predominio de sistema de dos fases, condiciones edafoclimáticas parecidas, etc.). Sin embargo, a pesar de haberse estudiado la producción de subproductos de olivar de forma extensa en esta región, parece evidente la necesidad de aportar estimaciones de recursos biomásicos a nivel regional más actuales, precisas y con mayor rigor metodológico.



## REFERENCIAS

- AAE (AGENCIA ANDALUZA DE LA ENERGÍA). (2011). *Potencial de biomasa en Andalucía. Metodología*. Sevilla: Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo, Junta de Andalucía.
- AAE (AGENCIA ANDALUZA DE LA ENERGÍA). (2013). *La biomasa en Andalucía*. Sevilla: Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo, Junta de Andalucía.
- AGAPA (AGENCIA DE GESTIÓN AGRARIA Y PESQUERA DE ANDALUCÍA). (2015). *Evaluación de la producción y usos de los subproductos de las agroindustrias del olivar en Andalucía*. Sevilla: Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Junta de Andalucía. doi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14921.39520>.
- ALBURQUERQUE, J. A., GONZÁLVEZ, J., GARCÍA, D., & CEGARRA, J. (2004). Agrochemical characterisation of “alperujo”, a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Bioresource Technology*, 91(2), 195-200. doi: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00177-9](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00177-9).
- ANALISTAS ECONÓMICOS DE ANDALUCÍA. (2021). *El sector agrario en Andalucía 2020*. Málaga: Unicaja.
- BERBEL, J., & DELGADO-SERRANO, M. M. (2017). La economía y la bioeconomía en el sector del olivar y del aceite. En J. A. Gómez-Limón & M. Parras Rosa (Eds.), *Economía y comercialización de los aceites de oliva. Factores y perspectivas para el liderazgo español del mercado global* (pp. 397-412). Almería: Cajamar.

- BERBEL, J., & POSADILLO, A. (2018). Review and analysis of alternatives for the valorisation of agro-industrial olive oil by-products. *Sustainability*, 10(1), 237. doi: <https://doi.org/10.3390/su10010237>.
- CAGPDS (CONSEJERÍA DE AGRICULTURA GANADERÍA PESCA Y DESARROLLO SOSTENIBLE). (2019). *Anuario 2019*. Sevilla: Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, Junta de Andalucía.
- CAP (CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA). (2010). *Potencial energético de los subproductos de la industria olivarera en Andalucía*. Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía.
- CAPDS (CONSEJERÍA DE AGRICULTURA PESCA Y DESARROLLO SOSTENIBLE). (2015). *Plan director del olivar*. Sevilla: Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Sostenible, Junta de Andalucía.
- CIVANTOS, L. (1981). Aprovechamiento de ramones y leña en el olivar. *Agricultura: Revista Agropecuaria y Ganadera*, 585, 180-181.
- CRUZ-PERAGÓN, F., PALOMAR, J. M., & ORTEGA, A. (2006). Ciclo energético integral del sector oleícola en la provincia de Jaén (España). *Grasas y Aceites*, 57(2), 219-228. doi: <https://doi.org/10.3989/gya.2006.v57.i2>.
- GARCÍA, J. F., CUEVAS, M., FENG, C., MATEOS, P., TORRES, M., & SÁNCHEZ, S. (2020). Energetic valorisation of olive biomass: Olive-tree pruning, olive stones and pomaces. *Processes*, 8(5), 511. doi: <https://doi.org/10.3390/pr8050511>.
- GÓMEZ, J. A., & GIRÁLDEZ, J. V. (2009). Erosión y degradación de suelos. En J. A. Gómez (Ed.), *Sostenibilidad de la producción de olivar en Andalucía* (pp. 68-125). Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía.
- GUERRERO-CASADO, J., CARPIO, A. J., TORTOSA, F. S., & VILLANUEVA, A. J. (2021). Environmental challenges of intensive woody crops: The case of super

high-density olive groves. *Science of The Total Environment*, 798, 149212.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149212>.

MANZANARES, P., RUIZ, E., BALLESTEROS, M., NEGRO, M. J., GALLEGO, F. J., LÓPEZ, J. C., & CASTRO, E. (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*, 15(3), e0206.  
doi: <https://doi.org/10.5424/sjar/2017153-10868>.

MEDINA, M. A., & HERNANDEZ, J. C. (2006). La biomasa procedente de las podas del olivar en Mágina. *Sumuntán*, 23, 89-108.

ROMERO-GARCÍA, J. M., NIÑO, L., MARTÍNEZ-PATIÑO, C., ÁLVAREZ, C., CASTRO, E., & NEGRO, M. J. (2014). Biorefinery based on olive biomass. State of the art and future trends. *Bioresource Technology*, 159, 421-432. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.03.062>.

SODEAN (SOCIEDAD PARA EL DESARROLLO ENERGÉTICO DE ANDALUCÍA). (2003). *Potencial y aprovechamiento energético de la biomasa del olivar en Andalucía*. Sevilla: SODEAN.

SPINELLI, R., & PICCHI, G. (2010). Industrial harvesting of olive tree pruning residue for energy biomass. *Bioresource Technology*, 101(2), 730-735. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.039>.

TERRADOS, J., & SÁNCHEZ, F. J. (2003). Recursos biomásicos del olivar: Un modelo logístico para su aprovechamiento. En Asociación Española de Ingeniería de Proyectos (Ed.), *Actas del VII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos* (pp. 1282-1290). Pamplona: Universidad Pública de Navarra.

VELÁZQUEZ-MARTÍ, B., FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, E., LÓPEZ-CORTÉS, I., & SALAZAR-HERNÁNDEZ, D. M. (2011). Quantification of the residual biomass obtained



from pruning of trees in Mediterranean olive groves. *Biomass and Bioenergy*, 35(7), 3208-3217. doi:

<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.04.042>.

VERA, D., JURADO, F., MARGARITIS, N., & GRAMMELIS, P. (2014). Experimental and economic study of a gasification plant fuelled with olive industry wastes. *Energy for Sustainable Development*, 23, 247-257. doi:

<https://doi.org/10.1016/j.esd.2014.09.011>.