



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

DISEÑO DE UNA RED LOGÍSTICA PARA LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE LA PODA DEL OLIVAR

Alumno: Antonio José González Roldán

Tutor: D. José Antonio La Cal Herrera

**Dpto: Organización de Empresas, Marketing y
Sociología**

Abril, 2020



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Empresas, Marketing y Sociología

Don JOSÉ ANTONIO LA CAL HERRERA , tutor del Trabajo Fin de Grado titulado:
DISEÑO DE UNA RED LOGÍSTICA PARA LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE LA
PODA DEL OLIVAR, que presenta ANTONIO JOSÉ GONZÁLEZ ROLDÁN, autoriza
su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de
Jaén.

Jaén, ABRIL de 2020

El alumno:

ANTONIO JOSÉ GONZÁLEZ ROLDÁN

El tutor:

LA CAL HERRERA
JOSE ANTONIO -
52533303S

Firmado digitalmente por
LA CAL HERRERA JOSE
ANTONIO - 52533303S
Fecha: 2020.04.12 17:40:48
+02'00'

Fdo.: José Antonio La Cal Herrera

JOSÉ ANTONIO LA CAL HERRERA

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
1. INTRODUCCIÓN	7
2. ANTECEDENTES	9
3. OBJETIVOS.....	10
4. LA PODA DEL OLIVAR	11
4.1. Operaciones de la fase de poda.....	15
4.1.1. Maquinaria disponible	16
4.2. Costes de la poda del olivar	19
4.3. Destinos y aplicaciones de los restos de poda del olivar	21
4.3.1. Eliminación de los restos de poda	22
4.3.1.1. Quema controlada o incineración.....	22
4.3.1.2. Fragmentación mecánica y aporte al terreno	24
4.3.2. Aprovechamiento energético de los restos de poda	25
4.3.2.1. Plantas transformadoras de biomasa del olivar.....	26
4.3.2.2. Ventajas e inconvenientes del aprovechamiento energético.....	28
5. LOGÍSTICA DE LA BIOMASA RESIDUAL DEL OLIVAR EN ANDALUCÍA	28
5.1. Estimación de la producción de biomasa y potencial energético procedente de la poda del olivar	32
5.2. Alternativas de valorización energética en la almazara.....	34
5.2.1. Estudio económico en el municipio de Castillo de Locubín	35
6. CONCLUSIONES	40
Bibliografía.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Potencial energético del olivar en Andalucía (Manso Ramírez, 2010)</i>	9
Figura 2: <i>Gráfico que muestra la variación del contenido medio en aceite y del peso medio de la aceituna según la posición que ésta ocupa en el olivo (Junta de Andalucía, 2006)</i>	13
Figura 3: <i>Con el mismo volumen de copa por árbol, son preferibles las formas lobuladas, con entrantes y salientes (B) que las formas esféricas (A) a las que tiende el olivo de forma natural (Junta de Andalucía, 2006)</i>	14
Figura 4: <i>Operación de poda del olivar (La Cal Herrera J. A., 2017)</i>	15
Figura 5: <i>Tractor con hileradora para el olivar (Rastrillos hileradores de restos de poda)</i>	16
Figura 6: <i>Astilladora de alimentación manual (La Cal Herrera J. A., 2012)</i>	17
Figura 7: <i>Astilladora de alimentación automática (Manso Ramírez, 2010)</i>	17
Figura 8: <i>Astilladora fija para planta transformadora (Ostargi, Energías alternativas)</i>	18
Figura 9: <i>Molino para planta transformadora (Ostargi, Energías alternativas)</i>	18
Figura 10: <i>Tractor con empacadora (Manso Ramírez, 2010)</i>	19
Figura 11: <i>Resumen de horas dedicadas a la poda, eliminación de restos y desvareto en función del sistema de cultivo del olivar (AEMO, Asociación Española de Municipios del Olivo, 2012)</i>	20
Figura 12: <i>Costes de poda por hectárea en función del sistema de cultivo del olivar (AEMO, Asociación Española de Municipios del Olivo, 2012)</i>	20
Figura 13: <i>Costes de eliminación de restos de poda en función del sistema de cultivo del olivar (AEMO, Asociación Española de Municipios del Olivo, 2012)</i>	20
Figura 14: <i>Costes de desvareto en función del sistema de cultivo del olivar (AEMO, Asociación Española de Municipios del Olivo, 2012)</i>	20
Figura 15: <i>Resumen de los costes totales generados por la poda en función del sistema de cultivo del olivar (AEMO, Asociación Española de Municipios del Olivo, 2012)</i>	21
Figura 16: <i>Desglose de costes llevados a cabo en el olivar en función del sistema de cultivo (AEMO, Asociación Española de Municipios del Olivo, 2012)</i>	21
Figura 17: <i>Quema de restos de poda en olivar de montaña (González, 2012)</i>	24
Figura 18: <i>Triturado de los restos de poda en el campo (Maquituls, 2018)</i>	24

Figura 19: Astilla estandarizada de leña de olivo (Mercacei, 2019).....	26
Figura 20: Distribución municipal de las plantas transformadoras andaluzas de biomasa de olivar (Agencia Andaluza de la Energía)	27
Figura 21: Ventajas e inconvenientes del uso energético de los restos de poda del olivar	28
Figura 22: Distribución municipal de la superficie de olivar en Andalucía en función del porcentaje que representa respecto a la Superficie Agraria Útil (SAU) (SIGPAC, Junta de Andalucía)	29
Figura 23: Densidad energética superficial procedente del olivar (Consejería de Agricultura y Pesca, 2008).....	31
Figura 24: Potencial de producción de biomasa residual procedente del olivar (Consejería de Agricultura y Pesca, 2008)	31
Figura 25: Balance de masas de una hectárea de olivar (La Cal Herrera J. A.).....	32
Figura 26: Distribución municipal de las almazaras andaluzas (Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, 2015).....	34
Figura 27: Porcentaje de superficie de olivar por municipios (Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, 2015).....	35
Figura 28: S.C.A. San Isidro (Castillo de Locubín)	36
Figura 29: Proceso de transformación de la fracción fina o ramón.....	37
Figura 30: Proceso de transformación de la fracción gruesa o leña.....	37
Figura 31: Astilladora móvil de tambor con cuchillas (Astilladoras y trituradoras de biomasa).....	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Plantas andaluzas transformadoras de biomasa del olivar en 2014 (Agencia Andaluza de la Energía)</i>	27
Tabla 2: <i>Distribución provincial de la superficie de olivar andaluz (2018) (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación)</i>	30
Tabla 3: <i>Potencial de biomasa y energético de los restos de las podas de olivar en Andalucía y en la provincia de Jaén</i>	33
Tabla 4: <i>Resumen de precios</i>	39
Tabla 5: <i>Resumen de ingresos y gastos</i>	39
Tabla 6: <i>Resumen de cobros y pagos para un horizonte temporal de 5 años</i>	40
Tabla 7: <i>Resumen de la rentabilidad de la inversión</i>	40

1. INTRODUCCIÓN

Andalucía es una de las principales regiones productoras de aceite de oliva y aceitunas de mesa a nivel mundial. El cultivo del olivar, con aproximadamente 1.600.000 hectáreas, es el principal cultivo de la región, representando cerca de la mitad de la superficie cultivada. En concreto, en la comunidad andaluza se genera en torno al 30% del aceite de oliva y el 20% de la aceituna de mesa del mundo. (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación)

La importante actividad del sector oleícola tiene como consecuencia la generación de una cantidad elevada de subproductos. Estos subproductos poseen actualmente una amplia variedad de usos, entre los que se incluyen, la alimentación animal, la incorporación como materia orgánica al suelo (compost) y la producción de bioenergía. (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo, 2015)

El proceso de transformación de la aceituna y la valorización de los subproductos generados por ésta, pueden inscribirse en la actualidad como partes de un mismo ciclo integral de aprovechamiento. Esta situación, que simboliza un modelo de producción más sostenible, ha sido resultado de la sucesiva evolución que ha experimentado el sector del olivar en los últimos años. De esta manera, el olivar andaluz ha ido progresivamente ampliando su función tradicional alimentaria hasta convertirse en la actualidad en proveedor de otros productos de alto valor añadido, como por ejemplo, recursos energéticos. (Consejería de Agricultura y Pesca, 2010)

Los subproductos derivados de la actividad agraria constituyen una de las fuentes de biomasa con mayor potencial de desarrollo para uso energético. Su valorización energética conlleva además importantes beneficios medioambientales, económicos y sociales. En primer lugar, implica la reducción o eliminación de unos residuos que en muchos casos son contaminantes, así como la disminución del riesgo de incendios provocado por la quema descontrolada. En segundo lugar, disminuye los costes derivados de su gestión, e incluso, en algunos casos, se convierte en un recurso al generar unos ingresos adicionales para sus productores. Por último, y no por ello menos importante, el acopio y gestión de la biomasa genera

un elevado número de empleos, especialmente en las zonas rurales, fijando así su población. (Consejería de Agricultura y Pesca, 2008)

Andalucía lidera el uso de la biomasa como fuente de energía renovable a nivel nacional, tanto en aplicaciones térmicas como en aplicaciones eléctricas. Este liderazgo ha sido impulsado en gran medida, gracias al aprovechamiento de los subproductos de la agroindustria del olivar, y es consecuencia de la importancia que tiene este sector en dicha comunidad autónoma.

Como la gran mayoría de las energías renovables, la biomasa, y en concreto la biomasa residual agrícola, es una fuente de energía que aparece dispersa por todo el territorio andaluz. Su aprovechamiento en las mismas instalaciones donde se produce requiere de cantidades suficientes para que su valorización energética resulte técnica y económicamente rentable, lo cual no siempre es sencillo.

La dispersión territorial que caracteriza a la biomasa, genera importantes costes de logística de aprovisionamiento, constituyendo éste uno de los principales obstáculos para su desarrollo. La necesidad de que las instalaciones de valorización energética tengan garantizado el suministro a lo largo de su vida útil, junto con el condicionante de los costes, justifica una adecuada evaluación y caracterización de la distribución geográfica de este recurso que contemple su evolución en el tiempo. A través de los análisis que incidan en este aspecto, se puede facilitar la toma de decisiones a la hora de ubicar las instalaciones, centralizar la recogida de biomasa, o incluso crear un sistema de logística de aprovisionamiento a gran escala (Consejería de Agricultura y Pesca, 2008). Resulta fundamental por tanto, la realización de análisis que aborden esta fuente de energía desde una perspectiva espacial, para que sirvan de base a la hora de determinar la localización óptima de las industrias de transformación.

En Andalucía, uno de los subproductos agrícolas más importantes en términos cuantitativos son los restos de poda del olivar (véase Figura 1). Como alternativa al procedimiento habitual de incineración en los propios campos de cultivo o de la trituración y posterior esparcimiento de éstos, es necesaria la extracción de la biomasa de los mismos y su posterior valorización energética. En este Trabajo de Fin de Grado se analizarán los factores que limitan actualmente la

utilización de la biomasa procedente de la poda del olivar desde los puntos de vista técnico y económico, considerando diversos escenarios posibles.

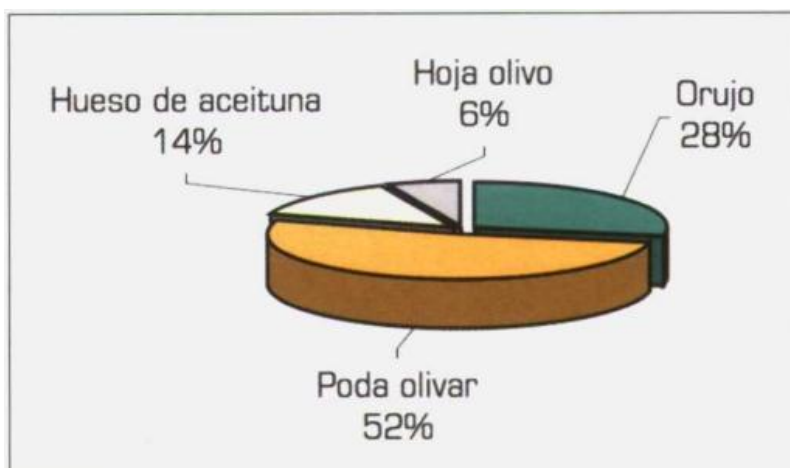


Figura 1: Potencial energético del olivar en Andalucía (Manso Ramírez, 2010)

2. ANTECEDENTES

La promoción de las energías renovables como estrategia de lucha contra el cambio climático y como modo de disminuir la dependencia energética de los combustibles fósiles, constituye uno de los objetivos prioritarios de las políticas energéticas y medioambientales nacionales e internacionales.

Este Trabajo de Fin de Grado forma parte de las medidas que se contemplan en el Plan de Acción para el Impulso de la Producción y el Uso de la Biomasa Agraria en Andalucía, que la Consejería de Agricultura y Pesca puso en marcha en 2006 con el objetivo de proponer, describir y poner en marcha las actuaciones necesarias para fomentar el uso energético de la biomasa agraria en Andalucía. A su vez, el citado Plan, constituye una de las medidas del Programa de Mitigación del Plan Andaluz de Acción por el Clima 2007-2012 (PAAC) en el ámbito de las energías renovables. (Consejería de Agricultura y Pesca, 2008)

Una de las Líneas Estratégicas recogidas en el Plan Director del Olivar (Decreto 103/2015, de 10 de marzo) es la denominada “*Potenciar la dimensión medioambiental en la industria del olivar*”, entre cuyas actuaciones se encuentra la siguiente: “*Valorizar los subproductos obtenidos en las industrias del olivar e*

incentivar medidas para la reutilización y/o comercialización de los mismos".
(Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, 2015)

Dentro de la línea de fomento de energías renovables, el citado Plan hace referencia a lo siguiente: *"El cultivo del olivo y la producción de sus industrias son fuente de una serie de subproductos que, mediante el empleo de una tecnología adecuada, pueden utilizarse para obtener tanto energía térmica, como eléctrica"*.

A nivel europeo, la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables establece que para el año 2020 la cuota de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de energía final en España debe ser del 20%.

A nivel de Andalucía, la planificación energética elaborada por la Agencia Andaluza de la Energía, entidad dependiente de la Consejería de Empleo, Empresa y Comercio propone, en la llamada Estratégica Energética Andalucía 2020, cinco objetivos a 2020 que permitirán a Andalucía ocupar una situación de referencia energética entre las regiones europeas (Agencia Andaluza de la energía):

- Reducir un 25% el consumo tendencial de energía primaria.
- Aportar con energías renovables el 25% del consumo final bruto de energía.
- Descarbonizar en un 30% el consumo de energía respecto al valor de 2007.
- Autoconsumir el 5% de la energía eléctrica generada con fuentes renovables.
- Mejorar un 15% la calidad del suministro energético.

En todos estos instrumentos de fomento de las energías renovables en general, y de la biomasa en particular, el peso del olivar es más que significativo, siendo el motor actual de la mayor parte de las plantas de generación de energía eléctrica alimentadas con biomasa en Andalucía.

3. OBJETIVOS

El análisis territorial de la producción de biomasa es clave para caracterizar esta fuente de energía de elevada dispersión superficial, así como para determinar las localizaciones óptimas de las instalaciones que la aprovechen, de forma que se minimicen los costes de logística de aprovisionamiento, una de las barreras más

importantes que comprometen el desarrollo de esta fuente de energía. (Consejería de Agricultura y Pesca, 2008)

Dicho lo anterior, el objetivo principal del estudio que se presenta consiste en estimar y evaluar el potencial de producción de biomasa procedente de la poda de olivar y determinar su potencial energético en Andalucía. Una vez halladas las localizaciones óptimas, se estudiará la almazara como centro logístico que minimice los costes de aprovisionamiento y se procederá a su valorización económica.

Como objetivos de carácter específico se incluyen:

- Elaborar una metodología de estimación de la producción de restos de podas del olivar.
- Estimar la cantidad de restos de poda del olivar generados y su potencial energético en la comunidad andaluza.
- Conocer la distribución espacial de este potencial energético en Andalucía.
- Identificar las zonas con mayor densidad energética superficial dedicadas al cultivo del olivo en Andalucía.
- Conocer los destinos y aplicaciones actuales de este subproducto del olivar.
- Estudiar el papel de la almazara para el desarrollo de la biomasa residual agrícola procedente del olivar en la comarca jienense.

Para lograr los objetivos propuestos, se ha tomado ayuda de una metodología basada en Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permite estimar el potencial energético, y al mismo tiempo, representar geográficamente la densidad energética superficial de la biomasa residual. De esta forma, es posible identificar las zonas de mayor concentración de biomasa, delimitando su distribución y su impacto territorial. (SIGPAC, Junta de Andalucía)

4. LA PODA DEL OLIVAR

La biomasa procedente de la poda del olivar, resulta de la operación que se aplica a los árboles tras la recolección de la aceituna, para contribuir a mantener las copas de los olivos perfectamente aireadas e iluminadas. La poda es una operación necesaria si se quiere mantener el equilibrio entre las funciones vegetativas y

reproductivas del olivo, haciendo compatible la máxima producción, la plena vitalidad, y retardando su decadencia, vejez y muerte. (La Cal Herrera J. A., 2017)

En general, se entiende por poda la serie de operaciones realizadas sobre los árboles por las que se modifica la forma natural de su vegetación, vigorizando o restringiendo el desarrollo de las ramas con el fin de darles forma, conseguir la máxima productividad o incluso restaurar o renovar parte o la totalidad del árbol. (Moya López, 2013)

Así pues, podemos decir que los principios fundamentales de la poda son (Nogales, 2018):

- Mantener el equilibrio entre hoja y raíz.
- Conseguir que la relación hoja/madera sea la mayor posible.
- Sustituir las ramas envejecidas por otras jóvenes, renovando así la masa foliar del olivo.
- Prevenir la solarización del tronco y ramas principales, evitando así quemaduras y otros daños irreversibles.
- Aclarar y limpiar de ramón y ramas jóvenes para fomentar la iluminación y aireación de la masa foliar y aumentar así su eficiencia productiva.
- Adaptar la intensidad de la poda a la variedad de olivo, marco de plantación, condiciones climáticas y tipo de suelo.

En España, la poda del olivar suele comenzar una vez finalizada la recolección de la aceituna, correspondiendo a los meses de febrero, marzo y abril. En el caso de olivar de almazara, se trata de una operación bianual, mientras que en el caso de olivar de aceituna de mesa se trata de una operación anual.

En cuanto a las modalidades de poda del olivar, podemos diferenciar entre la poda de formación, de producción, de renovación y de regeneración. En todos los casos se recomienda realizarlas antes del movimiento de savia, mejorando así la cicatrización y evitando en gran medida posibles afecciones fitopatológicas. (Nogales, 2018)

De las diferentes modalidades de poda existentes, la que interesa, desde el punto de vista de subproductos es la poda de producción. La poda de producción, llevada a cabo una vez concluida la fase de formación de los olivos, es realizada

cuando estos mantienen una relación hoja-madera alta. Tiene por objetivo aumentar la cantidad de radiación solar captada en el interior y en la zona externa de la copa, aumentando así las cosechas y mejorando la calidad de los frutos producidos, facilitando también las operaciones de recolección manual de las aceitunas (véase Figura 2). También tiene por finalidad, extender al máximo el periodo productivo del olivo, al término del cual se llevará a cabo la denominada poda de renovación o rejuvenecimiento. (La Cal Herrera J. A., 2017)

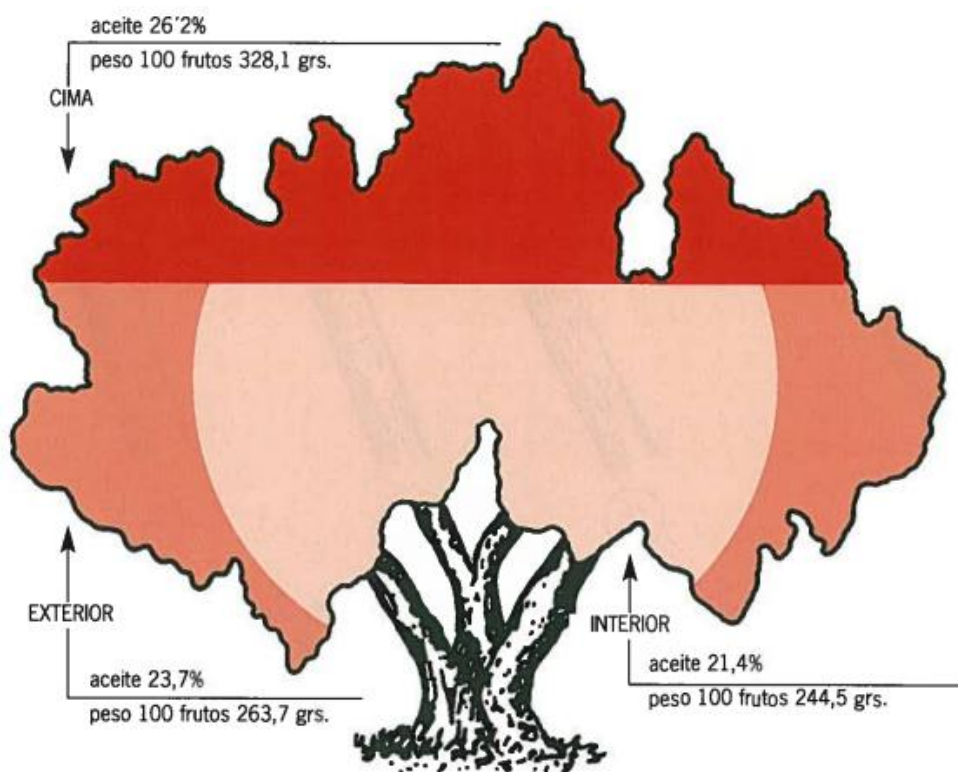


Figura 2: Gráfico que muestra la variación del contenido medio en aceite y del peso medio de la aceituna según la posición que ésta ocupa en el olivo (Junta de Andalucía, 2006)

Es de gran importancia que los olivos alcancen cuanto antes el volumen de copa óptimo productivo, momento en el que se obtienen las máximas cosechas y de mayor calidad. (Nogales, 2018)

Si se supera este volumen de copa óptimo, el déficit hídrico estival se puede agravar, lo que acarreará:

- Mayor alternancia de producción.
- Disminución de la producción media de la plantación.
- Peor calidad y rendimiento graso de las aceitunas.
- En casos extremos, se pueden reducir drásticamente las producciones.

Los cortes de la poda de producción deben tender a eliminar ramas completas, suprimiendo los llamados chupones grandes que tienden a dominar y arruinar vegetativamente la rama sobre la que ha brotado, absorbiendo gran cantidad de savia y sombreando además las ramas inferiores. No es conveniente eliminar todos los chupones, sino que se deben dejar los más débiles o las brotaciones poco vigorosas situadas en el interior del árbol para sombrear las maderas que conforman el esqueleto del olivo. Las ramas bajas, con deficiente iluminación o que dificultan la realización de ciertas operaciones se deben suprimir o acortar. Este tipo de ramas son las que producen los frutos de peor calidad y además, cuando se mecaniza la recolección, en ellas se transmite mal la vibración. (La Cal Herrera J. A., 2017)

Con la poda del olivar se debe conseguir un máximo aprovechamiento de la luz, y esto se logra con grandes superficies de fructificación. Para un determinado volumen de copa, la forma esférica que sería la natural de un olivo sin podar, proporcionaría la mínima superficie de fructificación. Como la cosecha se concentra anualmente en la superficie de copa iluminada, conviene crear formas lobuladas, con entrantes y salientes relativamente huecas en su interior, que a igual volumen teórico proporcionarían una mayor superficie de fructificación correctamente iluminada y, por tanto, una producción superior (véase Figura 3). Los frutos obtenidos en las zonas mejor iluminadas son los de mejor calidad, con un mayor tamaño y rendimiento graso. (Junta de Andalucía, 2006)

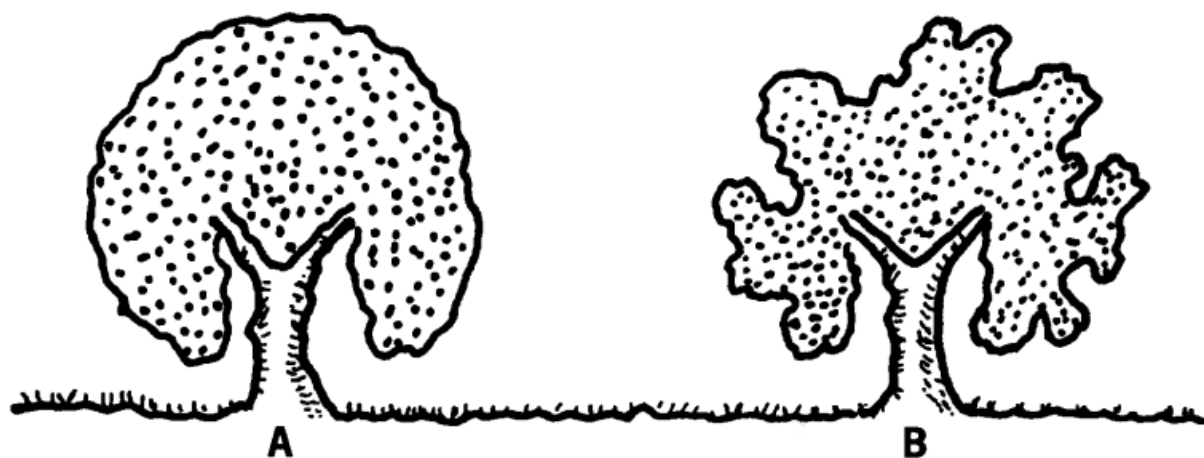


Figura 3: Con el mismo volumen de copa por árbol, son preferibles las formas lobuladas, con entrantes y salientes (B) que las formas esféricas (A) a las que tiende el olivo de forma natural (Junta de Andalucía, 2006)

Finalmente, debe procurarse el equilibrio de ramas que forman el esqueleto del olivo, evitando la dominancia de unas sobre otras, procurando, mediante los cortes de aclareo, la correcta iluminación interior de la copa. Igualmente, deben evitarse aclareos excesivamente intensos de ramas finas, ya que este tipo de podas severas disminuyen la relación hoja-madera, lo que trae consigo mermas de producción y desequilibrios en el árbol, con tendencia a la formación de ramos de madera y chupones muy vigorosos, lo que conduce finalmente al envejecimiento prematuro de la rama en la que se insertan. (Nogales, 2018)

4.1. Operaciones de la fase de poda

En la figura siguiente (Figura 4), se puede apreciar un esquema correspondiente al conjunto de operaciones que tienen lugar durante la fase de poda del olivar por parte del agricultor: escamujado o separación de fracciones (ramón y leña), retirada de la leña, hilerado del ramón para su recogida, transporte y almacenamiento. (La Cal Herrera J. A., 2017)



Figura 4: Operación de poda del olivar (La Cal Herrera J. A., 2017)

El escamujado consiste en una separación de fracciones, por un lado la denominada fina (< 5cm de grosor) compuesta por ramas y ramones, y por otro la gruesa o leña. Toda esta materia queda depositada debajo del olivo, por lo que el siguiente paso consiste en, una vez separada la leña, colocar el resto en medio de las calles de los olivos, es lo que se denomina hilerado, y puede realizarse manual o automáticamente con la ayuda de un tractor.

El resto de etapas son la fragmentación mecánica bajo sus diferentes vertientes (picado, astillado, triturado,...) y la recogida de la astilla que suele ser cargada en un remolque de un tractor para su posterior traslado hasta el punto de almacenamiento o de consumo.

4.1.1. Maquinaria disponible

El mercado de maquinaria para la logística de la biomasa del olivar permite adecuarse a casi la totalidad de las casuísticas posibles. La maquinaria empleada comúnmente en la logística del olivar es la siguiente (Manso Ramírez, 2010):

- **Máquinas de acondicionamiento.** Engloba aquellos sistemas de acondicionamiento que ya están siendo utilizados por el agricultor para la eliminación tradicional (quema o incorporación al terreno). Incluye máquinas hileradoras, máquinas para la saca de biomasa y cabezales para tocones.



Figura 5: Tractor con hileradora para el olivar (Rastrillos hileradores de restos de poda)

- **Máquinas trituradoras móviles.** Para reducir el tamaño de la poda en la propia parcela, que facilite el transporte y almacenamiento de la astilla conseguida. Inicialmente se consideró que la máquina utilizada debería conseguir un tamaño de astilla adecuado para ser introducida directamente en caldera, para lo cual era necesaria una mayor potencia de trabajo. Sin embargo, y debido a que casi todas las plantas de generación eléctrica o de producción de combustible disponen de trituradoras fijas para acondicionar la astilla, hoy puede considerarse más interesante una máquina que consiga mayor rendimiento horario frente a una astilla de menor tamaño. Entre estas máquinas se encuentran las desbrozadoras, astilladoras de alimentación manual con chimenea, astilladoras autoalimentadas, astilladoras de cultivos energéticos y máquinas trituradoras transportables.



Figura 6: Astilladora de alimentación manual (La Cal Herrera J. A., 2012)



Figura 7: Astilladora de alimentación automática (Manso Ramírez, 2010)

- **Máquinas astilladoras fijas.** Con ellas se reduce y homogeneiza el tamaño de la astilla, acondicionando la biomasa de manera previa a la entrada en caldera o proceso de obtención de biocombustible. Pueden diferenciarse entre astilladoras fijas y molinos.



Figura 8: Astilladora fija para planta transformadora (Ostargi, Energías alternativas)



Figura 9: Molino para planta transformadora (Ostargi, Energías alternativas)

- **Máquinas empacadoras.** La alternativa al astillado para retirar la poda del campo es el empacado. Con este proceso se consigue mayor densidad, con lo que se ahorran costes de transporte y facilita la manipulación y almacenamiento en planta, sin embargo, este ahorro tiene que compensar el sobre coste del astillado en planta con una máquina adecuada para ello, además de tratarse de máquinas con elevado coste de inversión. En general, esta opción se plantea más en residuos forestales que en arbóreos agrícolas.



Figura 10: Tractor con empacadora (Manso Ramírez, 2010)

4.2. Costes de la poda del olivar

La Asociación Española de Municipios del Olivo (AEMO), en un Estudio titulado “*Aproximación de los costes del cultivo del olivo*” establece que la poda es, después de la recolección, la operación de cultivo que demanda mayor cantidad de mano de obra en el cultivo del olivo. El número de horas de mano de obra requeridas para la poda (poda propiamente dicha, eliminación de restos, y desvareto) dependerán del sistema de cultivo del olivar (véase Figura 11).

	Tradicional No Mecanizable (Secano)	Tradicional Mecanizable (Secano/Riego)	Intensivo (Secano/Riego)	Superintensivo (Riego)
Poda	De renovación bianual Olivar con más de 30 años	De renovación bianual Olivar con más de 30 años	De producción bianual Olivar de menos de 30 años	De producción anual Olivar de menos de 10 años
Medición	21 h/Ha podador c/2 años	28 h/Ha podador c/2 años	15.75 h/Ha podador c/2 años	43 h/Ha podador anual
Eliminación de restos	Acopio manual y quema, al ser olivar de montaña.	Acopio manual y tractor-picadora. Bianual	Acopio centro calle y tractor-picadora. Bianual	No requiere acopio, sólo tractor picadora
Medición	12 h/Ha peón c/2 años 5.1 h/Ha anual	14 h/Ha peón c/2 años 0.7 h/Ha tractor-picadora	14 h/Ha peón c/2 años 1 h/Ha tractor-picadora	0 h/Ha peón 2 h/Ha tractor-picadora
Desvareto	Menos varetas por ser olivar marginal	Más varetas al tener varias patas	Menos varetas por ser olivos de una pata	No procede desvareto al ser en seto
Medición	5.1 h/Ha peón anual	6.4 h/Ha peón anual	4.5 h/Ha peón anual	0 h/Ha anual

Figura 11: Resumen de horas dedicadas a la poda, eliminación de restos y desvareto en función del sistema de cultivo del olivar (AEMO, Asociación Española de Municipios del Olivo, 2012)

Dicho estudio, establece además una estimación de los costes por hectárea (poda, eliminación de restos y desvareto) que presentan cada sistema de cultivo en la península ibérica.

Sistema de Cultivo	Coste por Ha	Observaciones
O.T.N.M.	95,1 €	Poda de renovación 21.0 horas/2 años. Olivar >30 años.
O.T.M.	126,8 €	Poda de renovación 28.0 horas/2 años. Olivar >30 años.
O.I.	142,7 €	Poda de producción/renovación 15.75 horas/2 años. Olivar 20-40 años
O.S.	389,6 €	Poda de producción 43.0 horas/año. Olivar 0-10 años.

Figura 12: Costes de poda por hectárea en función del sistema de cultivo del olivar (AEMO, Asociación Española de Municipios del Olivo, 2012)

Sistema de Cultivo	Coste por Ha	Observaciones
O.T.N.M.	54,4 €	12 h peón c/2 años
O.T.M.	75,8 €	14 h peón + 0.7 h tractor-picadora c/2 años
O.I.	81,2 €	14 h peón + 1 h tractor-picadora c/2 años
O.S.	71,0 €	2 h tractor-picadora c/1 año

Figura 13: Costes de eliminación de restos de poda en función del sistema de cultivo del olivar (AEMO, Asociación Española de Municipios del Olivo, 2012)

Sistema de Cultivo	Coste por Ha	Observaciones
O.T.N.M.	44,0 €	0.8 jornales/Ha y año
O.T.M.	55,1 €	1 jornal/Ha y año
O.I.	38,5 €	0.7 jornales/Ha y año
O.S.	0,0 €	No se desvareta

Figura 14: Costes de desvareto en función del sistema de cultivo del olivar (AEMO, Asociación Española de Municipios del Olivo, 2012)

A modo de resumen, se presentan a continuación los costes totales por hectárea generados por la poda del olivar (poda + eliminación de restos + desvareto) dependiendo de los diferentes sistemas de cultivo de olivar que existen en la actualidad.

Sistema de Cultivo	Coste por Ha	Observaciones
O.T.N.M.	193,5 €	Poda, quema y desvareto
O.T.M.	257,7 €	Poda, triturado y desvareto
O.I.	262,4 €	Poda, triturado y desvareto
O.S.	460,6 €	Poda y triturado

Figura 15: Resumen de los costes totales generados por la poda en función del sistema de cultivo del olivar (AEMO, Asociación Española de Municipios del Olivo, 2012)

Para finalizar, el estudio presenta un desglose total por hectárea según los diferentes gastos llevados a cabo en las explotaciones agrarias a causa de las diferentes operaciones realizadas al cultivo del olivar.

Sistema de Cultivo	O.T.N.M.	O.T.M. sec	O.T.M. reg	O.I. sec	O.I. reg	O.S.
Fitosanitarios	15,3%	11,9%	7,9%	13,5%	9,1%	13,3%
Poda y desvareto	18,0%	17,0%	11,4%	16,4%	11,0%	18,7%
Fertilización	6,5%	5,1%	3,4%	6,9%	4,6%	5,0%
Mantenimiento suelo	26,0%	26,7%	17,8%	24,7%	16,6%	9,6%
Riego	0,0%	0,0%	19,2%	0,0%	19,9%	20,7%
Recolección	34,1%	39,3%	40,2%	38,5%	38,7%	32,8%
TOTAL (€/Ha)	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Figura 16: Desglose de costes llevados a cabo en el olivar en función del sistema de cultivo (AEMO, Asociación Española de Municipios del Olivo, 2012)

Se puede obtener como conclusión que los costes relativos a la poda suponen entre un 11,0 y un 18,7% del coste total por hectárea, dependiendo del sistema de cultivo del olivar.

4.3. Destinos y aplicaciones de los restos de poda del olivar

Las dos principales características de los restos de las podas de olivar son su baja densidad y su estacionalidad. Debido a los problemas de propagación de plagas, han de ser extraídos del campo en un periodo de tiempo no superior a 15 ó 20 días, dependiendo de las condiciones climáticas.

Por un lado, es bueno si el clima es soleado que la biomasa permanezca en el campo, porque así reducirá su humedad de una manera natural, por otro, este buen tiempo contribuye a la propagación del temido barrenillo, lo que obligaría a extraer, quemar o picar los residuos de una manera rápida. Por tanto, las principales opciones con las que podría contar el agricultor en la actualidad para valorizar los restos de poda de olivar, de mayor a menor aplicación son las siguientes (La Cal Herrera J. A., 2017):

- Quema controlada o incineración.
- Fragmentación mecánica y aporte al terreno como materia orgánica.
- Venta como biomasa para la generación de energía eléctrica en plantas de biomasa.
- Producción de biocombustibles sólidos (astillas) para usos finales térmicos.

4.3.1. Eliminación de los restos de poda

En los siguientes apartados se describirán las dos operaciones principales que se realizan en la actualidad tras la poda del olivar para la eliminación de los restos en el propio campo de cultivo.

4.3.1.1. Quema controlada o incineración

La quema de residuos agrícolas en el campo ha sido una práctica habitual en Andalucía y España en las últimas décadas. Sus consecuencias negativas son varias (La Cal Herrera J. A., 2017):

- Aumento del riesgo de incendios y erosión.
- Pérdida de la posibilidad de incorporación al suelo de materia orgánica.
- Degradación estructural.
- Pérdida de fertilidad.
- Mayores riesgos de desertización.

La normativa andaluza que establece las normas de condicionalidad que deben cumplir los agricultores que reciban pagos directos en el marco de la Política Agraria Común (PAC), establece, en relación a los restos de las podas de olivar lo

siguiente: *“debe realizarse siempre con arreglo a la normativa medioambiental vigente”*.

Actualmente, resulta muy difícil determinar el porcentaje de superficie de olivar en la que se queman los restos de la poda, si bien es posible hablar de aproximadamente un 50% del total de la poda generada, aunque ello depende, entre otros factores, de la zona en cuestión. Por ejemplo, en zonas próximas a espacios protegidos como parques naturales, las exigencias medioambientales están reduciendo esta práctica al 0% (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación).

La operación de quema acarrea un coste para el agricultor, que para un olivar tradicional no mecanizable asciende a unos 54,4 €/ha (véase Figura 13), incluidas las labores de acopio manual y quema propiamente dicha. En determinadas ocasiones, en las que se utilizan aperos acoplados al tractor para realizar el acopio, este coste puede ser superior. En cualquier caso, el coste final depende de varios factores como el marco de plantación, el número de pies por árbol o la orografía del terreno. (AEMO, Asociación Española de Municipios del Olivo, 2012)

En cuanto a los riesgos, cabe citar que el mayor es la quema, total o parcial, de olivos en función del viento existente en el momento de realizar la operación, además de la consiguiente emisión descontrolada de partículas y de gases a la atmósfera.

La tendencia natural de la quema de residuos en campo es, salvo excepciones, su desaparición por todos los inconvenientes mencionados, si bien existen determinados emplazamientos que por su orografía es mucho más costoso astillar los restos de poda que quemarlos (véase Figura 17).

La razón de esta quema radica en la problemática ocasionada por la plaga denominada “barrenillo”, que necesita de las leñas gruesas para su reproducción, realizando galerías de alimentación en los brotes, lo que determina su seca y posterior caída, ejerciendo una fuerte acción depresiva sobre las plantaciones del olivar. (La Cal Herrera J. A., 2017)



Figura 17: Quema de restos de poda en olivar de montaña (González, 2012)

4.3.1.2. Fragmentación mecánica y aporte al terreno

Otra posibilidad para la destrucción de los restos de las podas del olivar es la trituración (véase Figura 18), reduciendo las ramas y leñas a trozos más pequeños en los que no es posible la puesta de las hembras del barrenillo. Estos restos pueden quedar en el campo esparcidos sobre el terreno, lo que puede conllevar importantes ventajas de tipo agronómico, tales como reciclado de los nutrientes contenidos en los restos de poda, aporte de materia orgánica y protección del suelo frente a la erosión, entre otros. Es una alternativa que va tomando cada vez más fuerza debido también, aparte de las razones citadas, a la generalización en el sector de maquinaria astilladora. (La Cal Herrera J. A., 2017)



Figura 18: Triturado de los restos de poda en el campo (Maquituls, 2018)

El principal inconveniente, además del coste para el agricultor, el cual se sitúa incluyendo acopio manual y tractor con astilladora en el entorno de los 75,8 €/ha (véase Figura 13) para olivar tradicional mecanizable, es que su realización prolongada puede provocar problemas de asimilación y acumulación de materia orgánica en el suelo que dificulten la realización de labores posteriores de mecanización. También, si su descomposición es lenta y su presencia prolongada, pueden ocasionar problemas de tipo fitosanitario. (AEMO, Asociación Española de Municipios del Olivo, 2012)

No obstante, algunos autores afirman que la incorporación continuada de los restos de poda en el olivar modifican notablemente las propiedades físicas del suelo (materia orgánica, P y K asimilables, N orgánico) y químicas (estructura, densidad aparente, resistencia a la penetración, infiltración y evaporación). Además presenta un efecto herbicida sobre las hierbas que emergen en la calle del olivar, lo que evita la incorporación de elementos de tipo químico. (La Cal Herrera J. A., 2017)

4.3.2. Aprovechamiento energético de los restos de poda

El uso energético de la poda ha estado ligado tradicionalmente al empleo de la leña como combustible doméstico. Sin embargo, durante la última década, el uso de la poda de olivo como combustible en forma de astilla (véase Figura 19) ha experimentado un notable incremento que ha contribuido a desarrollar un incipiente sector que incluye a empresas de fabricación y distribución de maquinaria agrícola, adaptada y/o específica al procesado y acopio de biomasa en el campo, a empresas de servicio agrícola, a empresas comercializadoras de biomasa y, por supuesto, a promotores y consultores energéticos. (La Cal Herrera J. A., 2017)

Aun así, el uso actual de este tipo de biomasa no alcanza ni el 10% de todo su potencial, existiendo, además, grandes diferencias según la zona geográfica, que determinan que en algunas comarcas su aprovechamiento sea inexistente. Esto se debe a que su desarrollo depende de la demanda y del consumo que de ella se realice. En la actualidad, este consumo está ligado casi exclusivamente a las plantas de generación eléctrica con biomasa, por lo que en aquellas zonas donde no hay posibilidad de venta, la quema y el aporte al suelo siguen siendo las únicas opciones del agricultor. (Manso Ramírez, 2010)



Figura 19: Astilla estandarizada de leña de olivo (Mercacei, 2019)

El uso energético de la astilla del olivar presenta numerosos beneficios sociales, energéticos, medioambientales y económicos. La obtención de la astilla y su uso representa una actividad muy intensiva en mano de obra, por lo que revierte riqueza en las zonas rurales. Energéticamente, se trata de una fuente renovable que posibilita configurar un sistema energético más respetuoso con el medio ambiente. A la vez, se evitan emisiones de CO₂ que se generan con la quema de las podas a cielo abierto, además de la propagación de ciertas afecciones al olivar, y se asegura un proceso de elaboración del aceite de reducida generación de residuos. Por último, el uso de la poda evita la realización de ciertas operaciones como la quema o el astillado en el campo de cultivo que representa un coste para el agricultor.

4.3.2.1. Plantas transformadoras de biomasa del olivar

En el año 2014 se contabilizaron en Andalucía un total de 14 establecimientos dedicados a la obtención de energía a partir de subproductos del olivar (véase Figura 20), y que permitieron en su conjunto la obtención de un total de 137,33 MW de energía. En la actualidad, se ha evolucionado hacia una mayor diversificación en la fuente de biomasa en favor de los residuos forestales y la poda del olivo, no obstante, el 60% de la energía generada en dichas plantas lo proporcionan aún orujos y orujillos, y el 40% restante residuos forestales, podas de olivar y hoja de olivo de almazara. (Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, 2015)

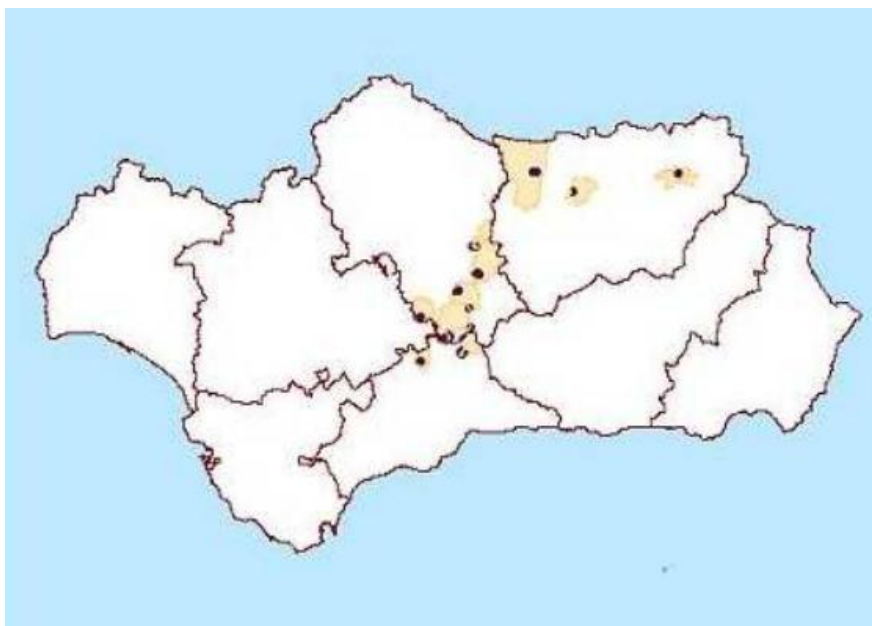


Figura 20: Distribución municipal de las plantas transformadoras andaluzas de biomasa de olivar (Agencia Andaluza de la Energía)

En cuanto a la distribución municipal de las plantas de biomasa de olivar en Andalucía, destacan los municipios de Palenciana y Linares, con 3 y 2 plantas respectivamente. Y en relación a la producción de energía, junto a los municipios anteriormente mencionados de Palenciana (23,92 MW) y Linares (17 MW), destacan igualmente Baena (25 MW), Villanueva del Arzobispo (16 MW) y Lucena (14,3 MW) (véase Tabla 1).

Provincia	Municipio	Puesta servicio	Nº plantas	Potencia (MW)	Tipo de biomasa
Córdoba	Baena	2002	1	25	Orujo, poda de olivo y hojín
	Cabra	2006	1	8	Orujillo y residuos forestales
	Cañete de las Torres	2009	1	0,1	Poda de olivo
	Lucena	2006	1	14,3	Orujillo y residuos forestales
	Palenciana	1999,2000,2007	3	23,92	Orujo, orujillo, poda de olivo y residuos forestales
	Puente Genil	2006	1	9,82	Orujillo, poda de olivo y residuos forestales
Jaén	Andújar	2010	1	6	Residuos forestales y poda de olivo
	Linares	2001,2009	2	17	Orujillo, poda de olivo y residuos forestales
	Villanueva del Arzobispo	2002	1	16	Orujillo, poda de olivo y residuos forestales
Málaga	Fuente de Piedra	2004	1	8,04	Orujillo y poda de olivo
	Villanueva de Algaídas	2003	1	9,15	Orujillo, poda de olivo y residuos forestales
Total Andalucía			14	137,33	

Tabla 1: Plantas andaluzas transformadoras de biomasa del olivar en 2014 (Agencia Andaluza de la Energía)

4.3.2.2. Ventajas e inconvenientes del aprovechamiento energético

En la Figura 21 se describen cada una de las ventajas e inconvenientes que se pueden extraer del aprovechamiento energético de los restos de podas del olivar en la actualidad.

Ventajas

- Disminuye el riesgo de incendios.
- Disminuye la aparición de plagas.
- Puede representar un menor coste para el agricultor.
- Posibilidad de emplear maquinaria convencional adaptada.
- Crecación de empresas de servicio agrícola integral o diversificación de las ya existentes.
- Creación de nuevos puestos de trabajo.
- Ayuda a combatir el cambio climático.

Inconvenientes

- Orografía del terreno.
- Breve período de campaña de trabajo, lo que hace necesaria la recogida rápida.
- Es necesario disponer de un gran parque de almacenamiento.
- Dispersión y tamaño de las explotaciones.
- Elevado grado de humedad y baja densidad, lo que se traduce en un elevado coste de transporte y manejo.

Figura 21: Ventajas e inconvenientes del uso energético de los restos de poda del olivar

5. LOGÍSTICA DE LA BIOMASA RESIDUAL DEL OLIVAR EN ANDALUCÍA

El uso energético de la biomasa implica importantes beneficios económicos, sociales y ambientales. Se trata de una energía autóctona y descentralizada que contribuye a diversificar las fuentes de energía, mejorar la seguridad del suministro energético y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles. Al mismo tiempo puede impulsar la generación de empleo, especialmente en las áreas rurales, el desarrollo tecnológico y la innovación, y evita las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas del uso de combustibles fósiles. (Potencial energético de la biomasa residual de la poda del olivar en Andalucía, 2009)

En lo que respecta a la biomasa residual agrícola, su aprovechamiento energético puede revertir en una mejora de la competitividad y rentabilidad de las

mismas explotaciones en las que se genera, ya que un subproducto adquiere un carácter de recurso con valor económico. Asimismo, la valorización energética de esta fuente de biomasa contribuye a mejorar el balance de emisiones de gases de efecto invernadero del sector agrario, y por tanto, su papel en la mitigación del cambio climático.

La poda del olivar resulta una de las fuentes más importantes de biomasa residual agrícola que existen en Andalucía, no en vano, el olivar constituye un monocultivo en importantes zonas de nuestra comunidad, ocupando en torno al 36% de la superficie cultivada andaluza (véase Figura 22). (Potencial energético de la biomasa residual de la poda del olivar en Andalucía, 2009)

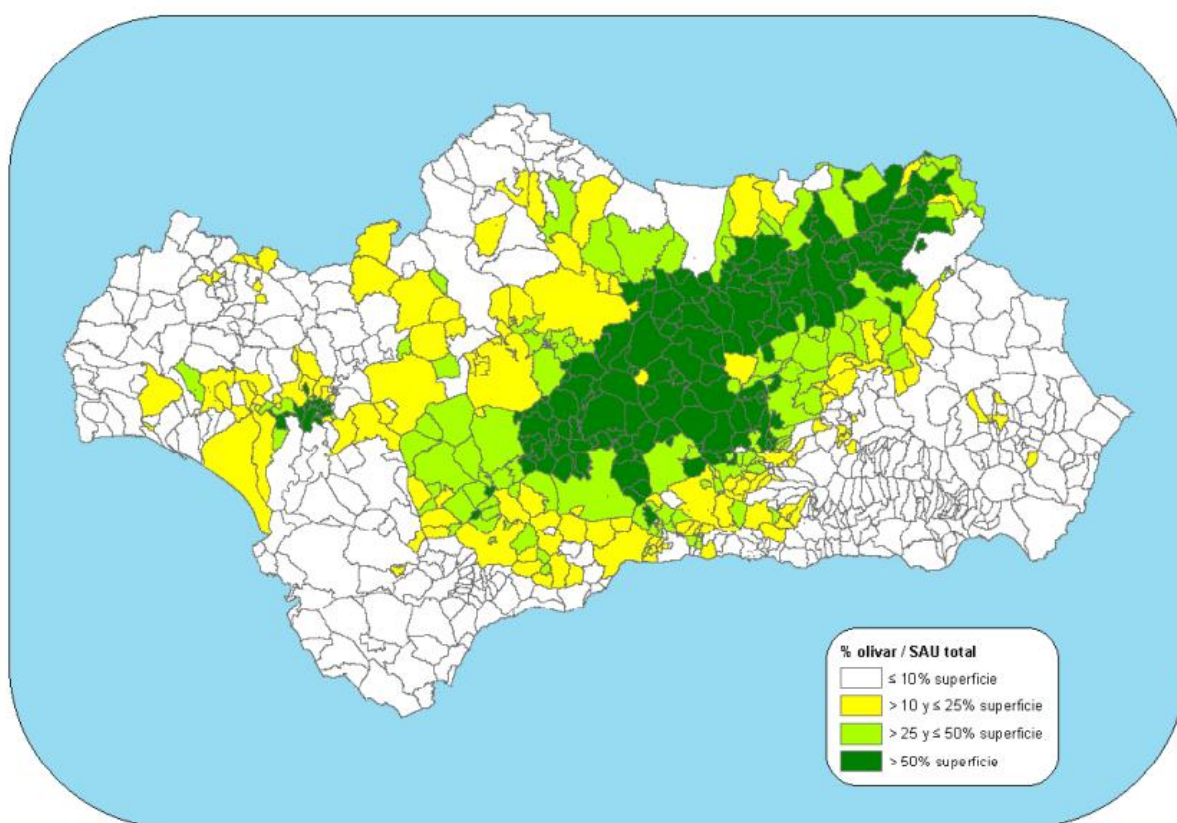


Figura 22: Distribución municipal de la superficie de olivar en Andalucía en función del porcentaje que representa respecto a la Superficie Agraria Útil (SAU) (SIGPAC, Junta de Andalucía)

Jaén y Córdoba son las principales provincias olivareras, concentrando ambas en torno al 60% de la superficie de olivar de Andalucía. Le siguen en orden de importancia Sevilla, Granada y Málaga, mientras que el conjunto de Cádiz, Huelva y Almería contabilizan apenas el 5% del olivar andaluz (véase Tabla 2).

	Superficie de olivar	
Provincia	Hectáreas	%
Almería	21.501	1,34%
Cádiz	26.193	1,63%
Córdoba	356.793	22,17%
Granada	198.617	12,34%
Huelva	33.124	2,06%
Jaén	584.837	36,33%
Málaga	135.306	8,41%
Sevilla	253.278	15,73%
Andalucía	1.609.649	100,00%

Tabla 2: Distribución provincial de la superficie de olivar andaluz (2018) (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación)

Los restos de poda de olivar, y en general toda la biomasa residual agrícola, se caracteriza por su producción dispersa en el territorio andaluz, de modo que su aprovechamiento energético está comprometido por los elevados costes de su logística de aprovisionamiento. Resulta fundamental, por tanto, la realización de análisis que aborden esta fuente de energía desde una perspectiva espacial, para que sirvan de base a la hora de determinar la localización óptima de las industrias de transformación.

Aceptando que la relación aceituna producida/superficie de cultivo es directamente proporcional a la densidad de producción de residuo de poda de olivo, puede indicarse que la mayor concentración de estos residuos corresponde a la provincia de Jaén, algo más dispersa se encuentra en las provincias de Córdoba, Sevilla, Granada y Málaga (véase Figura 23 y 24).

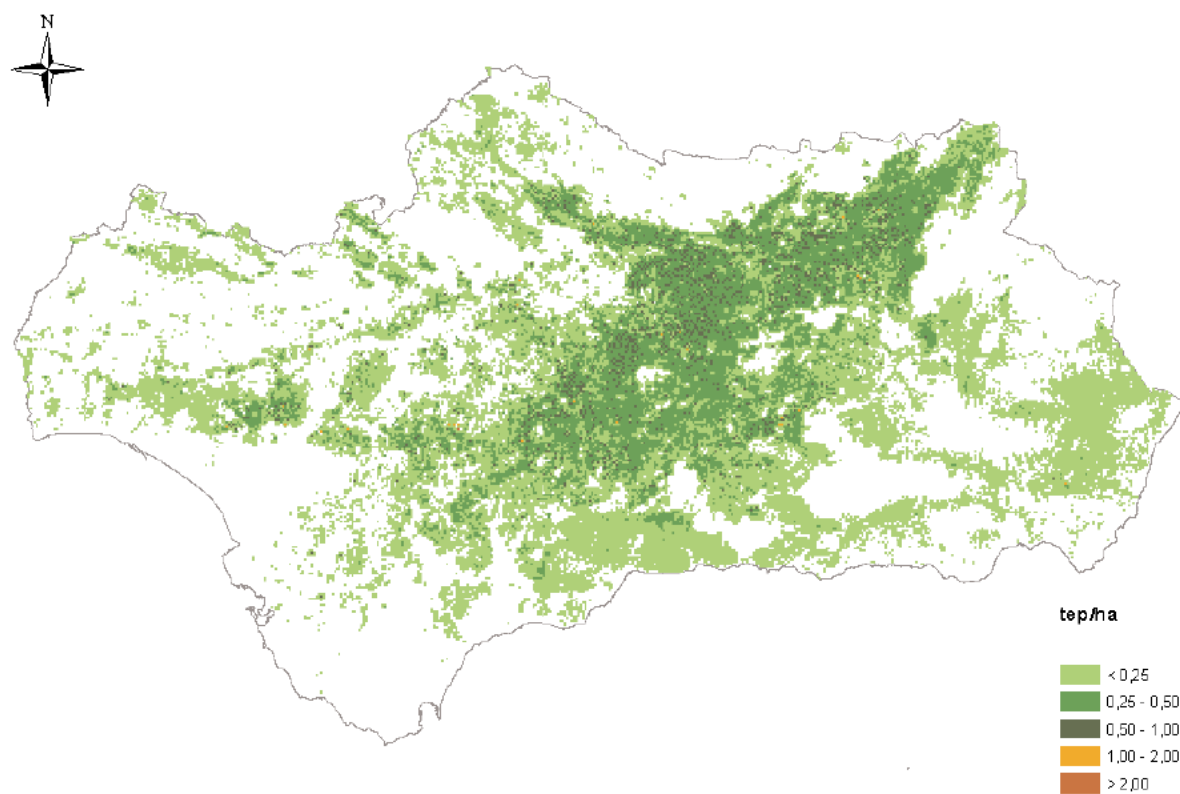


Figura 23: Densidad energética superficial procedente del olivar (Consejería de Agricultura y Pesca, 2008)

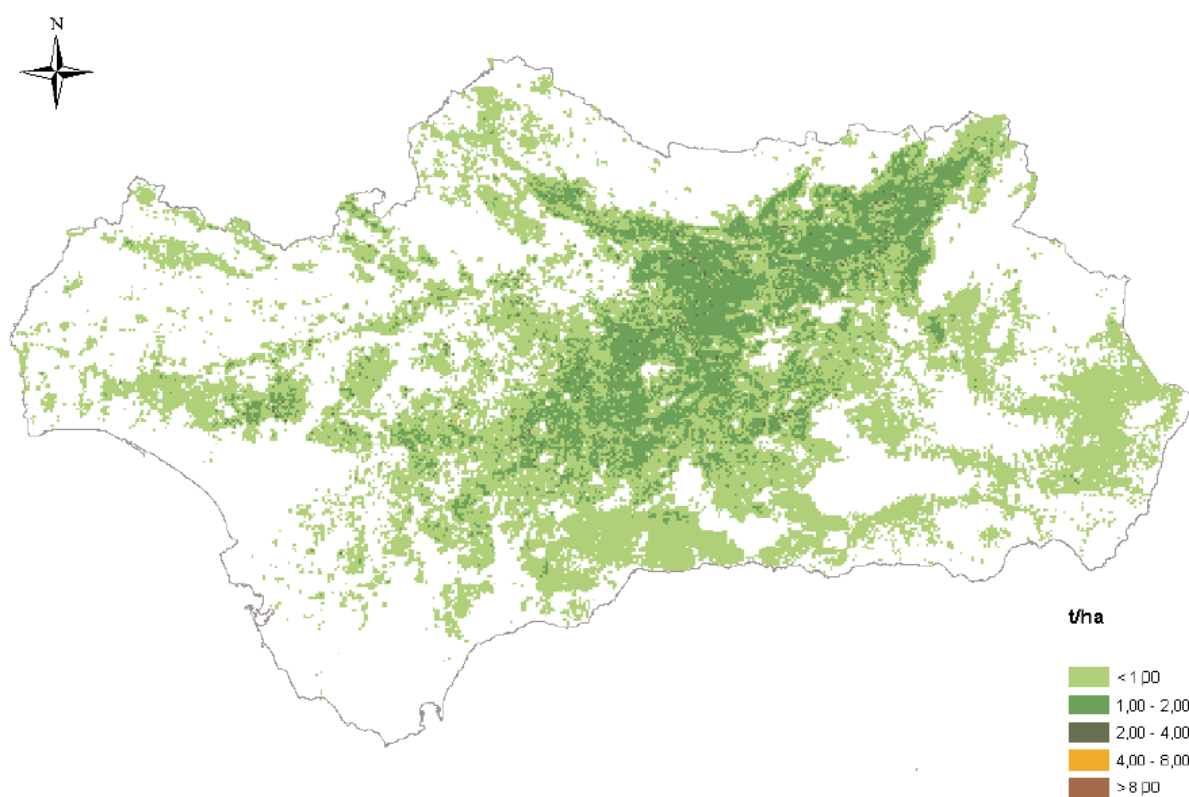


Figura 24: Potencial de producción de biomasa residual procedente del olivar (Consejería de Agricultura y Pesca, 2008)

5.1. Estimación de la producción de biomasa y potencial energético procedente de la poda del olivar

La cantidad de biomasa que se obtiene con la poda del olivar depende de muchos factores, entre los que se pueden citar el porte y edad de los árboles, el marco de plantación, la producción e incluso las costumbres de poda de la zona. Se ha estimado que una hectárea de olivar dedicada a la producción de aceite de oliva genera como término medio 2,64 toneladas de biomasa al año aptas para su valorización energética (véase Figura 25), considerando el orujillo (0,62 t), el hueso de aceituna (0,27 t), la leña (0,58 t) y las ramas o ramones (1,17 t) generadas durante la operación de poda. (La Cal Herrera J. A., 2017)

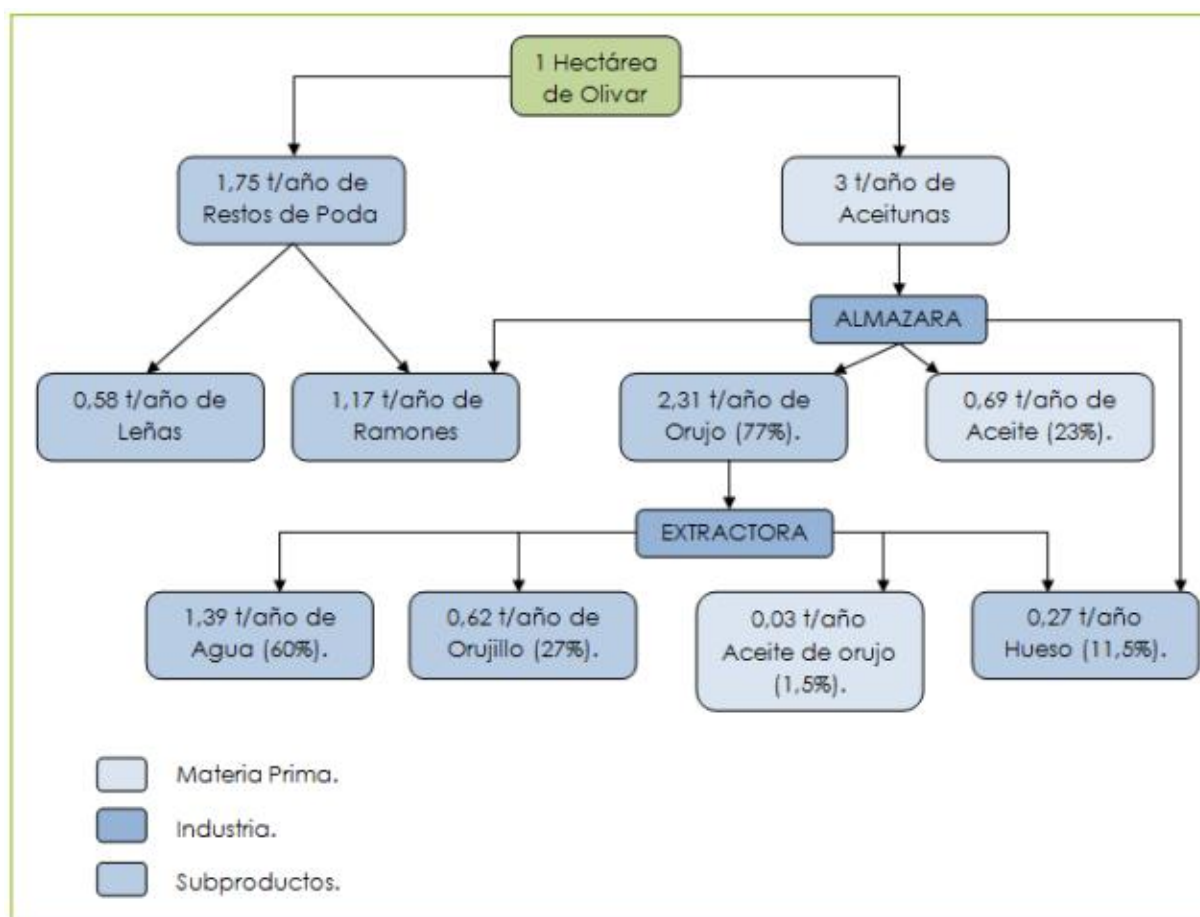


Figura 25: Balance de masas de una hectárea de olivar (La Cal Herrera J. A.)

Para la determinación de la cantidad de biomasa residual procedente de la poda del olivar se puede utilizar la siguiente expresión (Consejería de Agricultura y Pesca, 2008):

$$Biomasa \left(\frac{t}{año} \right) = S(ha) \times IR \left(\frac{t}{ha * año} \right)$$

Donde:

- S es la superficie de olivar considerada (ha).
- IR es el llamado “Índice de Residuo” para la poda del olivar (t/ha*año).

Para la estimación del potencial energético de la biomasa residual procedente de la poda del olivar, se puede utilizar la siguiente expresión (Consejería de Agricultura y Pesca, 2008):

$$Energía \left(\frac{tep}{año} \right) = Biomasa \left(\frac{kg}{año} \right) \times PCI_h \left(\frac{kcal}{kg} \right) \times \frac{1}{10^7} \left(\frac{tep}{kcal} \right)$$

Donde:

- PCI_h es el poder calorífico inferior en base húmeda. Para una humedad media del 20%, los restos presentan un valor de 3.190 (kcal/kg).

Considerando un Índice de Residuo (IR) de 1,75 toneladas anuales (véase Figura 25), se puede estimar tanto el volumen de biomasa procedente de restos de podas de olivar generado, así como el potencial energético de los mismos.

En la tabla siguiente, se muestra un resumen del potencial de biomasa procedente de los restos de las podas de olivar en Andalucía y en Jaén, así como el potencial energético de ambas.

	ANDALUCÍA	JAÉN
Superficie total (ha)	1.609.649,00	584.837,00
IR (t/ha*año)	1,75	1,75
Total biomasa (t/año)	2.816.885,75	1.023.464,75
Potencial Energético (tep/año)	898.586,55	326.485,26

Tabla 3: Potencial de biomasa y energético de los restos de las podas de olivar en Andalucía y en la provincia de Jaén

5.2. Alternativas de valorización energética en la almazara

La almazara, como industria presente en la totalidad de los municipios olivareros andaluces, ha de convertirse en el epicentro del nuevo modelo de gestión de subproductos (véase Figura 26). (La Cal Herrera J. A., 2017)

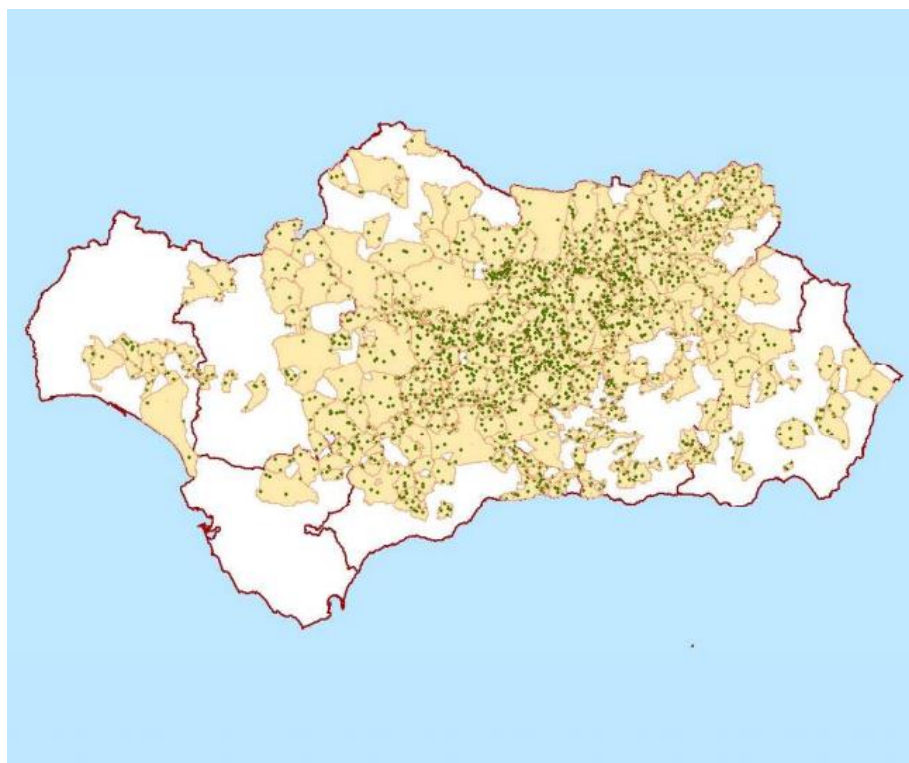


Figura 26: Distribución municipal de las almazaras andaluzas (Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, 2015)

Algunas de las nuevas actividades que podrían acometerse en la almazara son las siguientes:

- La recepción y acopio de la biomasa procedente de las explotaciones agrarias en su patio.
- La producción de astillas normalizadas para su comercialización como biomasa para usos térmicos, fundamentalmente en el ámbito industrial y de grandes consumos.
- El secado de la biomasa acumulada para su posterior venta a centrales transformadoras para la generación de energía eléctrica.

Con estas nuevas actividades la almazara obtendrá unos beneficios y unos ahorros, pero también tendrá que acometer una serie de inversiones en obra civil,

instalaciones y equipamiento. El objetivo final es que las nuevas actividades económicas vinculadas a las almazaras sean rentables desde los puntos de vista técnico, económico y financiero.

Finalmente, habría que considerar también cómo se vería afectada la actividad normal productiva de la almazara, sin perder su objetivo principal que es la producción de aceite de oliva. Se trata de llevar a cabo una diversificación relacional y, por tanto, vinculada a las actividades que tienen que ver con el olivar en su conjunto. Es evidente que esta nueva concepción va a repercutir en la operativa de la almazara como industria y, por tanto, también en sus gestores, los cuales han de ser conscientes en todo momento de esta nueva actuación.

5.2.1. Estudio económico en el municipio de Castillo de Locubín

La actividad asociada al cultivo del olivar caracteriza la estructura económica y social de gran número de municipios andaluces. Entre estos municipios, se encuentran la mayoría de los municipios jienenses y los situados en la confluencia de las provincias de Córdoba, Sevilla, Málaga y Granada, configurando el llamado “Eje del olivar” (véase Figura 27). Como dato, 137 de los 771 municipios andaluces tienen más del 75% de sus tierras labradas ocupadas por el olivar. Más de la mitad de estos municipios (73), se localizan en la provincia de Jaén. (Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, 2015)

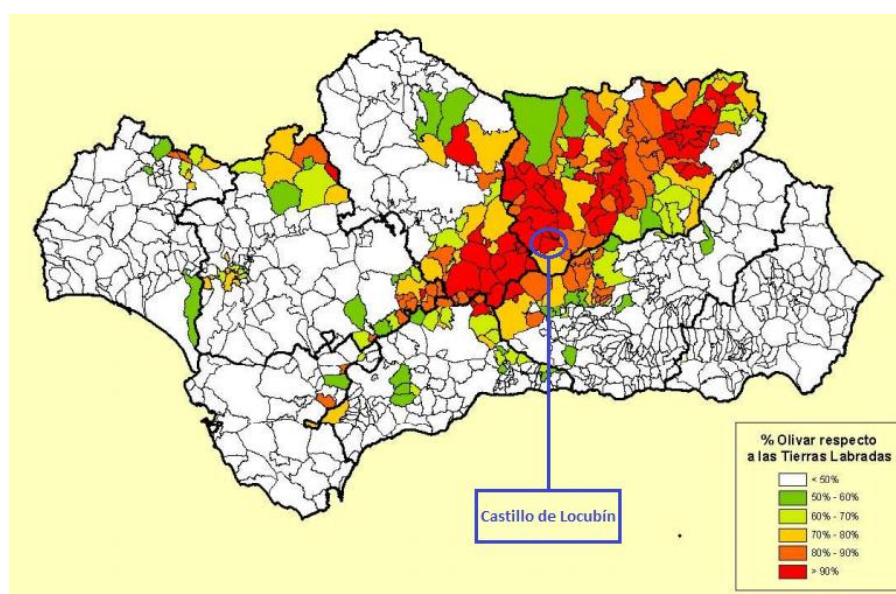


Figura 27: Porcentaje de superficie de olivar por municipios (Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, 2015)

Como se puede observar en la Figura 27, Castillo de Locubín se sitúa entre los municipios jienenses con mayor porcentaje de superficie de olivar respecto a las tierras labradas. Es por este motivo que se analizará su viabilidad para constituir un centro logístico para la gestión de los residuos de poda del olivar, ya que se encuentra en una posición privilegiada, y, por si fuera poco, se haya rodeada de varios municipios que también poseen un alto porcentaje de cultivo del olivar.

En el presente Trabajo de Fin de Grado, se analizará la viabilidad económica de la gestión de restos de poda del olivar, partiendo del supuesto de que su centro logístico se localizará en una de sus dos cooperativas agrícolas dedicadas a la obtención del aceite de oliva. Para ser más exactos, este centro se situará en la Cooperativa Andaluza Agrícola San Isidro, fundada en 1.954. La presente almazara obtiene una molturación anual media de 15.000 toneladas de aceituna, de los que se obtienen, aproximadamente, 3.500 toneladas de aceite de oliva. (S.C.A. San Isidro Castillo)



Figura 28: S.C.A. San Isidro (Castillo de Locubín)

Partiendo de este supuesto, en dicha cooperativa se acometerán las siguientes actividades para el aprovechamiento de los restos de podas del olivar:

- 1) La fracción fina o ramón se astillará y recogerá en el propio campo de cultivo, se transportará al patio de la almazara, donde se procederá a su secado y posterior venta para la generación de energía eléctrica en plantas transformadoras de biomasa (véase Figura 29).



Figura 29: Proceso de transformación de la fracción fina o ramón

- 2) La fracción gruesa o leña se recogerá de las explotaciones agrarias y se transportará al patio de la almazara, donde se astillará y se procederá a su venta como astilla para usos finales térmicos (véase Figura 30).



Figura 30: Proceso de transformación de la fracción gruesa o leña

La principal inversión de la almazara será la adquisición de una astilladora móvil de tambor con cuchillas, la cual producirá astillas normalizadas además de conseguir reducir también la humedad final del producto (véase Figura 31). La inversión para la adquisición de esta maquinaria podría situarse en torno a los 75.000 € (Astilladoras y trituradoras de biomasa).



Figura 31: Astilladora móvil de tambor con cuchillas (Astilladoras y trituradoras de biomasa)

Los principales costes a considerar son los siguientes:

- **Coste de astillado.**
 - Para la fracción fina o ramón, este astillado se realizará en las explotaciones agrarias para aumentar la densidad y reducir los costes de transporte. Se llevará a cabo con una astilladora automática, que recogerá la materia prima y la depositará en un remolque (véase Figura 29). El coste de esta operación se puede estimar en unos 30 €/t (tractor + astilladora). La realización de esta actividad la llevará a cabo empresas que ofrecen servicios agrícolas y así, se evitará una nueva inversión en maquinaria. (uP_running, 2019)
 - Para la fracción gruesa o leña, este astillado se realizará en el patio de la almazara y se llevará a cabo con una astilladora de tambor con cuchillas que proporcionará astillas normalizadas (véase Figura 31). El coste de esta operación se puede estimar en unos 12,5 €/t. (uP_running, 2019)
- **Coste de transporte.** Este coste va a depender de la distancia a recorrer por el vehículo que realice el transporte. Para una distancia de unos 30 km de radio se puede estimar en torno a 10 €/t. (La Cal Herrera J. A., 2017)

Anteriormente, se ha comentado que la cooperativa San Isidro presenta una molturación media en torno a unas 15.000 toneladas de aceituna anuales para la obtención de aceite de oliva. Utilizando el esquema que presenta el balance de masas de 1 ha de olivar de la Figura 25, se puede estimar que la superficie de olivar equivalente sería de unas 5.000 hectáreas. Si se tiene en cuenta otro ratio, también citado, de 1,75 t/ha de restos de poda (0,58 t/ha de leña + 1,17 t/ha de ramones), las cantidades producidas de ambos en dicha superficie de olivar serían las siguientes:

- Ramón producido: 5850 t/año.
- Leña obtenida: 2900 t/año.

La astilla obtenida a partir del ramón se puede vender para la obtención de energía eléctrica en plantas de generación a una media de 35 €/t para una humedad del 15% (Sacyr Industrial). Por otro lado, la procedente de la leña, de mejor calidad, se puede vender en el entorno de 90 €/t para usos finales térmicos, siempre dependiendo de la humedad. (La Cal Herrera J. A., 2017)

Debido a las mermas por la reducción de humedad en el proceso de secado y a la propia eficiencia del proceso de astillado, la cual puede situarse en un 25% (La Cal Herrera J. A., 2017), se obtendrían 4.387,5 toneladas al año de astilla procedente del ramón y 2175 toneladas al año de astilla procedente de la leña. Los ingresos brutos que se percibirían por la venta de ambas astillas ascendería a 349.312,5 € anuales (véase Tabla 5).

El coste del astillado y transporte de la biomasa hasta la almazara que se producirían ascendería a 299.250 € anuales. Por lo tanto, el beneficio bruto disponible cada año ascendería a 50.062,5 € (véase Tabla 5). Teniendo en cuenta la inversión anteriormente citada (75.000 €), ésta podría tener un período simple de recuperación inferior a 2 años, por lo que podría considerarse aceptable desde el punto de vista económico.

Resumen		
Inversión	Astilladora móvil	75.000,00 €
Costes	Astillado ramón	30 €/t
	Astillado leña	12,5 €/t
	Transporte	10 €/t
Ingresos	Astilla ramón	35 €/t
	Astilla leña	90 €/t

Tabla 4: Resumen de precios.

	Cantidad	Merma 25%	Ingresos	Gastos	Beneficio
Ramón	5850 t/año	4387,5 t/año	153.562,5 €	234.000 €	- 80.437,5 €
Leña	2900 t/año	2175 t/año	195.750 €	65.250 €	130.500 €
TOTAL			349.312,5 €	299.250 €	50.062,5 €

Tabla 5: Resumen de ingresos y gastos

Como puede observarse de la Tabla 5, la venta de la astilla procedente del ramón no produce ningún tipo de beneficio, sino que genera pérdidas. Estas pérdidas pueden ser compensadas por la venta de la astilla procedente de la leña. La cooperativa San Isidro tendría dos opciones a considerar:

- Proceder exclusivamente a la recogida y astillado de leña para generar un beneficio bruto mayor de esta actividad, lo que implicaría un coste

adicional para el agricultor al tener que pagar por el triturado del ramón. Este coste puede influir negativamente en la actividad realizada, ya que el agricultor podría no ver beneficio alguno de esta operación.

- Proporcionar este servicio al agricultor aunque genere pérdidas, asumiendo un beneficio inferior, pero consiguiendo la aprobación del agricultor.

Para concluir, si la cooperativa agrícola optara por tomar la segunda opción, y se considerara un período de funcionamiento de dicha actividad en torno a 5 años y una tasa de interés (T.A.E.) del 8,5%, podemos ver a continuación como su rentabilidad queda asegurada en un período tan corto de tiempo (véase Tabla 6 y 7).

Período (años)	Cobros	Pagos	F.C.Inversión	F.C.Acumulado
0	0	- 75.000,00 €	- 75.000,00 €	- 75.000,00 €
1	349.312,50 €	- 299.250,00 €	50.062,50 €	- 24.937,50 €
2	349.312,50 €	- 299.250,00 €	50.062,50 €	25.125,00 €
3	349.312,50 €	- 299.250,00 €	50.062,50 €	75.187,50 €
4	349.312,50 €	- 299.250,00 €	50.062,50 €	125.250,00 €
5	349.312,50 €	- 299.250,00 €	50.062,50 €	175.312,50 €

Tabla 6: Resumen de cobros y pagos para un horizonte temporal de 5 años

PR (plazo de recuperación)	2º período
VAN (valor actual neto)	122.278,39 €
TIR (tasa interna de retorno)	60,48%
IR (índice de rentabilidad)	1,63
Rn (rentabilidad neta)	51,98%

Tabla 7: Resumen de la rentabilidad de la inversión

6. CONCLUSIONES

La utilización energética de la poda del olivar representa una interesante alternativa a la eliminación habitual, que comporta numerosos beneficios en los planos medioambiental, social, tecnológico y económico. No obstante, existen algunas barreras que dificultan esta utilización alternativa, algunas de tipo tecnológico, pero otras relacionadas con la percepción social de las energías renovables o con la distribución de la propiedad.

Las principales barreras que afectan al aprovechamiento masivo de la poda del olivar como recurso energético renovable en el momento actual son de carácter

logístico. El proceso de extracción de la biomasa del campo de cultivo y su puesta a disposición en la planta transformadora, sea cual sea el aprovechamiento final al que se destine.

Es necesario tener en cuenta que este tipo de biomasa se genera en un período de tiempo relativamente corto, de pocas semanas. A la vez, es preciso retirar el residuo de los campos también con suma rapidez para prevenir la aparición de plagas en el cultivo.

No obstante, como se ha podido comprobar anteriormente, en el municipio de Castillo de Locubín podría ser interesante su valorización y aprovechamiento, ya que comportaría importantes beneficios sociales y económicos. Los agentes implicados; agricultores, cooperativas y administración deben fijarse como objetivos para el desarrollo de la biomasa residual procedente del olivar potenciar la demanda de la biomasa para que este subproducto pueda resultar rentable.

Actualmente el sector oleícola está atravesando una situación difícil debido al bajo precio del aceite de oliva. Una de las razones, es el escaso margen que obtiene el agricultor una vez ha sometido al olivar al conjunto de operaciones necesarias para la recolección de la aceituna en la mayoría de las explotaciones tradicionales con bajos niveles de mecanización y elevados costes de explotación. El olivar tiene que ser más competitivo y también más sostenible, es decir, se deben de optimizar todos los costes del proceso productivo y diversificar los ingresos, hasta ahora única y exclusivamente provenientes de la comercialización del aceite. Además, el olivar debe convertirse en un proveedor de recursos energéticos, con la importancia que eso tienen en términos de reducción de la elevada dependencia energética y de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Bibliografía

- (s.f.). Recuperado el 13 de Abril de 2020, de Interempresas:
<http://www.interempresas.net/Agricola/FeriaVirtual/Producto-Rastrillos-hileradores-Abimac-Girolivo-GBLS-R-en-Oliver-115794.html>
- (s.f.). Recuperado el 15 de Abril de 2020, de S.C.A. San Isidro Castillo:
<https://www.sanisidrocastillo.com/>
- (12 de Mayo de 2009). Recuperado el 15 de Abril de 2020, de
https://www.researchgate.net/publication/333379958_Potencial_energetico_de_la_biomasa_residual_de_la_poda_del_olivar_en_Andalucia
- Maquituls*. (7 de Febrero de 2018). Recuperado el 5 de Abril de 2020, de
<https://www.maquituls.es/noticias/la-lena-de-poda-no-se-quema-se-tritura-consejos-varios/>
- Mercacei*. (27 de Noviembre de 2019). Recuperado el 14 de Abril de 2020, de
<https://www.mercacei.com/noticia/51726/actualidad/la-transformacion-de-las-industrias-del-sector-oleicola-en-bio-industrias.html>
- uP_running*. (13 de Junio de 2019). Recuperado el 8 de Abril de 2020, de http://es.up-running.eu/wp-content/uploads/sites/13/2016/11/uP_running_D4.1_Material_de_formacion_ES-Reducido.pdf
- AEMO*. (s.f.). Recuperado el 12 de Abril de 2020, de <https://www.aemo.es/>
- AEMO, Asociación Española de Municipios del Olivo. (2012). *Aproximación a los costes del cultivo del olivo*. Córdoba.
- Agencia Andaluza de la energía*. (s.f.). Recuperado el 10 de Abril de 2020, de <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es>
- Agencia Andaluza de la Energía*. (s.f.). Recuperado el 16 de Abril de 2020, de <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es>
- AGRUM Consultoría agraria. (13 de Febrero de 2014). *AGRUM Consultoría agraria*. Recuperado el 10 de Marzo de 2020, de <http://www.agrumingenieria.es/>
- Consejería de Agricultura y Pesca. (2008). *Potencial energético de la biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía*. Junta de Andalucía. Sevilla: Ideas, Exclusivas y Publicidad, S.L.
- Consejería de Agricultura y Pesca. (2010). *Potencial energético de los subproductos de la industria olivarera en Andalucía*. Junta de Andalucía. Sevilla: Signatura Ediciones, S.L.
- Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. (2015). *Plan Director del Olivar Andaluz*. Junta de Andalucía, Sevilla .

Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo. (2015). *Evaluación de la producción y usos de los subproductos de las agroindustrias del olivar en Andalucía*. Junta de Andalucía, Departamento de Prospectiva de la Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía, Sevilla.

González, P. (19 de Marzo de 2012). *Ecofinca LO FAVARET*. Recuperado el 12 de Abril de 2020, de <http://ecofincalofavaret.com/renovarse-o-morir-la-poda-del-olivo-en-lo-favaret/>

Interempresas. (s.f.). Recuperado el 15 de Abril de 2020, de <https://www.interempresas.net/Madera/Productos/Astilladoras-trituradoras-de-biomasa.html>

Junta de Andalucía. (2006). *Agronomía y Poda del Olivar* (Cuarta ed.). Sevilla, Sevilla, España.

La Cal Herrera, J. A. (21 de Diciembre de 2012). *Interempresas*. Recuperado el 13 de Abril de 2020, de <https://www.interempresas.net/Produccion-Aceite/Articulos/103875-Instalacion-de-gasificacion-de-restos-de-poda-de-olivar-integrada-en-una-almazara.html>

La Cal Herrera, J. A. (2017). *Valorización energética de subproductos del olivar y sus industrias de transformación* (Primera ed.). Jaén, España: Fundación Caja Rural de Jaén.

La Cal Herrera, J. A. (s.f.). *Bioliza*. Recuperado el 29 de Marzo de 2020, de http://es.up-running.eu/wp-content/uploads/sites/13/2018/03/5_Restos-Olivos-Jaen-BIOLIZA.pdf

Manso Ramírez, A. (2010). Aprovechamiento energético de la biomasa del olivar y maquinaria disponible. *Vida rural*, 4.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (s.f.). *Agencia de información y control alimentarios (AICA)*. Recuperado el 12 de Marzo de 2020, de <https://www.aica.gob.es/>

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (s.f.). *MAPAMA*. Recuperado el 15 de Marzo de 2020, de <https://www.mapa.gob.es/es/>

Moya López, A. J. (2013). *Aprovechamiento de los residuos del olivar*. Jaén, Jaén, España.

Nogales, C. (5 de Marzo de 2018). *oleícolajaén*. Recuperado el 9 de Abril de 2020, de <https://www.oleicolajaen.es/la-poda-del-olivar-aspectos-generales-interes/>

Ostargi, Energías alternativas. (s.f.). Recuperado el 13 de Abril de 2020, de <http://ostargi.biz/trituradoras/astilladoras/astilladoras-fijas/>

PAC. (s.f.). Recuperado el 7 de Abril de 2020, de <https://www.mapa.gob.es/es/pac/>

Sacyr Industrial. (s.f.). Recuperado el 13 de Abril de 2020, de http://www.sacyrindustrial.com/es_es/

SIGPAC, Junta de Andalucía. (s.f.). *SIGPAC*. Recuperado el 8 de Abril de 2020, de
<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/sigpac/index.xhtml>