



2025 | **16-20**
GIJÓN | **JUNIO**

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1731

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza





Recolección mecanizada de restos de poda de olivo para la obtención de biocombustibles sólidos

BADOS, R. (1), CIRIA C.S. (1), PÉREZ, J. (1), CORREDOR, R. (1), ESTEBAN, L.S. (1), FRAILE, J.M. (2), FERNÁNDEZ, M.J. (1)

1. CEDER-CIEMAT. Centro de Desarrollo de Energías Renovables – Centro de Investigaciones
2. Hacienda Ortigosa, S.L.

Resumen

El proyecto CBE4i (Clean Bioenergy for Industry) tiene como objetivo el desarrollo de una tecnología novedosa y flexible de gasificación altamente eficiente, con cero emisiones y residuos. Para ello se buscan biomásas mediterráneas de bajo coste, como las podas de olivo. La puesta en valor de esta biomasa depende en gran medida de la viabilidad técnica y económica de su recolección mecanizada. En este trabajo se presentan los resultados de una prueba de recolección de restos de poda de olivo (*Olea europea* var. arbequina) con desbrozadora-trituradora López-Garrido TBA 2300 en una plantación en superintensivo (marco de 1.7 x 4 m) de 12 años de edad en Calahorra (La Rioja). Con este equipo se recolectaron 3.23 tMH/ha (2.19 tMS/ha), con una productividad de 1.96 tMH/PMH (1.33 tDM/PMH) y una eficiencia de recolección del 74.1%, siendo estos rendimientos más favorables que los obtenidos con otros equipos en experiencias previas (Facma Comby TR200 y Shredder Nobili TRP RT 175). Además, se muestra el rendimiento y el consumo energético del pretratamiento de la biomasa en un triturador de rotación lenta (Silmisa Lince-45/140, 90 kW) para obtener material triturado a 30 mm (clasificado como P16 y con un contenido de finos inferior al 15% según ISO 17225-9) y la caracterización físico-química del biocombustible obtenido.

Palabras clave

Biocombustible, desbrozadora-trituradora, rendimientos, pretratamientos, caracterización físico-química

1. Introducción

En la actualidad existe un aumento de la superficie de cultivos bajo un manejo convencional intensivo o superintensivo, como es el caso del olivar. En España se destinan 2.6 millones de hectáreas a este cultivo, con un 23% en regadío y alrededor del 5,6% en condiciones superintensivas. Este sistema se caracteriza por densidades de plantación muy altas, poda y cosecha mecanizada, con la práctica totalidad en riego localizado (95%) y con fertirriego (RUFAT et al., 2022). En La Rioja y Navarra, desde hace más de 25 años se realizan plantaciones de olivar en superintensivo, con densidades superiores a 1600 pies/ha, apostando por un modelo de cultivo que permite mejorar la productividad frente a una explotación tradicional y reducir los costes de recolección (ABÓS et al., 2007; PÉREZ-MOHEDANO et al., 2012). De las tres variedades de olivo que se plantan en esta zona (arróniz, empeltre y arbequina), la variedad arbequina se extiende de forma



generalizada en las plantaciones para recolección con cosechadora cabalgante, por su vigor reducido (SANTOS et al, 2008). La plantación para recolectar con este tipo de cosechadoras requiere una anchura de calles mínima de 4 m y una distancia entre árboles entre 1.5 y 2 m, con líneas orientadas Norte-Sur para evitar el sombreado de una línea sobre la contigua. La forma del olivo de eje central es la que mejor se adapta a la formación del seto continuo que requieren las cosechadoras. Una vez que los árboles alcanzan la altura máxima que permite la cosechadora y se han eliminado todos los brotes de la base del tronco hasta una altura de 50 cm, las podas anuales de formación se limitan al control de la altura del arbolado para no sobrepasar los 3 m y a la eliminación de ramas vigorosas que salgan hacia la calle, favoreciendo a las que crecen en el sentido de la línea (SANTOS et al, 2008; PÉREZ-MOHEDANO et al., 2020).

Los residuos de poda de olivo representan un problema para el agricultor. El incremento de las restricciones para quemar el residuo en campo conlleva la necesidad de eliminar las podas mediante trituración creando una capa de mulch en el suelo, lo que conlleva afrontar nuevos costes y posibles riesgos de plagas y enfermedades. Por otro lado, las podas de olivo son una importante fuente de biomasa que está todavía sin explotar por falta de equipos que hagan rentable su recolección. En general, la maquinaria disponible está diseñada para podas de viñedo y no tiene la robustez suficiente para procesar ramas de mayor grosor. En los últimos años se han hecho pruebas con nuevos equipos pre comerciales, como una trituradora autopropulsada (200 kW) con un remolque de 23 m³ o una astilladora de madera modificada acoplada a un tractor de conducción reversible con un contenedor de 10 m³ (GIANNI y SPINELLI, 2021). También se han probado otros equipos comerciales, como los trituradores Facma Comby TR200 y Shredder Nobili TRP RT 175, pero se necesitan nuevas pruebas de recolección con otros equipos que permitan mejorar los rendimientos de recolección y disminuir los costes de la recogida. La disponibilidad de maquinaria fiable para la recolección de podas de olivo puede jugar un papel crucial en zonas con alta densidad de olivar, no sólo por el servicio que se pueda ofrecer a los agricultores, sino también para movilizar una importante fuente de energía para grandes centrales de biomasa, algunas de las cuales ya se alimentan con biomasa de residuos de aceituna procedentes del proceso de producción de aceite.

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es estudiar la viabilidad técnica de la recolección mecanizada de las podas de olivo (*Olea europea* var. arbequina) con un equipo triturador-recolector de biomasa (López Garrido TBA serie 2300), evaluar los procesos de pretratamiento para producir astilla para uso industrial y realizar una caracterización físico-química del biocombustible obtenido.

3. Metodología

Área de estudio. Las pruebas de recolección se realizaron en abril de 2024 en dos parcelas de olivo (*Olea europea* variedad arbequina) (polígono 21, parcela 87 y polígono 30, parcela 117) en Calahorra (La Rioja), propiedad de Hacienda Ortigosa.



S.L.

Material vegetal. Se recolectaron los restos de la poda anual de formación de una plantación de olivo en superintensivo, con un marco de plantación de 1.7 x 4 m y 12 años de edad.

Recolección de biomasa. Para la recolección de las podas de olivo se empleó un equipo triturador-recolector de biomasa (López Garrido TBA serie 2300), accionado por un tractor Valtra T194D (196 hp) adaptado al trabajo forestal y con puesto de conducción invertido, que permite controlar el triturador que trabaja suspendido en el alzamiento tripuntal trasero del tractor. En la parte frontal, el tractor dispone de un contenedor de 5 m³ y 1400 kg de carga máxima, para almacenar el material triturado que es conducido de manera neumática desde el triturador. Para el estudio de rendimientos se cronometraron tiempos operativos de recolección mediante el servicio de telemetría Valtra Connect, implementado en el tractor, que permite controlar de forma remota, entre otros parámetros, las horas de trabajo productivo, la velocidad del tractor, el consumo de combustible y aditivos, así como ver un mapa de los lugares por los que se ha conducido el tractor. El pesaje de la biomasa recolectada diariamente se realizó en una báscula de pesaje de vehículos en las instalaciones del CEDER-CIEMAT. La eficiencia de recolección del equipo se calculó como la relación entre el peso de biomasa recolectada y el peso de la biomasa de podas existente antes de su recolección (suma de biomasa recolectada y pérdidas en el suelo tras el paso de la máquina).

Acondicionamiento de la biomasa. La biomasa recolectada se trituró con malla de 30 mm en un triturador mono rotor a baja velocidad y alimentación forzada, con una potencia de 90 kW y una capacidad de producción de 1000 kg/h (Silmissa Lince-45/140), ubicado en el CEDER-CIEMAT. Las variables de proceso registradas fueron el flujo másico específico (M esp., kgMS/h kW) y la energía específica (E esp., kWh/tMS). El flujo másico específico se calculó como la masa de materia seca triturada (kgMS) dividido entre el tiempo utilizado para triturar, expresado en horas y por la potencia del triturador. La energía específica se calculó como la energía eléctrica activa demandada por los equipos de trituración, molienda y peletizado (kWh), dividido entre la masa seca del material obtenido en cada proceso (tMS). Estas medidas se registraron cuando el triturador alcanzó un estado estacionario de trabajo.

Análisis del biocombustible. En el Laboratorio de Caracterización de Biomasa del CEDER-CIEMAT se procedió a analizar la biomasa triturada a 30 mm. Las muestras de laboratorio se prepararon según la norma internacional ISO 14780:2017, mediante procesos de homogeneización, división, secado y molienda. Los métodos analíticos y estándares utilizados en el laboratorio se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Métodos analíticos y estándares utilizados en el Laboratorio de Caracterización de Biomasa del CEDER-CIEMAT

Propiedad	Método analítico/equipo	Norma
Densidad a granel	Masa en un volumen conocido	ISO 17828:2015
Distribución granulométrica	Separación por tamización	ISO 17827-1 y -2:2016
Análisis inmediato: Humedad Ceniza	Secado a 105 °C Calcinación a 550 °C	ISO 18134-2:2024 ISO 18122:2022
Análisis elemental: C, H, N S, Cl	Análisis elemental (Leco, TruSpec) Cromatografía iónica (Metrohm, 883 Basic IC Plus) después de la combustión en bomba calorimétrica	ISO 16948:2015 ISO 16994:2016
Poder calorífico	Calorimetría automática (Ika, C5000)	ISO 18125:2017

4. Resultados

Los resultados de las pruebas de recolección de restos de poda de olivo con desbrozadora-trituradora López-Garrido TBA 2300 se muestran en la Tabla 2. Se recogieron 1.73 tMH, con un contenido de humedad de 32.1% (1.17 tMS) en 0.54 ha durante 0.88 h. Los valores medios de productividad obtenidos fueron de 3.23 tMH/ha (2.19 tMS/ha) con un rendimiento medio de 0.61 ha/PMH. En base a los muestreos realizados en campo, la eficiencia de recolección de las podas fue del 74.1%, quedando en el suelo 1.13 tMH/ha (0.76 tMS/ha). El consumo de gasoil fue de 6 litros/h. El resultado de la recolección fue satisfactorio y el equipo pudo trabajar de manera adecuada entre las calles de 4 m de anchura. La longitud del equipo (tractor, desbrozadora-trituradora y contenedor), próxima a los 10 m y la altura del tractor y el contenedor (3.5 m), requirieron anchuras mínimas en las cabeceras de las calles de 13 m.

Tabla 2. Rendimiento, productividad y eficiencia de los trabajos de recolección de restos de poda de olivo con desbrozadora-trituradora López-Garrido TBA 2300



Product. horaria (tMH/PMH)	Product. horaria (tMS/PMH)	Product. superf. (tMH/ha)	Product. superf. (tMS/ha)	Rdto. (ha/PMH)	Eficiencia recolección (%)
1.96	1.33	3.23	2.19	0.61	74.1



tMH: tonelada de materia húmeda; tMS: tonelada de materia seca; PMH: hora productiva; Product. superf.: productividad superficial; Rdto.: rendimiento

Los resultados del proceso de trituración de poda de olivo en la planta piloto de trituración y molienda del CEDER-CIEMAT se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de las pruebas de trituración a 30 mm de poda de olivo

Flujo másico específico (kgMS/h kW)	Energía específica (kWh/tMS)	Humedad (%)
14.0	14.5	32.0

En la Tabla 4 se observa la caracterización física y química básica de la biomasa de poda de olivo triturada a 30 mm con una humedad inferior a la del momento de recolección.

Tabla 4. Caracterización de la poda de olivo triturada a 30 mm

Parámetro	Valor
Humedad (% base húmeda)	
ANÁLISIS INMEDIATO (% base seca)	
Cenizas (550 °C)	17.1
ANÁLISIS ELEMENTAL (% base seca)	
Carbono	2.9
Hidrógeno	49.4
Nitrógeno	6.4
Azufre	0.92
Cloro	0.07
Cloro	0.04
PODER CALORÍFICO (MJ/kg)	
Superior (H= 0.0% b.h.)	19.90
Inferior (H= 0.0% b.h.)	18.50
Inferior (H= 17.1% b.h.)	14.92
DENSIDAD A GRANEL (kg/m ³ húmedo)	204.8
Densidad	(% parcial sobre material húmedo)
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	5.84
malla tamiz (mm):	9.71
+31,5	35.03
-31,5+16	32.90
-16+8	2.40
-8+3.15	4.99
-3.15+2.8	3.43
-2.8+2	2.17
-2+1,4	2.62
-1,4+1	0.77
-1+0,5	0.1
-0,5+0,25	0.03
-0,25+0,125	0
-0,125+0,063	
-0.063	

5. Discusión

Los resultados de recolección con López Garrido TBA 2300 (1.33 tMS/PMH) son ligeramente más favorables que los llevados a cabo con otros equipos utilizados para la recolección de poda de olivo en pruebas enmarcadas en otro proyecto demostrativo (CIRCE, 2019). En él se obtuvieron cifras de 1.13 y 1.08 tMS/PMH con el triturador Nobili TRP RT 175 en Modugno y Lucera (Italia), respectivamente. Sin embargo, el rendimiento fue menor que con el equipo Facma Comby TR200 (1.88 tMS/PMH) en Livadeia (Grecia). El consumo de combustible requerido también fue menor, 6 litros/h con López Garrido TBA 2300 frente a 12 l/h de media en los otros equipos. Por otro lado, el equipo López Garrido TBA 2300 junto con el contenedor



de 5 m³ no requiere utilizar big-bags, a diferencia del equipo Nobili TRP RT 175, lo que implica un importante ahorro económico. Existen empresas que ofrecen el servicio de recogida de poda de forma gratuita, si las ramas de poda están dispuestas en hileras, o por una tarifa de 20-30 €/ha, en función de la densidad de plantación de olivos. Otras empresas llegan a acuerdos comerciales con agricultores o cooperativas agrícolas mediante podas a cambio de compost (CIRCE, 2019).

En relación con el pretratamiento de la biomasa, a falta de más pruebas de trituración con otras biomásas de olivo con las que comparar en la misma planta piloto, las cifras de rendimiento y consumo energético del biocombustible obtenido (14.0 kgMS/h kW y 14.5 kWh/tMS) son algo menos favorables a las de otras biomásas, como la estepa de montaña, trituradas a 30 mm en el mismo triturador (16.6 kgMS/h kW y 11.7 kWh/tMS) (BADOS, 2023).

En cuanto a las características físico-químicas del material triturado a 30 mm, se observa en la Tabla 4 que el tamaño de partícula se sitúa principalmente en las fracciones superiores al 3,15% con más del 83% del material, siendo el tamaño medio de 8.1 mm y con un contenido en finos (malla de 3,15 mm) inferior al 15%. Esta granulometría genera una densidad de 204.8 kg/m³ medida a la humedad de la muestra. Los valores de ceniza, CHN, Cl-S y poder calorífico son similares a los de otras muestras de poda de olivo, donde la principal característica es el alto contenido de N (0.92%), S (0.07%) y Cl (0.04%) (FERNÁNDEZ et al, 2018), lo que puede estar relacionado con el incremento del uso de fertilizantes en cultivos en superintensivo frente al cultivo tradicional y a la mayor proporción de hoja frente a madera. Esto condiciona que no se cumpla la clase de calidad I1 sino la clase I2, según la parte 9 de la norma de Biocombustibles sólidos: Especificaciones y clases de combustibles. Parte 9: Clases de combustible triturado y astillas de madera para uso industrial (ISO 17225-9:2021).

6. Conclusiones

Los resultados de la prueba de recolección mecanizada de los restos de poda de olivo para la obtención de biocombustibles sólidos, demuestran la viabilidad técnica de su recogida con el equipo utilizado en plantaciones superintensivas de olivo, siempre que las calles tengan una anchura libre mínima de 4 m y las cabeceras dispongan de espacio suficiente para maniobrar con el tractor provisto de la trituradora y el contenedor.

La calidad del biocombustible obtenido cumple la calidad I2 para uso industrial (ISO 17225-9:2021) debido a que el alto contenido en N, S y Cl no lo hacen apto para uso doméstico.

El aprovechamiento de esta biomasa residual de bajo coste puede contribuir a la mejora medioambiental y al desarrollo de la bioeconomía en el medio rural.



7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto europeo CBE4I (*Clean bioenergy for industry - Novel fuel flexible highly efficient and close-to-zero emission combined biomass gasification and combustion technology for industrial applications*) del programa Horizonte Europa 2023-2024.

Agradecemos a la empresa Trujal Hacienda Ortigosa poner a disposición del proyecto las parcelas de olivo en las que se realizaron las pruebas de recolección de las podas, así como la información ofrecida en relación al cultivo y los tratamientos agrícolas llevados a cabo. También a la empresa Veolia por llevar a cabo los trabajos de recolección de biomasa.

8. Bibliografía

ABÓS, J.; FABO, JM.; AGREDA, J.; OTAZU, J.; 2007. Nuevas plantaciones de olivo en regadío. Rentabilidad y futuro. Navarra agraria. ISSN 0214-6401. N°165 (5-10).

BADOS, R.; 2023. Estudio de viabilidad técnica y económica del aprovechamiento mecanizado de matorral de jara o estepa de montaña (*Cistus laurifolius* L.) con fines energéticos en pastizales abandonados de la provincia de Soria. Tesis (Doctoral), E.T.S.I. Montes, Forestal y del Medio Natural (UPM). <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.76976>.

CENTRO TECNOLÓGICO CIRCE; 2019. Deliverable D3.3 uP_running demonstration case studies analysis. WP3. Tasks 3.2, 3.3 and 3.4.

FERNÁNDEZ, M.J., BARRO, R., CORTÉS, R., BADOS, R., BRUNNER, T., KANZIAN, W., HAJOS, N., OBERNBERGER, I., KARAMPINIS, E., GRAMMELIS, P., NIKOLOPOULOS, N., ALMEIDA, T., MENDES, C., CANCELA, E., ALVES, N., CARRASCO, J.E., 2018. Quality assessment of mediterranean biofuels. 26th European Biomass Conference (900-905). En: Copenague (Dinamarca).

PÉREZ-MOHEDANO, D.; HIDALGO, J.; VICTORINO, V.; HIDALGO, JC.; ARRIAZA, M.; 2012. Mejoras en productividad y costes en plantaciones intensivas respecto a plantaciones tradicionales. Revista Vida Rural 351 (44-47).

PÉREZ-MOHEDANO, D.; HIDALGO, J.C.; HIDALGO, J.; VEGA, V.; LEYVA, A.; 2020. Manual Formativo: Poda del Olivar. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible: Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.

PICCHI, G.; SPINELLI, R.; 2011. Industrial harvester for biomass procurement of olive tree residues. 19th European Biomass Conference and Exhibition (430-431). En: Berlín (Alemania).



RUFAT, J.; PASCUAL, M.; RODRÍGUEZ-CARRETERO, I.; MORALES-ALFARO, J., QUIÑONES, A.; 2022. Fraccionamiento de la materia seca y del nitrógeno en olivo superintensivo (I). Vida Rural, Especial Olivar, octubre 22 (48-50).

SANTOS, A; LIZAR, B.; GARNICA, J.J.; I., BLÁZQUEZ, M.A., RUIZ, A., ESTEBAN, L.S.; 2008. Guía práctica para las Nuevas plantaciones de olivo. ITG Agrícola de Navarra, N° 171,29-32.