

Guía de

Biocombustibles sólidos de origen agroindustrial

**Promoviendo soluciones de calor con
agrobiomasa en áreas rurales de Europa**

2022



Este proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizon 2020 de la Unión Europea en virtud del Acuerdo de subvención no 818369

ACERCA DE ESTE DOCUMENTO

La publicación “Guía de Biocombustibles sólidos de origen agroindustrial”, realizada por la Asociación Española de Biomasa (AVEBIOM) y el Centro de Investigación y Tecnología de Hellas (CERTH) de Grecia, forma parte de una serie de guías elaboradas en el marco del proyecto AgroBioHeat que pretenden proporcionar un conocimiento sistemático sobre la utilización de diferentes tipos de recursos de agrobiomasa.

En particular, se centra en varios tipos de biomasa generados como subproductos de las agroindustrias que procesan productos agrícolas. Algunos ejemplos son: el hueso de aceituna, el orujo graso de las almazaras, las cáscaras de frutos secos, o de semillas de girasol, entre otros. Este tipo de subproductos se generan con unos costes bajos. Esto, unido a sus buenas propiedades como combustible, los hacen muy atractivos para una amplia gama de aplicaciones bioenergéticas, desde la calefacción doméstica hasta la generación de calor o energía industrial a gran escala.

El proyecto AgroBioHeat tiene como objetivo producir un despliegue masivo de soluciones de calor renovable a partir de agrobiomasa. La agrobiomasa es un recurso autóctono de gran potencial, y apenas explotado, que puede contribuir a la consecución de los objetivos europeos en materia de energía y clima, al tiempo que promueve el desarrollo rural y la economía circular. El proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención nº 818369.

Para más información sobre el proyecto, visite:

www.agrobioheat.eu

Este documento refleja únicamente la opinión de los autores. La Agencia Ejecutiva Europea de Clima, Infraestructuras y Medio Ambiente (CINEA) no es responsable del uso que pueda hacerse de la información que contiene.

Beneficiario principal
Principales autores



Contribuciones

AVEBIOM

Pablo Rodero Masdemont

AVEBIOM

Daniel García Galindo

AVEBIOM

Alicia Mira Uguina

AVEBIOM

Manolis Karampinis

CERTH

Semeon Drahnev (UABIO)

Tetiana Zheliezna (UABIO)

Depósito LEGAL

DL VA 211-2022



Contenidos

INTRODUCCIÓN: BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS AGROINDUSTRIALES 7

¿RESIDUOS, SUBPRODUCTOS O RESTOS? 10

HUESO DE ACEITUNA 11

DESCRIPCIÓN 11

POTENCIALES Y DISTRIBUCIÓN EN EUROPA 13

EJEMPLOS DE CASOS 17

Huesos de aceituna en un colegio en Granada 17

Primer hotel de Jaén que utiliza huesos de aceituna 18

ORUJILLO DE ACEITUNA 'ORUJO DE ACEITUNA EXTRACTADO' 21

DESCRIPCIÓN 21

POTENCIALES Y DISTRIBUCIÓN EN EUROPA 23

CARACTERÍSTICAS: ¿DÓNDE Y CÓMO SE UTILIZA? 24

EJEMPLOS DE CASOS 25

Gasificación de orujo de aceituna seco en Aceites Guadalentín 25

VIOPAR S.A. - La mayor y más reciente central eléctrica de biomasa de Grecia 27

CLAVES PARA LA UTILIZACIÓN DEL ORUJILLO 28

CÁSCARAS DE FRUTOS SECOS 29

DESCRIPCIÓN 29

Cáscaras de almendra 30

Cáscaras de piñones 30

Piñas troceadas (Cáscara de piña) 31

Cáscaras de avellana 32

Cáscaras de pistacho 32

Cáscaras de nuez 32

Cáscaras de almendra 33

CARACTERÍSTICAS: ¿DÓNDE Y CÓMO SE UTILIZA? 38

EJEMPLOS DE CASOS 40

Uso cáscaras de almendra para producir pimentón 40

Utilización de cáscaras de almendra en un invernadero de flores ornamentales 41

CLAVES PARA LA UTILIZACIÓN DE CÁSCARAS 42

CÁSCARAS DE GIRASOL 43

DESCRIPCIÓN 43

POTENCIALES Y DISTRIBUCIÓN EN EUROPA 44

CARACTERÍSTICAS: ¿DÓNDE Y CÓMO SE UTILIZA? 47

EJEMPLOS DE CASOS 49

Utilización de cáscaras de girasol para la extracción de aceite de girasol y la producción de energía en Ucrania 49

Uso de pellets de cáscara de girasol en calderas domésticas de biomasa 50

Calefacción de invernaderos con pellets de cáscara de girasol 50

Suministro del centro comercial con pellets de cáscara de girasol 50

CLAVES PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS CÁSCARAS 51

OTROS SUBPRODUCTOS 52

Harina de granilla de uva 52

Marro de café 54

Huesos de fruta 55

Cascarilla de arroz 56

Zuro de maíz 56

Restos del desmotado de algodón 57

Subproductos agroindustriales importación 57



ABREVIATURAS

Abreviatura	Explicación
b.s.	Base seca (al objeto de análisis de laboratorio, biomasa sin humedad)
CHP	Calor y energía combinados
CTN	Normalización Comité técnico
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
H2020	Programa de financiación Horizonte 2020
ha	Hectárea
ICNF	Instituto para la Conservación de la Naturaleza y los Bosques (Portugal)
kWe	Kilovatios eléctricos
kWh	Kilovatio hora
m	Relativo a masa (ejemplo: m-% b.s., significando porcentaje de masa, expresado en base seca)
MC	Marro de café
Mha	Millones de hectáreas
MITECO	Ministerio de Transición Ecológica de España
mm	milímetros
MW	Megavatios
MWt	Megavatios térmicos
PCI	Poder Calorífico Inferior
PM	Materia particulada
RD	Decreto Real
s.r.	Según se recibe (en referencia al formato de la biomasa objeto de análisis)
t	Tonelada
t/a	Toneladas por año
UE	Unión Europea
UNE	Asociación Española de Normalización
UNI	Asociación Italiana de Normalización



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Límites de los principales parámetros de los huesos de aceituna según certificación BIOmasud®	15
Tabla 2. Valores típicos del orujillo.....	24
Tabla 3. Producción de cáscaras de almendra por país en toneladas por año.....	33
Tabla 4. Potencial teórico anual de cáscaras de piñón (en toneladas) por país.....	35
Tabla 5. Potencial teórico anual de piñas troceadas (en toneladas) por país.....	35
Tabla 6. Potencial teórico anual de cáscaras de avellana (en toneladas) por país.....	36
Tabla 7. Potencial teórico anual de cáscaras de pistacho (en toneladas) por país.....	36
Tabla 8. Potencial teórico anual de cáscaras de nuez (en toneladas) por país	xx
Tabla 9. Límites de los principales parámetros de las cáscaras de frutas secas según BIOmasud®	38
Tabla 10. Los 10 principales países productores de girasol en el mundo.....	44
Tabla 11. Los 10 principales países productores de girasol en la UE.....	45
tabla 12. Composición indicativa del combustible - pellets de cáscara de girasol.....	47
Tabla 13. Valores típicos del polvo de huesos de uva	53
Tabla 14. Porcentaje en peso del endocarpio de varios frutos.....	55
Tabla 15. Valores típicos de los huesos de melocotón.	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Las partes de un fruto del olivo.....	11
Figura 2. Huesos de aceituna limpios y secos valorizados.....	12
Figura 3. Balance de masas en la producción de aceite de oliva en dos fases.....	12
Figura 4. Distribución del potencial teórico de hueso de aceituna en la UE + Turquía + Albania (2019).	13
Figura 5. Potencial teórico anual de huesos de aceituna (en toneladas) por país.....	14
Figura 6. Huesos de aceituna.....	16
Figura 7 y 8. CES Ramón y Cajal y sala de calderas con los principales elementos de la instalación.	17
Figura 9. Hotel Spa Sierra de Cazorla.....	18
Figura 10. Alternativas de obtención de biocombustibles sólidos (orujo graso, orujillo y hueso de aceituna) en las almazaras e industrias de extracción de aceite de orujo.	22
Figura 11: Producción de orujillo (orujo de aceituna extractado) por país en toneladas por año (2019).....	23
Figura 12. Orujillo	24
Figura 13. Unidad de gasificación de orujo graso seco (4 MWt y 1 MWe)	26
Figura 14. Balsa de alpeorujo.....	26



LISTA DE FIGURAS

Figura 15. Foto aérea de la central de biomasa de 5 MWe de VIOPAR S.A. en Volos, Grecia.....	27
Figura 16. La zona de almacenamiento de orujillo y el horno de VIOPAR	27
Figura 17. Cáscaras de almendra tal y como se obtienen de la extracción de la nuez	32
Figura 18. Cáscaras de almendra trituradas.....	30
Figura 19. Cáscaras de piñones.....	30
Figura 20. Balance de masas de las cáscaras de los piñones y de las piñas.	31
Figura 21. Conos de pino picados: piñas enteras	31
Figura 22 . Conos de pino picados: brácteas de las piñas.....	31
Figura 23. Conos de pino picados mezclados con cáscaras de piñones.....	32
Figura 24. Cáscaras de avellana.....	32
Figura 25. Cáscaras de pistacho.....	32
Figura 26. Cáscaras de nuez.	33
Figura 27: Producción de cáscaras de almendra por país en toneladas por año.	34
Figura 28: Producción de cáscaras de piñón por país en toneladas por año	34
Figura 29: Producción de piñas troceadas por país en toneladas por año	35
Figura 33. Pimientos secos en el secadero de la Cooperativa Francisco Palao	40
Figura 34. Fotografía en el secadero de la Cooperativa Francisco Palao	40
Figura 35. Caldera en invernadero con quemador de biomasa de 1 MW (delante) y otro de 2,5 MW (detrás)	41
Figura 36. Flores en el invernadero	41
Figura 37: Anatomía de una semilla de girasol	43
Figura 38: Pellets de cáscara de girasol.	44
Figura 39: Zonas de producción de girasol en Europa	45
Figura 40: Evolución del rendimiento de las semillas de girasol de 1961 a 2019	46
Figura 41: Instalación de cogeneración de biomasa para una planta ucraniana de refinado de aceite de girasol	49
Figura 42. Balance de masas de la harina de granilla de uva	52
Figura 43: Pellets de harina de granilla de uva	53
Figura 44: Harina de granilla de uva.....	53
Figura 45: Marro de café	54
Figura 46: Huesos de melocotón enteros.....	55
Figura 47: Huesos de melocotón triturados.....	55
Figura 48: Algodón sembrado en una planta de desmotado de algodón	57
Figura 49: Subproductos del desmotado del algodón utilizados en una planta de cogeneración de 1 MWe	57



Introducción:

biocombustibles sólidos agroindustriales

Los biocombustibles sólidos de origen agroindustrial se obtienen como subproducto de los diferentes procesamiento de productos agrícolas en una agroindustria (industrias de aceite vegetal, instalaciones de procesamiento de frutos secos, y otras). Su gestión no siempre es efectiva y, en ocasiones, se consideraban un problema medioambiental al acumularse grandes cantidades sin un tratamiento o destino adecuado. Por ejemplo, hasta hace 20-30 años el orujo graso de almazara (la masa de pulpa, pieles y hueso de aceituna machacado restante tras la obtención del aceite de oliva) se acumulaba en balsas que se filtraban a los acuíferos. Estos restos se han ido incorporando a cadenas de valor principalmente energéticas, en grandes industrias, o bien para pequeños y medianos consumos. Eso sí, no siempre a través de tecnologías modernas y optimizadas.

Otros, como las cáscaras de almendra, también se utilizan localmente en las cocinas y estufas tradicionales, pero las cantidades que puede producir una instalación de procesamiento de frutos secos en un plazo de tiempo muy reducido suelen estar muy por encima de estos consumos. De ahí que su uso actual implique cadenas de distribución más allá del entorno local.

Las diferentes agroindustrias producen una gran variedad de subproductos que, por lo general, pueden ser aprovechados para la producción de bioenergía o como materia prima para otro tipo de aplicaciones. Sin embargo, cuando se trata de utilizar estos subproductos como biocombustibles sólidos hay ciertas variables que condicionan su utilización:

Contenido de humedad: muchos subproductos orgánicos agroindustriales tienen un alto contenido de humedad (bagazos, orujos, pieles, etc.). Aunque es posible quemar estas fracciones en instalaciones especializadas, es más frecuente utilizarlas como materia prima para la alimentación animal o con fines de producción de biogás, o incluso biocarbón. Biomásas como las cáscaras, cascarillas (cereales, por ejemplo), los huesos u otros que tienen un contenido de humedad relativamente bajo, y después de un proceso de secado (que puede ser al aire libre), pueden valorizarse más fácilmente como biocombustibles sólidos. Además, su bajo contenido de humedad aumenta su densidad energética, lo que facilita el almacenamiento y el transporte.

Cantidades: una de las principales ventajas de los biocombustibles sólidos agroindustriales es que las cantidades producidas son importantes, y se concentran en una o varias instalaciones concretas. Esto conlleva implicaciones a nivel de la escala local y la escala nacional:

Nivel macro (es decir, país, región). Los subproductos más utilizados en la actualidad han desarrollado mercados más fácilmente al darse una enorme producción concentrada en una región. Un ejemplo es el hueso de aceituna, muy utilizado en bioenergía en España porque la producción de aceite de oliva es ingente, y con ello se trata de un subproducto generado en grandes cantidades, y al que se le han ido encontrando usos, principalmente bioenergéticos. La evolución hace que cada vez



se obtenga un hueso separado del orujo graso de aceituna, con mejor calidad, y utilizado en tecnologías adecuadas, abanderándose como un ejemplo de fuente de energía renovable y económica. Sin embargo, hay otros países con pequeñas producciones de aceite de oliva, y en los que el mercado del hueso de aceituna aún no está del todo desarrollado.

Nivel local (*origen, y entorno de las instalaciones de la agroindustria*). Es importante que la instalación produzca un cierto nivel de cantidades del subproducto. Si las cantidades son bajas es difícil que, la instalación invierta en modificaciones o mejoras para valorizar (dotar de mayor calidad, mejorar) dicho subproducto. Por otra parte, el producto sin valorizar, es más difícil que encuentre un mercado, ya que para su uso muchas pequeñas instalaciones no podrán utilizarlo, o precisarán modificaciones para poder consumirlo, algo no siempre fácil de conseguir con pequeños usuarios.

No hay otros usos: normalmente, si un subproducto se utiliza como biocombustible sólido es porque no hay otro uso posible o, al menos, el uso alternativo no es capaz de absorber todas las cantidades producidas. Por ejemplo, muchos subproductos tienen un bajo contenido en proteínas y valor nutricional y, por tanto, no son relevantes para su uso como alimento para animales. Los huesos de aceituna pueden ser utilizados por la industria cosmética para producir cremas exfoliantes, pero se trata de un nicho de mercado, con cuotas extremadamente pequeñas respecto al volumen de subproducto generado.

Si existe o se desarrolla un mercado alternativo no energético, los productores de estos subproductos pueden conseguir precios más altos y les darán prioridad respecto a su uso energético.

Europa tiene un importante potencial de subproductos agroindustriales que pueden utilizarse como biocombustibles sólidos debido a la diversidad de cultivos y agroindustrias que los procesan. Países como España, Italia y Grecia con el aceite de oliva, Rusia y Ucrania con el aceite de girasol, y Turquía con los frutos secos, son líderes mundiales en la producción de estos cultivos y, en consecuencia, en sus respectivos subproductos del proceso de transformación.

Dependiendo de los procesos a partir de los cuales se obtienen los subproductos agroindustriales, los biocombustibles sólidos resultantes tienen diferentes calidades. Los subproductos que sólo se sometieron a un tratamiento físico (separación en la mayoría de los casos) tienen una buena calidad como biocombustible sólido y son aptos incluso para el uso doméstico en pequeñas calderas o incluso estufas. Es el caso del hueso de aceituna, las cáscaras de frutos secos, el hueso de melocotón, etc., simplemente se precisa ajustar la humedad (dejar secar almacenados, y protegerlos de la lluvia) y modificar la granulometría en algunos casos para homogeneizarlos (trocear, eliminar restos de pulpa, cribar los finos y gruesos, etc.).

Las biomásas procedentes de procesos de extracción de aceite (orujo de aceituna, harina de granilla de uva) que han sufrido una extracción química con



hexano y que están compuestas principalmente por la pulpa del fruto sometida a dicho proceso, suelen tener más cenizas y otras características o componentes (por ejemplo, cloro) que no las hacen aptas para sistemas de combustión más pequeños; por ello, son más adecuadas para aplicaciones industriales.

Algunos de los subproductos agroindustriales ya tienen un mercado bastante desarrollado, ya sea para aplicaciones industriales o domésticas con fines bioenergéticos; es el caso del orujo de aceite de oliva y el hueso de aceituna en España.

Eso sí, como se anticipaba, esta situación es variante, y no todos los países tienen ya un mercado para estos subproductos. El objetivo de esta Guía es compartir parte del conocimiento y el estado del arte en la valorización de estos subproductos a partir de las experiencias de los países con mercados más avanzados y de casos concretos y ejemplarizantes.

Como muestra la guía en las siguientes secciones, el potencial de los subproductos agroindustriales en Europa es ingente, de manera que puede ser una fuente notable para obtener biocombustibles sólidos agroindustriales, algo que podría apoyar la transición energética y ayudar a la Unión Europea a alcanzar los objetivos de descarbonización para 2030 y 2050 de forma rentable. Sin embargo, es esencial utilizar estos biocombustibles sólidos con tecnologías apropiadas y modernas, adaptadas a las peculiaridades del combustible, para evitar funcionamientos defectuosos y asegurar unas bajas emisiones de agentes contaminantes.





¿Residuos, subproductos o restos?

agroindustrias. La cuestión es que -al menos en el contexto legal europeo, tal y como se define en la Directiva Marco de Residuos- estos términos tienen implicaciones diferentes.

Para comprender dónde surge la problemática del término “residuo”, se adjunta la comparativa de nomenclatura inglesa y española, en la que, como se aprecia los términos ingleses “waste” y “residue” ambos se traducen como residuo, teniendo, sin embargo, connotaciones legales diferentes.

Conforme a las regulaciones relativas a la gestión de residuos, la definición de los criterios para la caracterización de un “residuo de producción” como “subproducto” puede hacerse a nivel europeo mediante actos de aplicación (implementing acts) de la Comisión Europea, o a nivel de los Estados miembros, tras un procedimiento de notificación. Es el caso, por ejemplo, de la nota aclaratoria de mayo de 2021, publicada por la Subdirección General de Economía Circular (del Ministerio de Agricultura), aclarando que el hueso de aceituna obtenido

mediante métodos mecánicos o físicos es un material biomásico procedente de la agroindustria, natural, no peligroso y que se utiliza para generar energía sin poner en peligro la salud humana ni el medio ambiente

El estatus legal de los “residuos de producción” de las agroindustrias se complica a menudo por la ausencia de tales regulaciones, sean a nivel de la UE como de los Estados miembros. En el momento de redactar este documento, en España se está llevando a cabo un proceso para considerar el orujillo (obtenido del proceso de extracción química del “aceite de orujo de oliva” a partir del orujo graso) como “subproducto”¹, si bien todavía no hay actos jurídicos nacionales vinculantes.

Los autores de esta Guía consideran que los tipos de biomasa que en ella se contemplan cumplen, en general, los criterios para su caracterización como “subproductos”, al menos en los Estados miembros donde se concentra su producción. Sin embargo, y para evitar malentendidos, a lo largo de la Guía se emplea el término más neutro de “subproducto”.

Vocablo en inglés	Vocablo en castellano	Significado (respecto al que denota el vocablo en lengua inglesa)
Product	Producto	El material u objeto que se crea deliberadamente en el proceso de producción
Production residue	Residuo	Material que se genera sin ser el propósito principal del proceso productivo.
Waste	Residuo	El material, objetos que el productor desea o es requerido a descartar, cumpliendo y a tal fin de cumplir con unos requerimientos legales específicos
By-product	Subproducto	Un “residuo de producción” (production residue) que no se considera “residuo” (“waste”) por razones como: tener un uso, y que éste pueda realizarse de acuerdo a la legalidad, sin dañar la salud de las personas o sin perjudicar el medioambiente.

¹ (FIN DE PLAZO 2020-11-30) Proyecto de Orden Ministerial por la que se determina cuándo los orujos grasos procedentes de almazara y destinados a la extracción de aceite de orujo de oliva crudo se consideran subproductos, con arreglo a la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/participacion-publica/PP-Residuos-2020-Proyecto-Orden-determina-cuando-orujos-grasos-extraccion-aceite-orujo-subproductos.aspx



Hueso de aceituna

DESCRIPCIÓN

El hueso de aceituna es un subproducto sólido de biomasa procedente de las aceitunas utilizadas en la producción de aceite de oliva. Se habla de manera formal no de hueso, sino del endocarpio ("hueso") del fruto del olivo. El hueso de la aceituna se encuentra en trozos triturados, ya que en el proceso de obtención del aceite, las aceitunas se muelen previamente para mejorar el proceso de extracción física del aceite. Como subproducto se obtiene una masa conformada por la pulpa y piel de la aceituna, junto con los trozos de hueso, y que se conoce como "alperujo" (en almazaras con sistemas de extracción de aceite en dos fases) u "orujo graso" de manera general. Para obtener el hueso de aceituna, las almazaras integran un proceso físico para separar el hueso de la aceituna del orujo, normalmente seguido de una etapa de secado para reducir su contenido de humedad.

Además, el hueso de aceituna también puede obtenerse en las industrias dedicadas a la obtención del "aceite de orujo de oliva", habitualmente denominadas "extractoras" o bien "orujeiras". En estos casos, el hueso de aceituna suele obtenerse del orujo graso (antes del proceso de extracción química), por lo que el hueso de aceituna no se mezcla con los productos químicos del proceso. En España, es ya una práctica habitual separar los trozos de

hueso de aceituna antes de la extracción química del aceite, por lo que el contenido de hueso de aceituna en el orujillo (subproducto de la industria orujera) está disminuyendo en los últimos años con consecuencias en el balance de masas y la calidad del mismo. En Grecia, la separación del hueso de aceituna del orujo graso no es todavía una práctica extendida.

Como alternativa, en algunos casos se puede obtener el hueso de aceituna a partir del orujillo, es decir, del subproducto de la extracción química del "aceite de orujo de oliva". Esta separación consiste en un proceso de separación física; ya no es necesario realizar un secado adicional del hueso de aceituna, puesto que el orujillo obtenido en extractora ya tiene un bajo contenido de humedad. Un resumen de las operaciones de las que se puede obtener el hueso de aceituna en la industria

del aceite de oliva y del aceite de orujo de oliva se presenta en **Figura 10**.

El contenido de humedad del hueso de aceituna, obtenido del orujo graso (bien se en la almazara o en las instalaciones de la industria orujera), es bastante elevado, en torno al 22 - 25 % en peso.

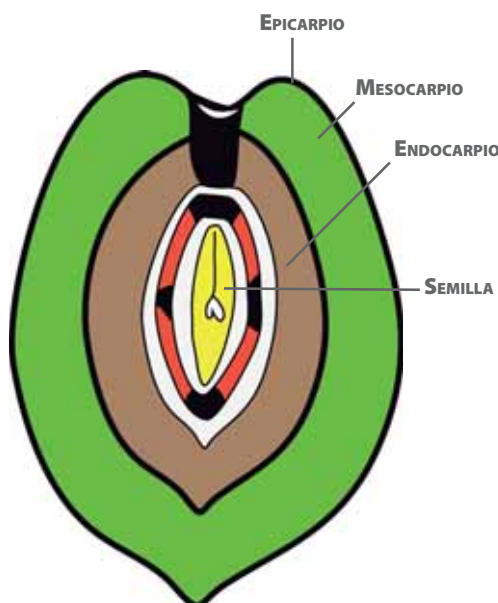


FIGURA 1

Las partes de un fruto del olivo. Fuente: AVEBIOM



Por otra parte, la capacidad de separación de todo el endocarpio de la masa del orujo graso es limitada, por lo que las fracciones más pequeñas quedan sin separar, y permanecen en la masa del orujo graso.

La extracción de aceite de oliva puede realizarse con diferentes procesos, aunque los más extendidos en Europa son los procesos de centrifugación de aceite de oliva de dos y tres fases.

El proceso de dos fases se considera el más moderno y eficiente y es el que actualmente tiene la mayor cuota de mercado. El balance de masas de un proceso de dos fases se presenta en la **Figura 3**. Cada tonelada de aceituna produce aproximadamente un 8,3% de hueso de aceituna (en peso húmedo, y expresado respecto al peso de las aceitunas procesadas); el rendimiento real puede variar en función de la variedad de aceituna y de las configuraciones técnicas de los procesos.

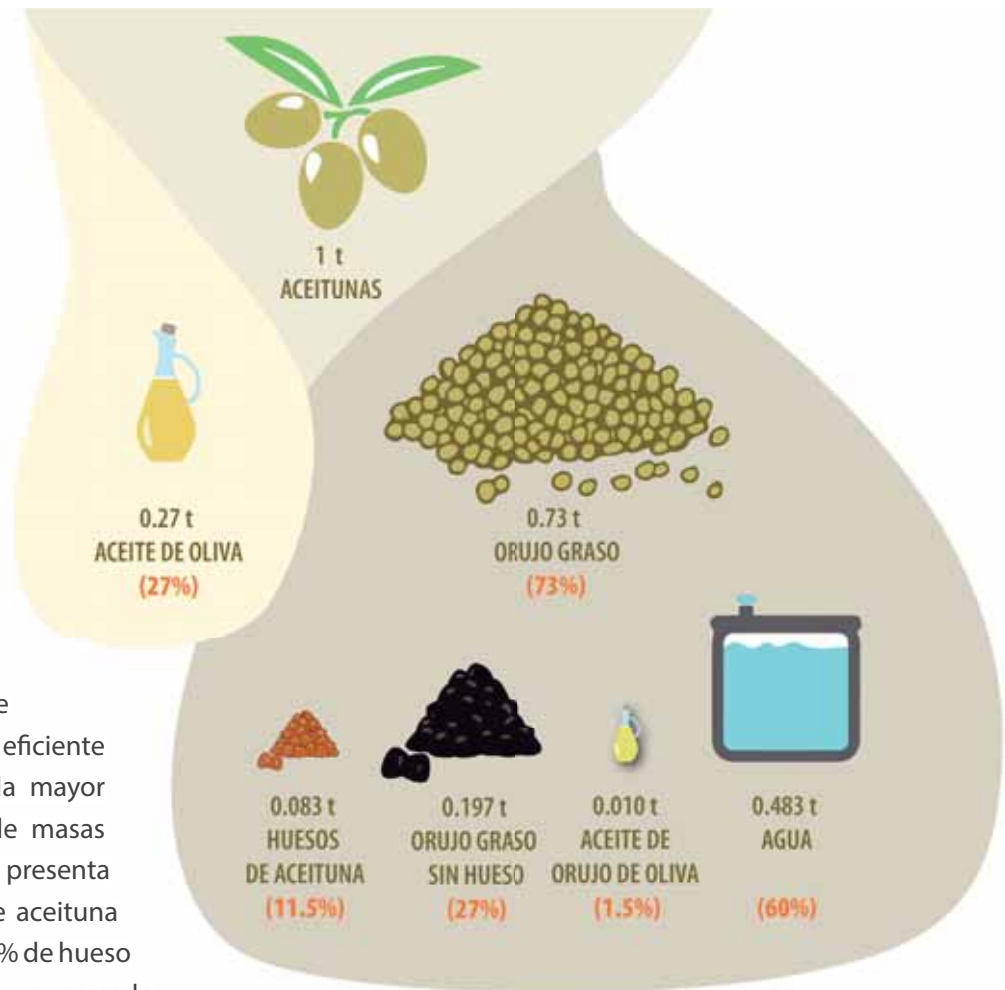


FIGURA 3

Balance de masas en la producción de aceite de oliva en dos fases. Fuente: AAE 2013

FIGURA 2

Huesos de aceituna limpios y secos valorizados. Fuente: AVEBIOM





POTENCIALES Y DISTRIBUCIÓN EN EUROPA

La disponibilidad de los huesos de aceituna está ligada al cultivo de la producción de aceite de oliva, por lo que su disponibilidad en Europa se da principalmente en los países mediterráneos. La superficie total mundial dedicada al cultivo del olivo según datos de la FAO (<http://faostat.fao.org>) es de unas 10,5 Mha (2019).

España es el primer productor mundial de aceite de oliva y, en consecuencia, el mayor productor mundial de hueso de aceituna. En España el cultivo del olivo se extiende en 2,6 Mha (2019). La segunda mayor superficie cultivada se encuentra en Túnez ocupando alrededor de 1,6 Mha (2019). Sin embargo, es destacable que en España el rendimiento medio de la aceituna es 5 veces mayor que en Túnez

(2,8 t/ha vs 0,5 t/ha). La producción europea de aceite de oliva representa más del 70% de la producción mundial.

Otros países europeos con importantes producciones de aceite de oliva son Italia, Portugal y Grecia. En cuanto a países no comunitarios que producen aceite de oliva se encuentran principalmente en la cuenca mediterránea: Túnez, Turquía, Marruecos, Egipto, Argelia o Siria, por ejemplo.

La producción de aceitunas está sometida a fuertes variaciones anuales debido a las condiciones meteorológicas, ya que gran parte de las tierras se cultivan sin riego y en climas con variaciones anuales en el régimen de lluvias.

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE HUESO DE ACEITUNA POR PAÍSES (promedio 2010- 2019)

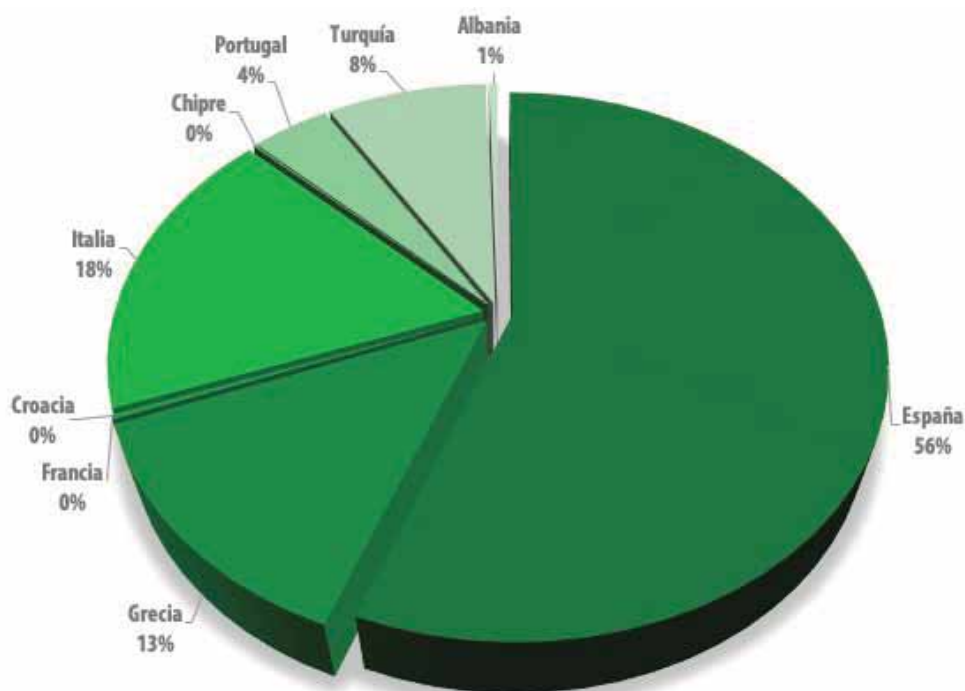


FIGURA 4

Distribución del potencial teórico de hueso de aceituna en la UE + Turquía + Albania (2019). Elaborado por AVEBIOM con datos de FAOstat



Además, el carácter de alternancia (vecería) del olivo como especie vegetal, repercute aún más en los rendimientos de la producción de aceitunas, y consecuentemente, en la producción de aceite de oliva y en la disponibilidad de hueso de aceituna.

La **Figura 4** y la **Figura 5** presentan una estimación de las cantidades de hueso de aceituna producidas en Europa. La estimación se basa en la producción anual de aceitunas destinadas a la producción de aceite de oliva. Las cantidades presentan un potencial teórico, ya que la disponibilidad real depende de: a) la cantidad real de orujo graso procesado para separar el hueso de aceituna; b) la eficiencia de dichos sistemas (hay que tener en cuenta que, si se utilizan sistemas de separación ineficientes en la almazara o en las instalaciones de extracción, una parte no despreciable del hueso de aceituna quedará sin

separar en el orujo graso después del procesado). En consecuencia, una estimación del hueso de aceituna disponible por país o zona debe basarse en la gestión real del orujo graso, y las operaciones a las que éste es sometido en la práctica.

En cuanto a las perspectivas del potencial del hueso de aceituna, se espera un crecimiento de su disponibilidad para el mercado por dos razones principales: **1)** la práctica de separación del hueso de aceituna del orujo graso (antes de la extracción química del aceite de orujo de oliva en las instalaciones de las extractoras) se está extendiendo cada vez más; en consecuencia, el orujo graso contiene menos hueso; y **2)** la superficie de los olivares se está ampliando, modernizando y dotando de sistemas de riego, por lo que la producción de oliva tiende a aumentar.

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE HUESO DE ACEITUNA (t/a)

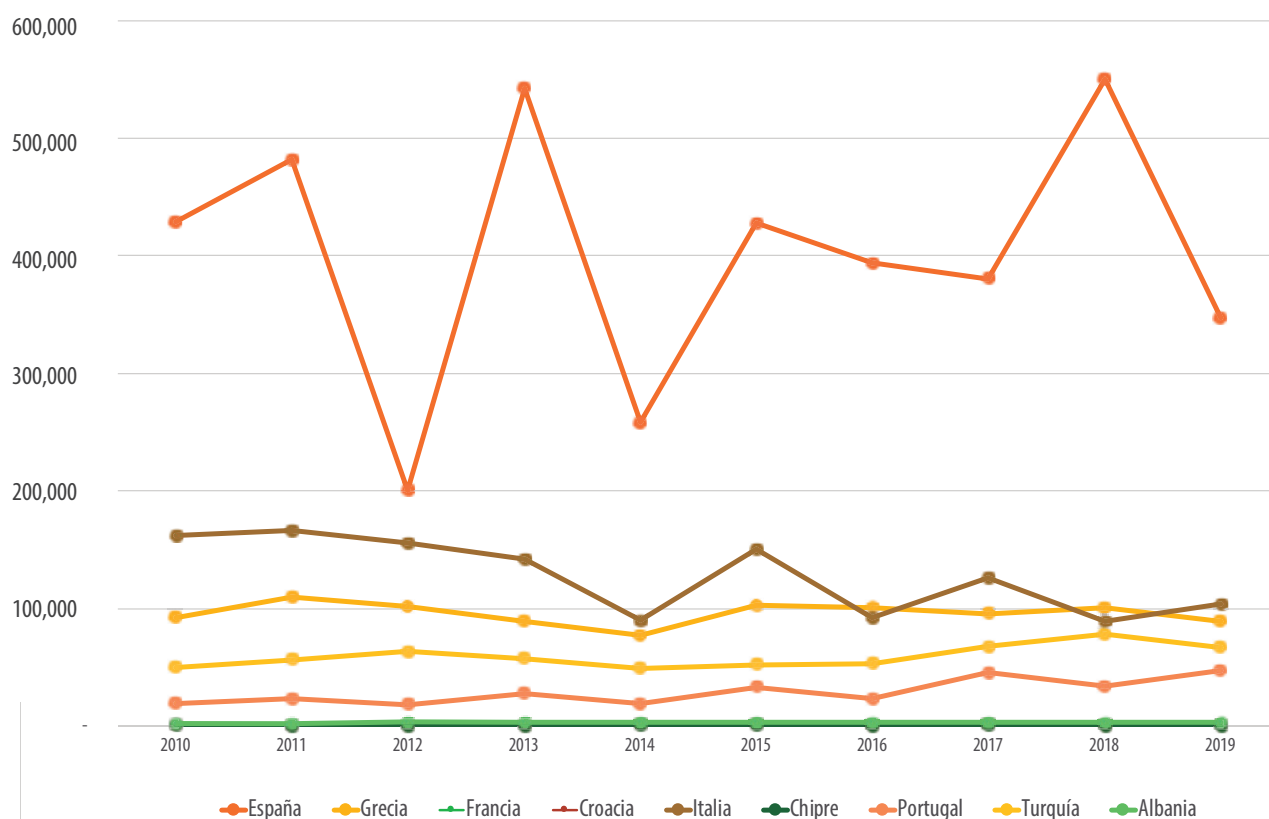


FIGURA 5

Potencial teórico anual de huesos de aceituna (en toneladas) por país.

Elaborado por AVEBIOM con datos de FAOstat



CARACTERÍSTICAS: ¿DÓNDE Y CÓMO SE UTILIZA?

Las aceitunas, para mejorar la eficacia del proceso, se trituran en los molinos de extracción de aceite (almazaras) y, como consecuencia, los huesos también son triturados. El formato es granular con tamaños entre 2 - 4 mm aproximadamente. A partir de los trabajos de normalización de Biomassud (SUDOE - Interreg) y del proyecto Biomassud Plus (H2020), existe una norma de calidad en España UNE 164003:2014 que establece las principales características físicas y químicas como biocombustible sólido. Esta norma está siendo actualizada por el comité español (CTN-164) con algunos ligeros cambios en los umbrales de algunos parámetros y se espera que sea aprobada a principios de 2022. Además, está en proceso de ser replicada con pequeñas diferencias por el comité análogo de Italia (la norma se denominará UNI 1609270).

Cuando se separan, los huesos de aceituna tienen un contenido de humedad de entre el 20 y el 22% y tienen un contenido bastante alto de finos (provenientes principalmente del hollejo) que empeoran la

calidad como biocombustible. Se puede aplicar un proceso de valorización que consiste básicamente en dos pasos: reducir la humedad y eliminar los finos mediante cribado. El proceso puede integrarse fácilmente en las instalaciones de las almazaras o de las extractoras de orujo, o bien en instalaciones independientes de terceras empresas.

Los huesos de aceituna tienen un bajo contenido en cenizas y, por tanto, pueden utilizarse en todo tipo de instalaciones de calefacción, desde las más pequeñas (estufas y calderas individuales domésticas) hasta las calderas industriales. Hoy en día, el uso de los huesos de aceituna sin ninguna valorización (secado y limpieza de los finos) sigue siendo muy común (es decir, alrededor del 70-80 % en España). En estas condiciones, la mayoría de los huesos de aceituna se consumen en instalaciones industriales que, si están equipadas con tecnologías avanzadas de combustión y limpieza de gases, pueden utilizar el hueso de aceituna sin problemas de combustión ni impactos ambientales.

PARAMETRO	CLASE DE CALIDAD			UNIDAD
	A1	A2	B	
HUMEDAD	≤ 12	≤ 12	≤ 16	m-% s.r.
CENIZAS	≤ 0.7	≤ 1.0*	≤ 1.3*	m-% b.s.
CONTENIDO ACEITE	≤ 0.6	≤ 1.0	≤ 1.5	m-% b.s.
FINOS (F<2mm)	< 15	< 15	< 25	m-% s.r.
PCI	≥ 15.7	≥ 15.7	≥ 14.9	MJ/kg (s.r.)
NITRÓGENO	≤ 0.3	≤ 0.4	≤ 0.6	m-% b.s.
AZUFRE	≤ 0.03	≤ 0.04	≤ 0.05	m-% b.s.
CLORO	≤ 0.03	≤ 0.04	≤ 0.05	m-% b.s.

TABLA 1

Límites de los principales parámetros de los huesos de aceituna según el sistema de certificación BIOmasud®

*Los valores de contenido de ceniza de la norma española (UNE 164003) están siendo actualizados por el comité CTN-164 a principios de 2022 y el valor se fijará en 1,2% para A2 y 2,0 para B. La norma italiana (UNI 1609270) también se publicará en la primera mitad de 2022 y los valores serán probablemente los mismos 1,2% para A2 y 2,0% para B



Los problemas surgen cuando no es así, por ejemplo, cuando el uso de los huesos de aceituna no valorizados (sin limpiar) se realiza en estufas o calderas obsoletas de pueblos o ciudades, generando problemas de emisiones, humos y olores, algo incompatible con la calidad del aire.

Cuando se valoriza, el hueso de aceituna es un biocombustible sólido de muy alta calidad con características muy cercanas a los pellets de madera de buena calidad y, por lo tanto, es adecuado para ser utilizado en el sector doméstico y terciario. En las siguientes Tabla 1 se pueden encontrar las principales especificaciones de los huesos de aceituna valorizados (según el sistema de certificación BIOmasud®).

Ya hay varios fabricantes de calderas de biomasa que producen modelos de calderas adaptados a este combustible, logrando excelentes resultados de eficiencia y límites de emisión de aire. Además, muchos dispositivos de pellets de madera pueden utilizar también huesos de aceituna con pocas adaptaciones necesarias dado el diferente tamaño de los pellets de madera y los huesos de aceituna triturados (sistema de alimentación, caldera de combustión, parrilla, regulaciones de aire que deben adaptarse).

Al igual que otros surtidos de agrobiomasa, los huesos de aceituna no están fuera del ámbito de aplicación del Reglamento 2015/1189 de la Comisión,

que establece requisitos de diseño ecológico para las calderas de combustibles sólidos. En el marco del proyecto AgroBioHeat, se ha investigado el rendimiento de la combustión de los huesos de aceituna -junto con otros tipos de combustibles de agrobiomasa- en una serie de pruebas. Los ensayos se realizaron en condiciones de laboratorio, utilizando calderas de biomasa de última generación y un procedimiento de ensayo común que sigue la norma de ensayo de calderas EN 303-5.

En concreto, los huesos de aceituna se quemaron en una caldera de 49 kW que emplea la tecnología de combustión de parrilla móvil, junto con un sistema ESP para el control de las emisiones de partículas. Se comprobó que las emisiones estacionales de CO, OGC, NOx y PMs estaban por debajo de los límites del Reglamento de Ecodiseño para los combustibles de biomasa leñosa. Esto pone de manifiesto que este tipo de biomasa puede utilizarse en un sistema de caldera moderno, logrando emisiones equivalentes a las de la biomasa leñosa.

Más información:

Brunner, T., Nowak, P., Mandl, C., Obernberger, I. (2021) *Assessment of Agrobiomass Combustion in State-of-the-Art Residential Boilers*. Actas de la 29th European Biomass Conference and Exhibition, páginas 379 - 388. DOI: 10.5071/29thEUBCE2021-2AO.5.1. Disponible para su descarga, previa inscripción, en el siguiente sitio web: <http://www.etaflorence.it/proceedings/>

FIGURA 6

Huesos de aceituna. Fuente: AVEBIOM





EJEMPLOS DE CASOS

HUESOS DE ACEITUNA PARA CALENTAR UN COLEGIO EN GRANADA

El Centro de Educación Secundaria CES Santiago Ramón se sitúa en la zona oeste de la ciudad de Granada en España. Está muy cerca de una de las principales entradas al centro de la ciudad y del campus universitario de Fuentenueva, donde se encuentran la mayoría de las titulaciones de ciencias e ingeniería de la Universidad de Granada.

La instalación de biomasa del CES Ramón y Cajal de Granada se realizó en 2018. Forma parte de un proyecto de rehabilitación energética con apoyo del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), dentro del programa PAREER-CRECE¹.

El edificio del CES Ramón y Cajal era de 1983, con una superficie construida de 7.602 metros cuadrados. En el momento de la actualización energética, la calificación energética que tenía era C. Antes de la instalación de la caldera de biomasa, se utilizaba una caldera de gasóleo de calefacción con una potencia nominal de 476 kW y un rendimiento estacional del 52 %. El consumo de gasóleo de calefacción era de aproximadamente 13,767 litros al año.

La nueva instalación de biomasa cuenta con una caldera multicomcombustible de la marca ITB, modelo INV-9245050, con una potencia de 450 kW, acompañada de un depósito de inercia de 4,000 litros (podría instalarse una potencia ligeramente inferior debido a la mejora de las ventanas y el control del sistema de climatización, todo ello enmarcado dentro del proyecto de mejora energética), con un rendimiento estacional del 82.80 %.

El sistema se alimenta de un silo vertical de 38 metros cúbicos, que está oculto de forma que no afecta a la estética del edificio. Este sistema también está conectado al sistema de monitorización remota PRETEL de IDAE.

El cambio de combustible del gasóleo de calefacción a la biomasa supuso un ahorro anual de costes de combustible de más del 48 % (precios de 2019). Con los precios actuales, y dada la estabilidad del hueso de aceituna, que es el combustible que se utiliza mayoritariamente, el ahorro sería mayor. Además, la eliminación del gasóleo de calefacción redujo las emisiones de CO₂ en más de 180 toneladas al año.



FIGURA 7 y 8

CES Ramón y Cajal y sala de calderas.

Fuente: Intecbio S.L.

¹ PAREER CRECE es un programa de apoyo a la rehabilitación energética de edificios existentes financiado con fondos FEDER. Más información: <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/para-rehabilitacion-de-edificios-programa-pareer/programa-de-ayudas-para-la>



PRIMER HOTEL DE JAÉN QUE UTILIZA HUESOS DE ACEITUNA COMO COMBUSTIBLE

Ya en 2006, el Hotel Balneario Sierra de Cazorla situado en La Iruela, Jaén, España, decidió alejarse de las energías fósiles y se convirtió en uno de los primeros hoteles energéticamente sostenibles de España y el primero en utilizar como combustible huesos de aceituna. Aunque hoy en día puede verse como una solución lógica, ya que la región de Jaén es líder mundial en la producción de aceite de oliva -y, por tanto, de sus subproductos derivados-, hasta ese momento los huesos de aceituna sólo se utilizaban en aparatos tradicionales y obsoletos. El uso de huesos de aceituna en una caldera moderna era un reto, ya que no había ningún estándar y las condiciones entre los proveedores eran a veces diferentes. Tras muchos años de funcionamiento satisfactorio, se puede decir que esta experiencia ha superado la prueba del tiempo y puede considerarse un buen ejemplo.

La instalación tiene una capacidad total de 800 kW, con dos calderas HERZ Biomatic de 400 kW y fue realizada por su socio español Termosun Energías S.L. Estas calderas, aunque tienen 15 años de vida útil, siguen alcanzando rendimientos superiores al 95%. Disponen de una “unidad de proceso múltiple” para el control

automático del calor, la limpieza de los gases de combustión y el control de las partículas y también modulan el calor. Asimismo, las calderas cuentan con controles automáticos de seguridad contra incendios y recogida automática de cenizas. Los huesos de aceituna se alimentan de dos silos, cada uno con una capacidad de 45 t. El calor producido por la caldera se utiliza para el agua caliente sanitaria, la calefacción, el spa y el gimnasio. En los días de invierno, cuando las calderas funcionan a plena potencia, se consumen unos 1,300 kg de huesos de aceituna al día, mientras que el consumo medio diario es de unos 730 kg de huesos de aceituna (funcionando once meses al año principalmente para el spa y la generación de agua caliente).

FIGURA 9

Hotel Spa Sierra de Cazorla.

Fuente: Termosun Energías S.L





CLAVES PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS HUESOS DE ACEITUNA

La utilización del hueso de aceituna para calefacción en aplicaciones de calefacción a pequeña y mediana escala es factible. Para asegurar un rendimiento eficiente y medioambiental, algunas claves son:

VALORIZACIÓN. Disponer de huesos de aceituna de alta calidad es un paso crucial para mejorar la calidad del combustible. El proceso de valorización incluye operaciones de secado y eliminación de finos. Con este proceso de valorización se obtiene un biocombustible sólido de buena calidad adecuado incluso para los dispositivos domésticos más pequeños.

El **TIEMPO DE COMBUSTIÓN** de la parrilla (en el caso de parrillas móviles con lavado continuo) o los intervalos de limpieza de la parrilla (en el caso de limpieza discontinua de la parrilla) tienen que ajustarse al tiempo de combustión del carbón de los huesos de aceituna para conseguir una alta conversión de carbono y, en consecuencia, un bajo contenido de carbono en la ceniza de la parrilla¹.

La utilización de huesos de aceituna no conlleva problemas en cuanto a la manipulación y alimentación del combustible. Sin embargo, teniendo en cuenta el **PEQUEÑO TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE COMBUSTIBLE** de los huesos de aceituna triturados en comparación con, por ejemplo, los pellets, se necesita una rejilla diseñada específicamente para evitar que el combustible se caiga a través de las aberturas de la rejilla directamente al cenicero¹.

¹ Fuente: Entregable del proyecto Biomassud Plus 5.5 "Directrices para la evaluación de las condiciones adecuadas de rendimiento de los pequeños aparatos de calefacción domésticos con biocombustibles sólidos mediterráneos pertinentes"

La **CERTIFICACIÓN INDEPENDIENTE** de la calidad por parte de terceros con un esquema como BIOmasud® es cada vez más necesaria.

Los huesos de aceituna valorizados de buena calidad aseguran unas propiedades del combustible constantes y adecuadas, dentro del rango de los estándares, y por tanto un mejor rendimiento en las estufas y calderas ya afinadas y optimizadas para estos estándares de combustible.

El hueso de aceituna certificado proporciona confianza. Por un lado, a los clientes, que confían más en el combustible y en el proveedor. Por otro, a los responsables políticos y a las autoridades, que entienden un combustible certificado como una prueba del buen funcionamiento de la caldera y, por tanto, de las bajas emisiones a la atmósfera y de la compatibilidad con la calidad del aire. En este sentido, cada vez más concursos públicos exigen o dan puntos adicionales a la biomasa certificada o incluso subordinando la obtención de fondos y subvenciones a la certificación del combustible (por ejemplo, el Real Decreto español RD 477/2021).





Orujillo de aceituna *‘orujo de aceituna extractado’*

DESCRIPCIÓN

El orujillo de aceituna (también llamado orujo de aceituna extractado) es un subproducto (“residuo de proceso” según nomenclatura comentada en el apartado anterior) producido a partir del orujo graso de aceituna obtenido en las almazaras tras el proceso de extracción físico del aceite de oliva (también llamado alperujo si contiene la fase acuosa como es habitual en los sistemas de extracción en 2 fases actuales). El orujo graso de aceituna está compuesto por el endocarpo (hueso), el mesocarpio (pulpa) y el epicarpio (piel) restantes de la aceituna tras la extracción física del aceite.

El orujo de aceituna retiene una cantidad no despreciable de aceite tras la extracción física en almazara (procesos de extracción física, sean de dos o de tres fases). Es por ello que este aceite puede obtenerse mediante un procesamiento adicional. En algunos países, se emplea una segunda extracción física denominada “repaso” para reducir el contenido de aceite restante del 6-7 % al 1.5 % aproximadamente (expresado respecto a la masa húmeda, tal como se recibe) mediante un proceso de centrifugación para extraer el aceite de oliva (método de extracción física) en un decantador (o “decanter”). El aceite adicional puede reducirse aún más mediante métodos de extracción química, empleados en las instalaciones conocidas como extractoras. En los países en los que el proceso de repaso no está muy extendido, las extractoras manipulan el orujo de aceituna con mayores cantidades de aceite restante. La materia prima de las extractoras puede ser orujo de aceituna

crudo y húmedo, o bien orujo de aceituna húmedo con menor contenido de hueso de aceituna triturado, si se ha aplicado previamente esta separación.

Las extractoras realizan el secado del orujo de aceituna entrante (materia prima) para reducir su contenido de agua, y luego aplican la extracción química. Su principal producto es el aceite de orujo de aceituna crudo, que puede refinarse posteriormente para obtener aceite de orujo de aceituna refinado para el mercado. Su principal subproducto es el orujillo de aceituna (“orujo graso de aceituna extractado”), que es un material muy seco y granulado. Hoy en día, muchas instalaciones de extracción -especialmente en España- separan el endocarpo (hueso) restante del orujo de aceituna antes de la extracción química, ya que es más valioso. Sin embargo, no es posible llegar a una separación completa de todo el endocarpo, y las fracciones más pequeñas permanecen en el orujo de aceituna que se va a procesar, y por tanto, en el orujillo.

La **Figura 10** representa las vías alternativas para la obtención de los diferentes biocombustibles sólidos a partir del orujo graso de aceituna. El diagrama está simplificado y sólo incorpora las opciones principales. No ofrece detalles de las operaciones internas (diferentes etapas de adición y recuperación de agua, centrifugación y decantación). Tampoco se representan otras fracciones líquidas obtenidas en el procesado de la oliva y del orujo graso, ni otras fracciones de desecho.

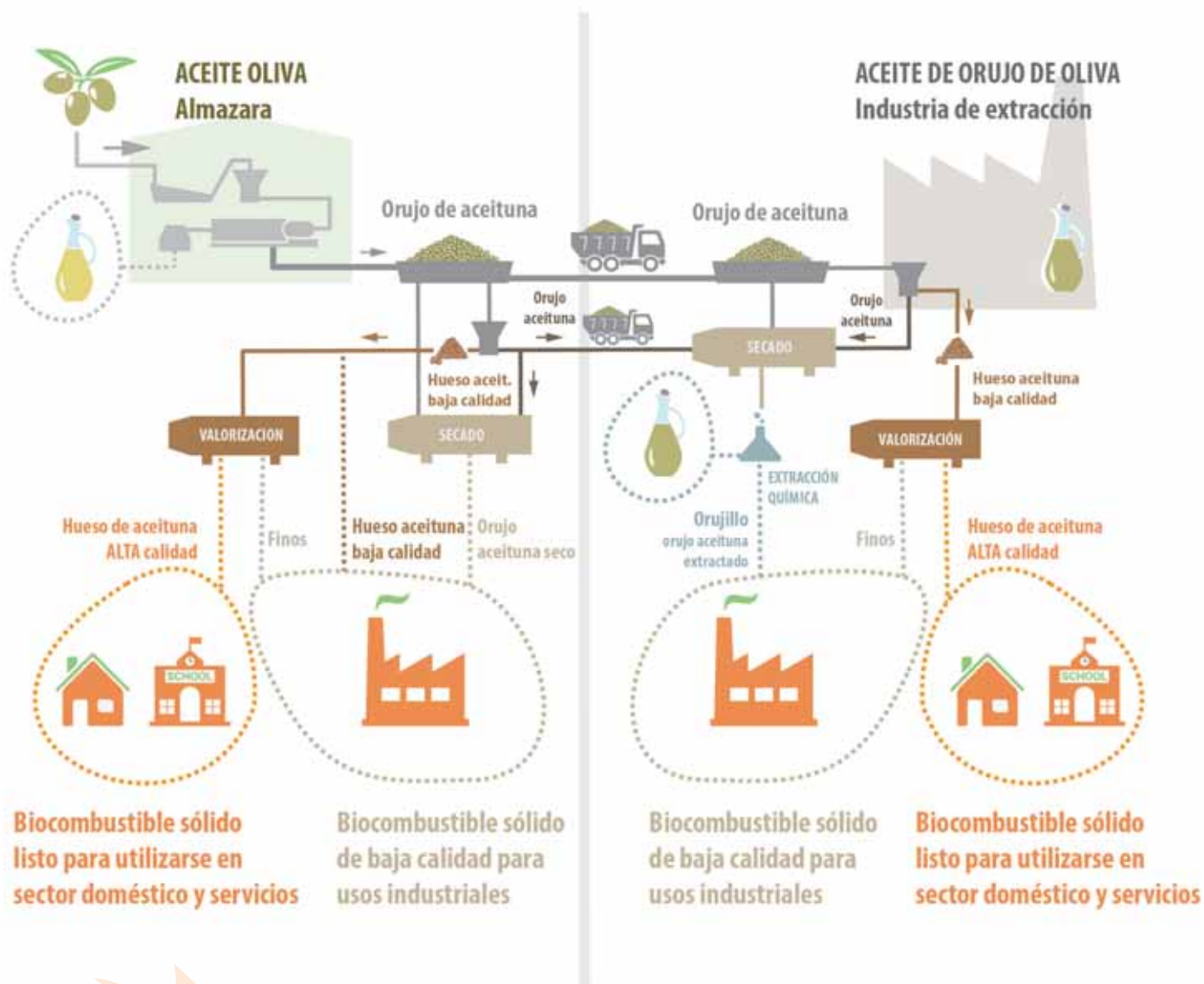


FIGURA 10

Alternativas de obtención de biocombustibles sólidos (orujo graso, orujillo y hueso de aceituna) en las almazaras e industrias de extracción de aceite de orujo. Fuente: AVEBIOM.



POTENCIALES Y DISTRIBUCIÓN EN EUROPA

Al igual que los huesos de aceituna, la distribución del orujillo está ligado al cultivo del olivo. El orujo de aceituna se encuentra predominantemente en bruto en las almazaras de los países o zonas de pequeña producción, donde no suele haber instalaciones de extracción química. En las zonas densas de producción de aceite de oliva es habitual que el orujo de aceituna crudo sea objeto de extracción química y luego se produzca el orujillo (orujo de aceituna extractado). Los principales productores en Europa son España, Grecia, Italia y Portugal.

Una estimación de la producción de orujillo con el balance de masas de la **Figura 3** se ha realizado en la **Figura 11**. Por término medio, de cada tonelada de

aceituna procesada para la extracción de aceite de oliva se generan 0,197 t de orujillo (aproximadamente un 20%).

Algunas cantidades de orujillo se autoconsumen en el proceso de producción de aceite de orujo de aceituna, ya que se necesita calor para secar el orujo húmedo y vapor para la extracción química. En algunos países, también es habitual producir el calor del proceso a partir de unidades de cogeneración de gas natural. La **Figura 11** presenta el potencial teórico del orujillo; para encontrar el potencial de mercado disponible es necesario restar el orujillo que ya se utiliza en el autoconsumo para producir calor en las plantas de extracción química.

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ORUJILLO (t/a)

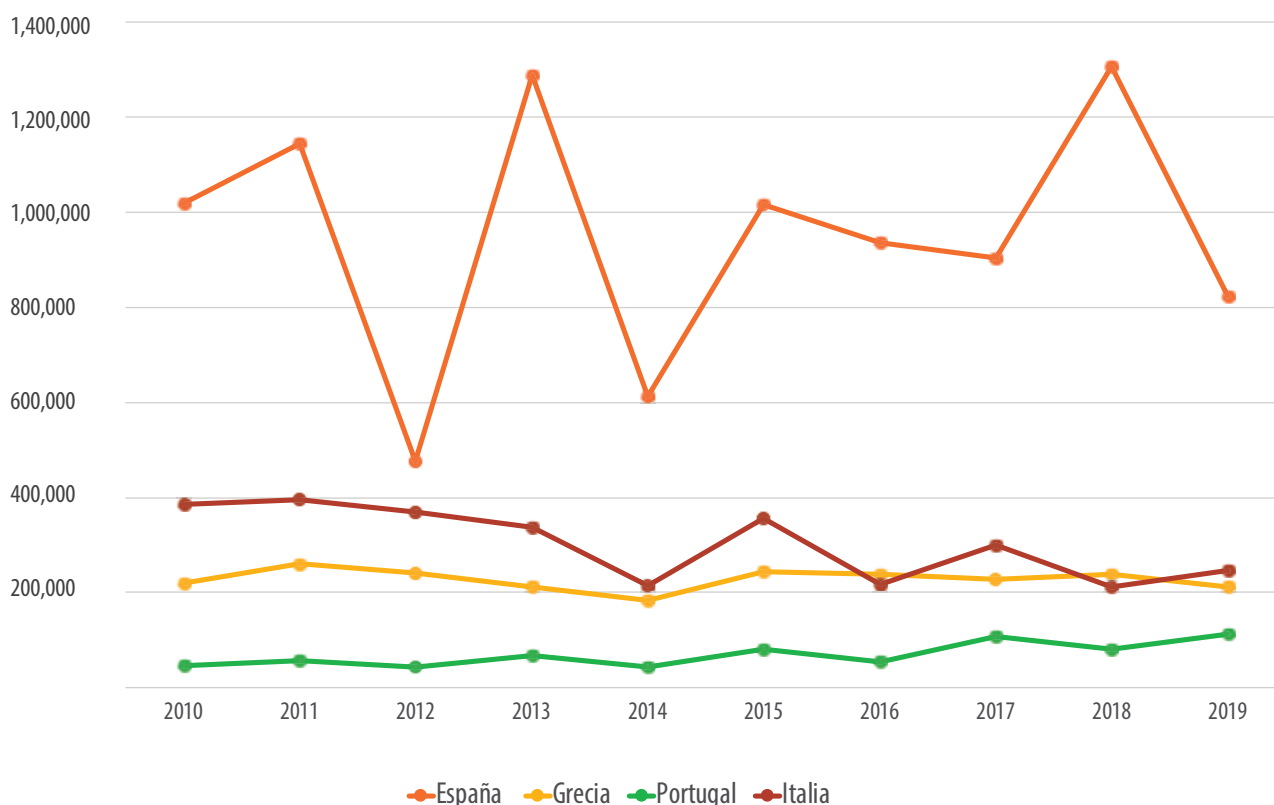


FIGURA 11

Producción de orujillo (orujo de aceituna extractado) por país en toneladas por año (2019).

Elaborado por AVEBIOM con datos de FAOstat.



CARACTERÍSTICAS: ¿DÓNDE Y CÓMO SE UTILIZA?

No existe una norma específica para el orujillo como biocombustible sólido; sin embargo, se presentan valores indicativos en la norma ISO 17225-1. El formato es granular y se puede granular fácilmente. Ya es bastante densa (600 - 650 kg/m³) por lo que la granulación, más que mejorar el coste de transporte, puede ser una opción para mejorar la alimentación o minimizar las pérdidas.

Su humedad es de alrededor del 20% tras el proceso de extracción, pero luego se va secando de forma natural progresivamente y normalmente es posible encontrarla en humedades más bajas (alrededor del 15%).

Como combustible, las principales características químicas que hay que tener en cuenta son el alto nivel de cenizas -potencialmente más de 10 veces superior al de los pellets de madera o los huesos de aceituna-, el nitrógeno, el azufre y el cloro. En la Tabla 2 se resume las propiedades típicas del orujillo como biocombustible sólido. La UE establece un máximo del 3% de contenido de aceite en la comercialización de orujillo con fines bioenergéticos, un contenido mayor implica una tasa porque se considera que su uso será la alimentación animal. Las legislaciones nacionales pueden regular el contenido máximo de aceite residual en el orujillo. Por estas características, el orujillo es claramente un biocombustible sólido más adecuado para fines industriales.

PARÁMETRO	RANGO TÍPICO	VALOR TÍPICO	UNIDAD
HUMEDAD	12 – 18	15	m-% s.r.
CENIZAS	5 – 10	7.2	m-% b.s
PCI	15.0 – 16.2	15.7	MJ/kg (s.r.)
CONTENIDO DE ACEITE	< 2	1.3	m-% s.r.
DENSIDAD APARENTE	600 – 650		kg/m ³
NITRÓGENO	1.0 – 2.0	1.2	m-% s.r.
AZUFRE	0.07 – 0.15	0.08	m-% s.r.
CLORO	0.12 – 0.40	0.2	m-% s.r.

TABLE 2

Valores típicos del orujillo. Fuente: Elaboración propia de AVEBIOM

Como tal, requiere un equipo capaz de hacer frente a la producción de cenizas, y en las calefacciones domésticas simples puede causar al usuario incomodidad, ya que el usuario debe ocuparse de la limpieza en pequeños aparatos sin un sistema de limpieza automatizado.

También otros parámetros como los finos, el nitrógeno o el cloro dificultan su uso en aparatos domésticos debido a las emisiones, la corrosión de los componentes metálicos de los aparatos, etc. La mayor parte del orujillo se utiliza en actividades industriales (autoconsumo en las almazaras, fábricas de ladrillos, hornos de cemento, como combustible de co-combustión en centrales eléctricas de carbón o como combustible dedicado para centrales eléctricas de biomasa, etc.). Sin embargo, todavía se queman algunas cantidades en aparatos domésticos obsoletos en ciertas regiones, ya que el orujillo tiene un precio muy competitivo en comparación con la mayoría de las alternativas fósiles o de biomasa.



FIGURA 12

Orujillo (Fuente: AVEBIOM)



EJEMPLOS DE CASOS

GASIFICACIÓN DE ORUJO DE ACEITUNA SECO EN ACEITES GUADALENTÍN

Para las almazaras, la manipulación de las grandes cantidades de orujo de aceituna que producen como subproductos es un problema importante que requiere una gestión ambientalmente sostenible y económicamente viable. En las zonas con un volumen importante de producción de aceite de oliva, el orujo suele suministrarse a las extractoras, que realizan la extracción química del aceite de orujo crudo. Sin embargo, las almazaras de las zonas sin extractoras necesitan encontrar métodos de tratamiento alternativos.

En muchas regiones, las relaciones entre las almazaras y las extractoras han sufrido cambios en los últimos años. El paso a la producción de aceite de oliva en dos fases da lugar a una producción de orujo de aceituna mucho más húmedo (llamado alperujo, con un contenido de humedad que a menudo supera el 70% (en comparación con el 55% aproximadamente del sistema de tres fases). Varias almazaras realizan una separación de los huesos de aceituna como fracción separada, y otras implementan una extracción física secundaria de aceite de oliva ("repaso"). Esto obliga a las extractoras a acometer nuevas inversiones en balsas para su almacenamiento y a incrementar sus costes de transformación, especialmente energéticos, lo que en situaciones de bajo precio del aceite de orujo (su principal producto) y de orujillo (su principal subproducto), genera importantes tensiones económicas. Esta situación ha provocado un marco inestable y difícil para los extractores, y la creación de más tensiones entre ambos tipos de industrias, aunque al final ambas están obligadas a convivir y entenderse, ya que ambas son fundamentales en la cadena de valor del aceite de oliva.

En este contexto se inscribe el caso del proyecto promovido por la empresa familiar Aceites Guadalentín, S.L. ubicada en Pozo Alcón (provincia de Jaén). Este productor de aceite de oliva (almazara) gestiona una balsa de alperujo con una capacidad de unas 65.000 toneladas, tanto para su propia producción como para las cantidades producidas por las almazaras vecinas. Su gestión supone un coste importante, entre otras cuestiones por su ubicación alejada de cualquier industria de orujo. La empresa que procesa el orujo húmedo para extraer el aceite ("repaso", una segunda extracción física) tiene un gran consumo eléctrico fuera de la red, y produce un orujo seco (humedad < 15 %, contenido de aceite restante de alrededor del 1,5 %), que no es objeto de extracción química posterior.

El origen del caso partió de la intención de Aceites Guadalentín de revertir la práctica actual, transformar la práctica lineal actual a la economía circular, y cambiar los problemas actuales en una oportunidad de nuevos ingresos y ahorros, con un desempeño ambiental mucho mejor.

El núcleo del proyecto es un nuevo gasificador de orujillo u orujo graso seco. El gasificador consume unos 970 kg/h de orujo graso seco y produce 2,615 kg/h de gas de síntesis (con un VCN de unos 5,6 MJ/Nm³) y 146 kg/h de biocarbón (con un contenido de carbono de unos 66,58 %). El gas de síntesis se quema en motores con una capacidad eléctrica combinada de 1 MWe (2 x 500 kWe), mientras que se dispone de 1,88 MWt de calor (procedente de la refrigeración y de los gases de escape): la eficiencia total del sistema es de alrededor del 62,5%. La electricidad se utiliza para el autoconsumo, sustituyendo a la proporcionada por una unidad generadora de gasóleo, mientras que el calor se utiliza para el secado y otras necesidades internas.



La instalación comenzó a funcionar en diciembre de 2021. La inversión total asciende a 3 millones de euros (incluida la obra civil), de los cuales el 40% está subvencionado por la Agencia Andaluza de la Energía. El sistema consigue un ahorro de unos 200,000 litros de gasóleo al año, que antes se utilizaba para la generación de electricidad sin conexión a la red. Se generan ingresos adicionales por el hecho de que los huesos de aceituna separados del orujo pueden venderse ahora en el mercado (el calor del gasificador sustituye al de una caldera de huesos de aceituna utilizada en el proceso de repaso); Aceites Guadalentín pondrá en marcha un

sistema de limpieza y secado para producir huesos de aceituna limpios para este fin. Pueden obtenerse ingresos adicionales de la valorización del biocarbón (por ejemplo, como agente de enmienda del suelo), mientras que en el futuro podría implantarse una unidad de producción de hidrógeno. El sistema de gasificación da lugar a una reducción drástica de las emisiones de CO₂, pero también a una reducción de las emisiones de partículas que se habrían producido si se hubiera quemado el orujo graso repasado (u orujillo si la instalación fuese en una extractora) .

El sistema empleado por Aceites Guadalentín podría ser replicado por otras almazaras, de mayor y menor tamaño, ya que los procesos de gasificación y los motores pueden ser de diversos tamaños, o aplicarse en módulos. El modelo también puede trasladarse a las extractoras, que podrían consumir su orujillo en la gasificación. Este tipo de instalación podría suponer un cambio de rumbo para la industria del aceite de oliva y contribuir a reducir drásticamente sus emisiones. Las expectativas son altas y múltiples administraciones, responsables políticos y extractores están deseando ver la evolución y el rendimiento constante de esta planta piloto única.



FIGURA 13

Balsa de Alpeorajo.

Fuente: AVEBIOM

FIGURA 14

*Unidad de gasificación
de orujo graso seco
(4 MWt y 1 MWe).*

Fuente: AVEBIOM



VIOPAR S.A. - LA MAYOR Y MÁS RECIENTE CENTRAL ELÉCTRICA DE BIOMASA DE GRECIA

Con una capacidad instalada de 5 MWe, la central de biomasa de VIOPAR S.A. es actualmente la mayor y más moderna unidad de este tipo que funciona en Grecia. Los principales hitos en la historia de la empresa fueron la finalización del procedimiento de concesión de licencias en 2016, su fusión con el Grupo Ravago en 2017 y el inicio de la construcción de la planta en 2018. Con la construcción terminada en 2019, la operación completa se ha iniciado en 2020.

La planta está situada en la 2ª Zona Industrial de Volos, muy cerca del puerto (17 km) y de las zonas agrícolas de Tesalia (unos 30 km), lo que permite una flexibilidad en la explotación de los combustibles de biomasa tanto nacionales como importados. La planta está autorizada a funcionar utilizando como combustibles orujillo, pellets de cáscara de girasol o restos de desmotado de algodón. El consumo anual de combustible es de unas 38.000 toneladas.

Actualmente, la planta utiliza principalmente orujillo de dos variedades principales: “regular”, que tiene una distribución de tamaños más típica, y “finos”, que es un material más fino, más difícil de manejar

por los sistemas de cocción convencionales. VIOPAR emplea un horno de parrilla móvil junto con un sistema de inyección neumática independiente para el combustible en polvo. La planta utiliza la tecnología del ciclo orgánico de Rankine (ORC), que aporta múltiples ventajas (minimización del consumo de agua, evitación de las molestias visuales), y está totalmente equipada con medidas anticontaminación (precipitador electrostático, medidas anti-SOx y anti-NOx), lo que hace que sus emisiones estén dentro de los límites establecidos por las directivas de la UE.

El funcionamiento de la planta también aporta múltiples beneficios a la economía local: 7 puestos de trabajo permanentes para el funcionamiento de la planta, 120 personas empleadas durante la construcción, 200.000 euros al año de contribuciones al municipio local, más de 230.000 euros al año de ingresos para el puerto de Volos y al menos 200.000€ al año para los proveedores locales (transportistas, equipos de mantenimiento, proveedores de consumibles, etc.). VIOPAR también participa activamente en actividades de IDT, buscando formas de suministrar el calor residual de su producción a las redes locales de calefacción urbana o de valorizar las cenizas de combustión.



FIGURE 15 Y 16. Foto aérea de la central de biomasa de 5 MWe y horno de VIOPAR S.A. en Volos, Grecia

Fuente: VIOPAR



CLAVES PARA LA UTILIZACIÓN DEL ORUJILLO

La utilización del orujillo para obtención de calor es factible, especialmente en aplicaciones industriales. Se trata de un combustible más complejo, por lo que las claves para un uso adecuado como biocombustible sólido son:

CALIDAD. Aunque el orujillo es un combustible industrial, hay ciertos parámetros que deben ser controlados como:

HUMEDAD / TEMPERATURA: justo después de la extractora puede tener un mayor contenido de humedad que con el tiempo, los transportes y el movimiento va bajando hasta su media típica del 15%, pero normalmente se almacena en patios de almacenaje sin ningún tipo de protección de techo. La humedad puede ser problemática en las calderas pero también en la logística y el almacenamiento. Un alto contenido de humedad puede traer un problema de autocombustión.

TEMPERATURA: Es importante vigilar la temperatura, ya que puede producirse una autocombustión en el almacenamiento si la humedad es lo suficientemente alta e incrementarse con las altas temperaturas exteriores. Las pilas almacenadas deben ser vigiladas y se deben establecer medidas en caso de que aumenten las temperaturas (ambiente y de la pila). Se debe realizar una inspección adecuada abriendo la pila; las inspecciones visuales de la superficie no son suficientes, ya que la autocombustión suele comenzar en el interior.

CLORO: El orujillo tiene ya de por sí un contenido de cloro bastante elevado. Algunas biomásas similares, como los subproductos de la producción de aceitunas de mesa, se mezclan a veces y, debido a los procesos a los que se someten (es decir, la adición de sal y otros aditivos), el cloro puede aumentar aún más. Esto tiene consecuencias en el sistema de combustión (corrosión) y en las emisiones (HCl). Los materiales de la caldera tienen que ser lo suficientemente resistentes para soportar el contenido de esta biomasa y evitar la corrosión.

CENIZAS: El contenido de cenizas del orujillo es por sí mismo bastante elevado. El orujillo puede estar mezclado con fracciones de biomasa de parámetros de calidad aún peores o, contaminado con material inerte exógeno (arena, tierra, piedras), lo que aumenta aún más el contenido total de cenizas. Teniendo en cuenta también la composición de las cenizas (por ejemplo, una mayor concentración de álcalis), hay varias implicaciones para el funcionamiento de cualquier sistema de combustión: aumento de las frecuencias de limpieza, formación de escorias, mayores emisiones de partículas, etc. Cuando se utiliza el orujillo como combustible, hay que prestar atención a estos parámetros.

Debido a esta calidad industrial y al contenido relativamente alto de nitrógeno, cloro, cenizas, etc., es necesario poner en marcha **TECNOLOGÍAS ADECUADAS** (filtros, inyección de urea,...) para una combustión óptima y evitar superar los umbrales de emisiones de la legislación (HCl, partículas, NOx).



Cáscaras de frutos secos

DESCRIPCIÓN

Hay ciertos frutos secos cuyas cáscaras se pueden utilizar como biomasa con fines energéticos. Los frutos secos se transportan a las agroindustrias (partidoras), donde se separan el fruto seco o nuez y las cáscaras. Normalmente, se almacenan y se venden localmente como fuente de energía. La ventana temporal para procesar los frutos secos es bastante estrecha, por lo que se producen grandes volúmenes en poco tiempo y se requieren grandes áreas de almacenamiento.

El descascarado es el principal proceso utilizado para separar la nuez del fruto seco de la cáscara. Las cáscaras obtenidas están formadas por fragmentos cuyo tamaño no es homogéneo. Para mejorar la alimentación y la combustión en las calderas o estufas y convertir estas cáscaras en biocombustibles sólidos estandarizados, se recomiendan algunas valorizaciones, como la trituración en fragmentos más pequeños y el cribado para eliminar los finos (< 2 mm) obteniendo así una granulometría homogénea.

La humedad natural de las cáscaras después de la trituración es baja y por lo tanto para la combustión.

Sin embargo, como las cáscaras suelen almacenarse en el exterior sin techo por las razones mencionadas, el contenido de humedad cuando se utilizan puede ser mayor.

Existe una norma de calidad para cáscaras de frutos secos en España (UNE 164004:2014) que incluye cáscaras de piñones, cáscaras de almendras, cáscaras de avellanas y piñas picadas. Esta norma fue desarrollada por el comité español CTN-164, utilizando principalmente datos del proyecto BIOmasud®. Esta norma está en proceso de revisión y, además de algunos ligeros cambios en los umbrales, la principal diferencia es la incorporación de las cáscaras de pistacho y nuez. Se espera que la revisión, que está en su fase final, se publique a principios de 2022.

Hay muchos tipos de frutos secos, pero algunas clases se utilizan con frecuencia como biocombustibles sólidos por tradición o facilidad de uso. Estos son las cáscaras de almendra, las piñas troceadas (cáscaras de piña), cáscaras de piñones, cáscaras de avellana, cáscaras de pistacho y cáscaras de nuez.



CÁSCARAS DE ALMENDRA

son una de las más utilizadas para obtener energía. Están recogidas en la norma española UNE 164004 y en el esquema de certificación BIOmasud®. La cáscara de la almendra puede suponer entre el 62 y el 78 % del peso del fruto entero de la almendra, dependiendo de la variedad. Se ha tenido en cuenta una media del 70% para las estimaciones sobre **Figura 26**.

FIGURA 17 Cáscaras de almendra tal y como se obtiene de la extracción de la nuez. Fuente: AVEBIOM



FIGURE 18
Cáscaras de almendra trituradas

CÁSCARAS DE PIÑONES

Son uno de los biocombustibles sólidos más utilizados para obtener energía. Están contemplados en la norma española UNE 164004 y por el esquema de certificación BIOmasud®.

En cuanto al balance de masas, el contenido de humedad de las piñas es alto (32 - 38 %) y las piñas se secan en el proceso de obtención de los piñones. 100 kg de piñas contienen aproximadamente entre 5 y 20 kg de piñones con cáscara. De estos 5 - 20 kg, aproximadamente el 25 % es el propio piñón y el resto son cáscaras.

Por desgracia, la producción de piñones se ha reducido drásticamente desde 2013, principalmente en España, pero también en Portugal. Ambos países se vieron gravemente afectados por una plaga de un insecto (*Leptoglossus occidentalis*) que afecta a las

piñas de los pinos succionándolas y, en consecuencia, secándolas. Antes de la plaga (antes de 2013) se obtenían unos 200 kg de piñones con cáscara de 1 t de piñas (sin secar); desde 2014 solo se obtienen unos 80 kg. Como resultado, en los últimos años, las empresas españolas están comprando y procesando la mayor parte de los piñas portuguesas (80-90 %) y todas estas cáscaras se quedan en España.



FIGURA 19
Cáscaras de piñones.
Fuente: AVEBIOM



FIGURA 21 Y 22

Conos de pino picados. Arriba: piñas enteras. Derecha: brácteas de las piñas.
Fuente: AVEBIOM

PIÑAS TROCEADAS (Cáscara de piña)

No son “per se” un fruto seco, sino una fructificación que contiene los frutos. De 100 kg de piñas, después de secarlas, se obtienen aproximadamente 48 - 57 kg de piñas troceadas.



Suelen trocearse y a veces se utilizan mezcladas con cáscaras de piñones ya que mejoran la combustión. A veces, se retira el corazón de la piña y sólo se utilizan las brácteas como combustible. Este tipo de biocombustible sólido está recogido en la norma española UNE 164004 y en el esquema de certificación BIOmasud®.



FIGURA 20

Balance de masas de las cáscaras de los piñones y de las piñas. Fuente: AVEBIOM



CÁSCARAS DE AVELLANA

Están contempladas en la norma española UNE 164004 y por el esquema de certificación BIOmasud®. La cáscara de la avellana puede suponer entre el 53 y el 55 % del peso del fruto entero de la avellana, dependiendo de la variedad. Para las estimaciones de la tabla 6 se ha tenido en cuenta una media del 54 %.

CÁSCARAS DE PISTACHO

No están contempladas en la norma española UNE 164004 pero se han estudiado en el proyecto Biomassud Plus y su inclusión en la norma está en proceso (la aprobación de la norma actualizada está prevista para principios de 2022). Sin embargo, la cáscara del pistacho ya está contemplada en el esquema de certificación BIOmasud®. Los pistachos sin cáscara representan entre el 50 y el 60 % del fruto entero (seco y sin cáscara), por lo que la fracción de cáscara se sitúa en el rango del 40 al 50 %.



FIGURA 23

Cáscaras de avellana. Fuente: AVEBIOM

FIGURA 24

Cáscaras de pistacho. Fuente: CIEMAT

FIGURA 25

Cáscaras de nuez. Fuente: CIEMAT

CÁSCARAS DE NUEZ

No están contempladas en la norma española UNE 164004 pero se han estudiado en el proyecto Biomassud Plus y su inclusión en la norma en proceso (la aprobación de la norma actualizada está prevista para principios de 2022). Están cubiertos por el esquema de certificación BIOmasud®. La nuez sin cáscara representa entre el 45 - 55% del fruto entero. Para las estimaciones del gráfico siguiente, se ha considerado un rendimiento medio del 50% (ver **Tabla 8**).



POTENCIALES Y DISTRIBUCIÓN EN EUROPA

Lógicamente la producción de cáscaras de frutos secos está ligada al origen de sus respectivos cultivos que son diferentes para cada especie mencionada. Además, las estadísticas publicadas suelen ser para los cultivos y no para las cáscaras, por lo que para estimar la producción de cáscaras se utiliza una

relación entre el peso con y sin cáscara. Esta relación depende de las condiciones meteorológicas del año y de la variedad. En las siguientes páginas se muestra un breve resumen de la producción y distribución en Europa de los principales tipos de cáscaras de frutos secos utilizados para la bioenergía:

CÁSCARAS DE ALMENDRA

España es el primer productor europeo de almendras, y segundo productor mundial, muy lejos del primero, EE.UU. (España produce aproximadamente 10 veces menos que EE.UU.). En Europa, el segundo productor es Turquía, seguido de varios países mediterráneos.

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CÁSCARAS DE ALMENDRA (kton/a)

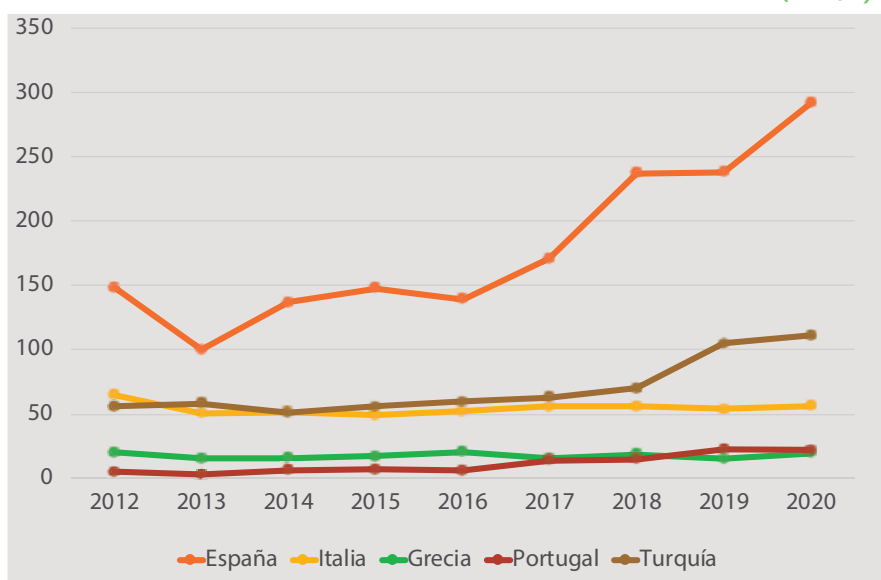


FIGURA 26

Producción de **cáscaras de almendra** por país en kilotoneladas por año. Elaborado por AVEBIOM con datos de Eurostat

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ESPAÑA	148,218	100,156	136,990	147,756	139,139	170,716	237,321	238,294	291,865
ITALIA	64,785	50,806	51,814	49,280	52,206	55,720	55,860	54,110	56,364
GRECIA	20,293	15,414	15,946	17,157	20,426	15,498	18,697	15,365	19,768
PORTUGAL	5,026	3,115	6,321	7,063	6,097	14,098	15,148	22,610	22,127
TURQUÍA	56,000	58,100	51,100	56,000	59,500	63,000	70,000	105,000	111,300

TABLA 3

Producción de cáscaras de almendra por país en toneladas por año. Elaborado por AVEBIOM con datos de Eurostat.



CÁSCARA DE PIÑONES Y PIÑAS TROCEADAS

Hay muchas especies de pinos con frutos secos comestibles, pero en Europa hay muy pocas y la más importante es el *Pinus pinea*, que crece principalmente en los países mediterráneos, por su valor culinario y su producción.

Portugal y España tienen aproximadamente 500.000 hectáreas de *Pinus pinea*, lo que representa el 75% de la distribución mundial de esta especie que también está presente en otros países de la cuenca mediterránea.

La producción anual de piñones/piñas presenta una fuerte variación debido a que la especie es de vecera y muy sensible a la influencia de factores climáticos, principalmente a la sequía severa y prolongada. Además, como se ha mencionado anteriormente, desde 2013 la producción en España y Portugal se vio seriamente afectada debido a *Leptoglossus occidentalis*.

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CÁSCARAS DE PIÑÓN (t/a)

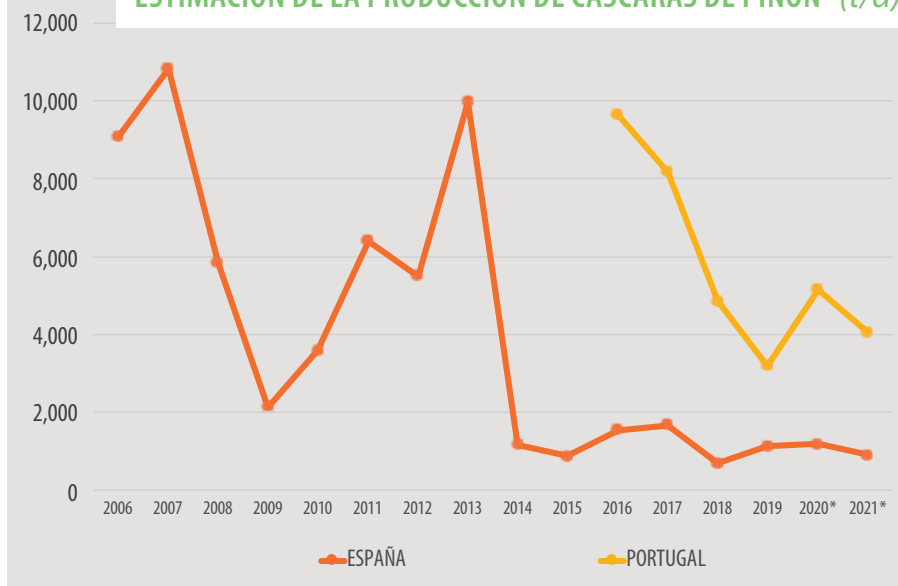


FIGURA 27

Producción de **cáscaras de piñón** por país en toneladas por año. Elaborado por AVEBIOM con datos de MITECO (España) e ICNF (Portugal). (* estimación)

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PIÑAS TROCEADAS (t/a)

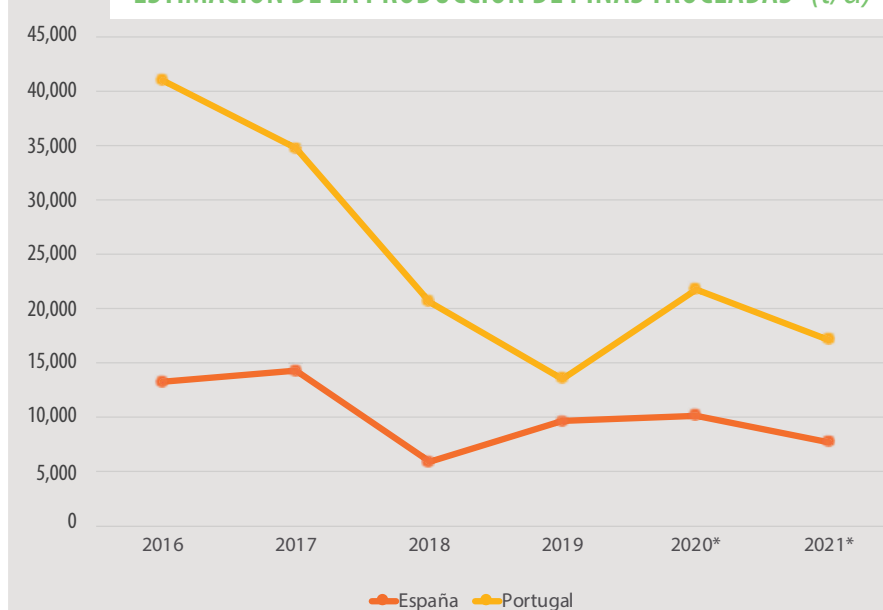


FIGURA 28

Producción de **piñas troceadas** por país en toneladas por año. Elaborado por AVEBIOM con datos de MITECO (España) e ICNF (Portugal). (* estimación)



AÑO	ESPAÑA	PORTUGAL
2006	9,076	
2007	10,828	
2008	5,843	
2009	2,126	
2010	3,588	
2011	6,407	
2012	5,502	
2013	9,985	
2014	1,163	
2015	864	
2016	1,537	9,648
2017	1,660	8,170
2018	689	4,855
2019	1,121	3,186
2020*	1,184	5,157
2021*	896	4,043

TABLA 4

Potencial teórico anual de **cáscaras de piñón** (en toneladas) por país. Elaborado por AVEBIOM con datos de MITECO (España) e ICNF (Portugal). (* estimación)

AÑO	ESPAÑA	PORTUGAL
2016	13,255	41,002
2017	14,318	34,723
2018	5,941	20,635
2019	9,667	13,539
2020*	10,212	21,791
2021*	7,728	17,182

TABLA 5

Potencial teórico anual de **piñas troceadas** (en toneladas) por país. Elaborado por AVEBIOM con datos de MITECO (España) e ICNF (Portugal). (* estimación)

**FIGURA 29**

Cáscara de piñón. Fuente: Biomosas Herrero



CÁSCARAS DE AVELLANA

Turquía es el mayor productor de Europa y del mundo. El segundo productor mundial es Italia. Hay más países con una pequeña producción, entre 3.000 y 10.000 t de frutos, en la UE tales como España, Francia y Polonia.

TABLA 6

Potencial teórico anual de **cáscaras de avellana** (en toneladas) por país. Elaborado por AVEBIOM con datos de Eurostat.

AÑO	ESPAÑA	FRANCIA	ITALIA	POLONIA	TURQUÍA
2012	7,906	5,416	58,671	2,268	356,400
2013	8,262	4,374	60,831	2,754	296,460
2014	7,312	5,967	40,748	2,970	222,480
2015	6,167	4,806	54,886	2,916	348,840
2016	5,135	6,907	65,108	2,986	226,800
2017	5,665	6,512	70,891	2,500	364,500
2018	4,336	8,456	71,658	3,586	278,100
2019	6,680	6,296	53,206	2,938	419,040
2020	2,943	5,233	75,902	4,104	359,100

CÁSCARAS DE PISTACHO

En Europa, las mayores producciones de pistacho se reparten por los países de la cuenca mediterránea, no en vano la planta ya era conocida en tiempos del Imperio Romano. La superficie de cultivo se mantuvo más o menos estable hasta la primera década del año 2000. Desde entonces su producción se ha ido ampliando paulatinamente en cantidades debido a la modernización y al cultivo intensivo. Los principales países productores de pistachos son Turquía, Grecia, Italia y, desde hace unos años, España, donde últimamente está creciendo su cultivo. Estados Unidos es el líder mundial en la producción de pistachos, seguido de China e Irán.

AÑO	ESPAÑA	GRECIA	ITALIA	TURQUÍA
2012	1,206	3,598	424	67,500
2013	1,120	3,205	1,452	39,870
2014	1,182	3,855	1,600	36,000
2015	1,170	4,385	1,741	64,800
2016	2,528	5,069	1,642	76,500
2017	3,395	5,326	1,743	35,100
2018	n.d.	n.d.	n.d.	108,000
2019	n.d.	n.d.	n.d.	38,250

TABLA 7

Potencial teórico anual de **cáscaras de pistacho** (en toneladas) por país. Elaborado por AVEBIOM con datos de la FAO.

CÁSCARAS DE NUEZ

Turquía es el mayor productor de Europa y el 4º del mundo, por detrás de China, Estados Unidos e Irán. En Europa la producción es más modesta con presencia principalmente en Rumanía, Francia, Grecia, España e Italia.

AÑO	GRECIA	ESPAÑA	FRANCIA	ITALIA	RUMANIA	TURQUÍA
2012	12,105	6,820	18,040	n.a.	14,195	101,500
2013	12,615	7,125	17,755	n.a.	14,785	106,000
2014	11,205	7,795	17,385	n.a.	14,685	90,500
2015	12,610	7,160	21,140	n.a.	15,660	95,000
2016	14,025	7,460	20,235	6,080	15,970	97,500
2017	13,960	7,870	16,520	6,075	21,860	105,000
2018	15,930	7,590	18,845	6,225	27,000	107,500
2019	15,520	8,770	17,475	5,400	24,790	112,500
2020	18,200	8,555	17,850	7,745	24,175	143,500

TABLA 8

Potencial teórico anual de **cáscaras de nuez** (en toneladas) por país. Elaborado por AVEBIOM con datos de Eurostat.



ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CÁSCARAS DE AVELLANA (t/a)

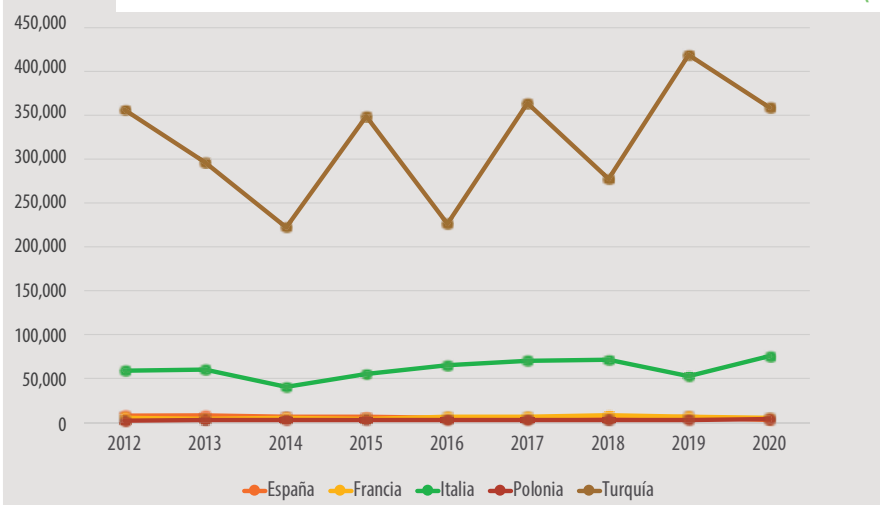


FIGURA 30

Producción de **cáscaras de avellana** por país en toneladas por año. Elaborado por AVEBIOM con datos de EUROSTAT.

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CÁSCARAS DE PISTACHO (t/a)

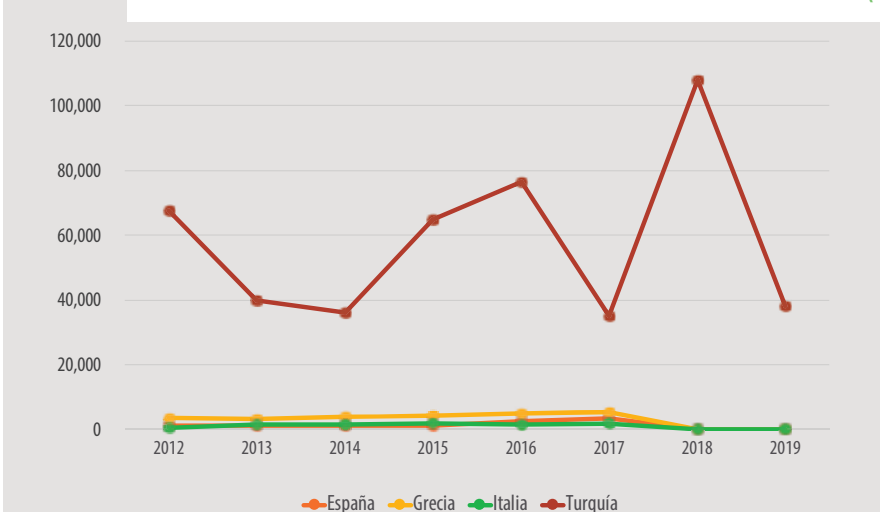


FIGURA 31

Producción de **cáscaras de pistacho** por país en toneladas por año. Elaborado por AVEBIOM con datos de la FAO.

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CÁSCARAS DE NUEZ (t/a)

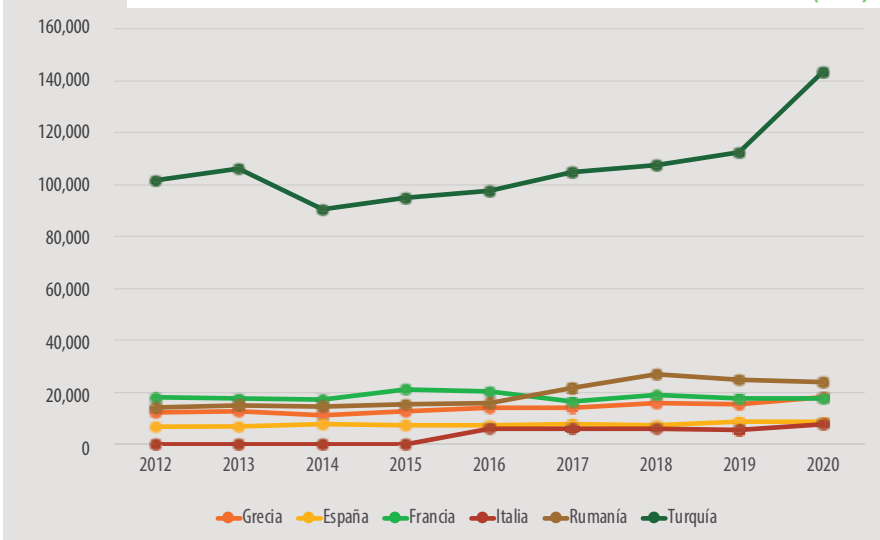


FIGURA 32

Producción de **cáscaras de nuez** por país en toneladas por año. Elaborado por AVEBIOM con datos de EUROSTAT.



CARACTERÍSTICAS: ¿DÓNDE Y CÓMO SE UTILIZA?

Las cáscaras se suelen utilizar locamente en granjas, invernaderos y otras instalaciones similares de forma directa, sin ningún proceso de valorización. Sin embargo, como se ha comentado anteriormente, con un procesamiento mínimo para homogeneizar su tamaño de partícula mediante el tamizado de los finos y la trituración para eliminar las partes más grandes, se puede obtener un biocombustible sólido de buena calidad, apto incluso para dispositivos pequeños. El contenido de humedad no debería ser alto si se almacena en buenas condiciones, pero muchas veces, las agroindustrias donde se generan subproductos no pueden almacenarlos como se necesita porque se genera mucha cantidad al mismo tiempo que lo comentado anteriormente. Por lo tanto, este subproducto suele almacenarse en el exterior sin ningún tipo de techo, razón por la cual

las cáscaras no suelen estar lo suficientemente secas en el mercado.

En algunas zonas ha habido un uso tradicional debido a la abundancia en la región de este biocombustible, por ejemplo, las cáscaras de piñón / piñas troceadas en la zona de Valladolid / Segovia (España) donde hay una enorme concentración de la producción de piñón y en consecuencia de subproductos. Por desgracia, las calderas o estufas no siempre son las más avanzadas tecnológicamente y habría que promover una renovación para mejorar el rendimiento y reducir las emisiones. Por otro lado, debido a su uso tradicional, la gente conoce bien las posibilidades del combustible e incluso lo utilizan mezclado (cáscaras de piñones y piñas troceadas) lo que mejora el comportamiento en sus combustiones.

TABLA 9

Límites de los principales parámetros de las cáscaras de frutas secas según el sistema de certificación BIOmasud®

PARAMETRO	MATERIAL	CLASE DE CALIDAD			UNIDAD
		A1	A2	B	
HUMEDAD		≤ 12	≤ 12	≤ 16	% en masa s.r.
CENIZAS					
	Cáscara de almendra	≤ 0.7	≤ 1.6	≤ 2.0	% en masa b.s.
	Cáscara de avellana	≤ 0.7	≤ 1.6	≤ 2.0	% en masa b.s.
	Cáscara de piñón	≤ 0.7	≤ 1.5	≤ 2.0	% en masa b.s.
	Cáscara de pistacho	≤ 0.7	≤ 1.6	≤ 2.0	% en masa b.s.
	Cáscara de nuez	≤ 0.7	≤ 1.6	≤ 2.0	% en masa b.s.
	Conos pino picados	≤ 0.8	≤ 1.1	≤ 1.5	% en masa b.s.
CONTENIDO ACEITE		≤ 0.6*	≤ 1.0*	≤ 1.5*	% en masa b.s.
FINOS (F < 2 MM)		< 2.0	< 2.0	< 4.0	% en masa s.r.
VALOR CALÓRICO NETO					
	Cáscara de almendra	≥ 15.0	≥ 15.0	≥ 14.0	MJ/kg (s.r.)
	Cáscara de avellana	≥ 15.0**	≥ 15.0**	≥ 14.0**	MJ/kg (s.r.)
	Cáscara de piñón	≥ 16.0	≥ 16.0	≥ 15.0	MJ/kg (s.r.)
	Cáscara de pistacho	≥ 15.0	≥ 15.0	≥ 14.0	MJ/kg (s.r.)
	Cáscara de nuez	≥ 16.0	≥ 16.0	≥ 15.0	MJ/kg (s.r.)
	Conos pino picados	≥ 15.8	≥ 15.8	≥ 14.9	MJ/kg (s.r.)



PARAMETRO	MATERIAL	CLASE DE CALIDAD			UNIDAD
		A1	A2	B	
DENSIDAD					
	Cáscara de almendra	≥ 450	≥ 300	≥ 270	kg/m³ (s.r.)
	Cáscara de avellana	≥ 300	≥ 300	≥ 270	kg/m³ (s.r.)
	Cáscara de piñón	≥ 470	≥ 470	≥ 450	kg/m³ (s.r.)
	Cáscara de pistacho	≥ 300	≥ 300	≥ 270	kg/m³ (s.r.)
	Cáscara de nuez	≥ 250	≥ 200	≥ 200	kg/m³ (s.r.)
	Conos pino picados	≥ 400	≥ 350	≥ 300	kg/m³ (s.r.)
NITRÓGENO					
	Cáscara de almendra	≤ 0.4	≤ 0.6	≤ 0.8	% en masa b.s.
	Cáscara de avellana	≤ 0.4	≤ 0.6	≤ 0.8	% en masa b.s.
	Cáscara de piñón	≤ 0.4	≤ 0.6	≤ 0.8	% en masa b.s.
	Cáscara de pistacho	≤ 0.4	≤ 0.6	≤ 0.8	% en masa b.s.
	Cáscara de nuez	≤ 0.4	≤ 0.6	≤ 0.8	% en masa b.s.
	Conos pino picados	≤ 0.3	≤ 0.4	≤ 0.6	% en masa b.s.
AZUFRE					
	Cáscara de almendra	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.05	% en masa b.s.
	Cáscara de avellana	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.05	% en masa b.s.
	Cáscara de piñón	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.05	% en masa b.s.
	Cáscara de pistacho	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.05	% en masa b.s.
	Cáscara de nuez	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.05	% en masa b.s.
	Conos pino picados	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.04	% en masa b.s..
CLORO					
	Cáscara de almendra	≤ 0.02	≤ 0.03	≤ 0.04	% en masa b.s..
	Cáscara de avellana	≤ 0.02	≤ 0.03	≤ 0.04	% en masa b.s..
	Cáscara de piñón	≤ 0.02	≤ 0.03	≤ 0.5	% en masa b.s.
	Cáscara de pistacho	≤ 0.02	≤ 0.03	≤ 0.04	% en masa b.s.
	Cáscara de nuez	≤ 0.02	≤ 0.03	≤ 0.04	% en masa b.s.
	Conos pino picados	≤ 0.05	≤ 0.07	≤ 0.10	% en masa b.s.

NOTA: La norma española UNE 164004 se va a publicar a principios de 2022 y algunos valores pueden diferir ligeramente

*No se aplica a las piñas picadas

Como se puede observar en la **tabla 9**, muchas cáscaras de frutos secos presentan características físicas y químicas bastante similares y este fue el motivo de la normalización de los biocombustibles sólidos españoles para agruparlos en una norma (UNE

164004) tras los trabajos realizados en el proyecto Biomasad Plus. Después de la revisión en 2022, la norma actualizada también agrupará muchos de los parámetros en común excepto algunos como el VCN y la Densidad que son los menos similares.



EJEMPLOS DE CASOS

UTILIZACIÓN DE CÁSCARAS DE ALMENDRA PARA PRODUCIR PIMENTÓN

La Región de Murcia es una de las principales zonas de producción de pimentón en España. En concreto, el Valle del Guadalentín produce unos 4 millones de kilos al año. Ubicada en la localidad de Totana, la cooperativa Francisco Palao explota uno de los mayores secaderos de pimiento rojo de España -en la campaña de 2020 se procesaron alrededor de 1.200 toneladas-, en su mayoría de las variedades “Bola” y “Americano”, de las que luego se obtiene el pimentón con Denominación de Origen Protegida “Pimentón de Murcia”. La estacionalidad de la campaña, que va del 25 de agosto al 31 de diciembre, obliga a secar todos los pimientos en 4 meses en un proceso muy intensivo en mano de obra y energía y que supone una parte importante de los costes de producción. La instalación de secado de la cooperativa incluye cinco secaderos de cinta alimentados con biomasa.

Recientemente, la cooperativa ha sustituido sus antiguos quemadores de biomasa por un nuevo sistema de llama horizontal de 1,5 MW, suministrado por el fabricante español Natural Fire. La cooperativa estima que la eficiencia energética ha mejorado entre un 20 y un 30% gracias al nuevo sistema. El aire se calienta hasta 90 °C gracias a la combustión de las cáscaras de almendra. El pimiento llega con una humedad de alrededor del 80 % y, tras unas cinco horas de permanencia en el interior del secadero, sale con un 9-10 %. El consumo anual del secadero es de unas 1.500 toneladas de cáscara de almendra. Los quemadores y la cámara de combustión deben limpiarse una vez a la semana.

FIGURA 33

En la Cooperativa Francisco Palao: Juan Tudela, Presidente de la Cooperativa, Pedro Sánchez, comercial de Natural Fire, Perfecto Forte, director general de Natural Fire y un operario del secadero.



FIGURA 34

Pimientos secos





UTILIZACIÓN DE CÁSCARAS DE ALMENDRA EN UN INVERNADERO DE FLORES ORNAMENTALES

El invernadero de flores ornamentales de Besgastriflor, en Cehégín, España, produce 10.000 paquetes de 5 tallos de margaritas frescas a la semana en una superficie de una hectárea.

Para conseguir una temperatura ambiente de 20°C en el interior del invernadero, una tubería aérea con agua a 85 °C recorre las líneas de plantación, distribuyendo el calor. La energía para calentar el agua procede de una caldera de gasóleo de calefacción readaptada, a la que actualmente se ha añadido un quemador de biomasa de 1 MW suministrado por el fabricante español Natural Fire.

El quemador se alimenta con cáscara de almendra, un biocombustible sólido muy abundante en la zona. Para cubrir las necesidades energéticas actuales, la caldera consume entre 1.200 y 1.400 kg de cáscara de almendra al día.



FIGURA 35 y 36

(arriba) Caldera de invernadero con quemador de biomasa de 1 MW (delante) y otro de 2,5 MW (detrás) y flores en el invernadero (derecha).

Según el responsable del invernadero, las alternativas al gasóleo o al gas natural habrían hecho inviable o muy incierta la rentabilidad del invernadero. Con un precio a granel de 110 - 150 €/t (entregado en el invernadero), la cáscara de almendra consigue un ahorro de costes de unos 250 €/día en comparación con el gasóleo de calefacción (0,8 €/litro).

La empresa prevé duplicar la superficie del invernadero y, más adelante, aumentarla en otros 17.000 m². Para dar servicio a esta superficie, se instalará una nueva caldera equipada con un quemador de biomasa de 2,5 MW.

La caldera y las tres bombas que dan servicio a los distintos sectores del invernadero se regulan automáticamente, en función de la temperatura requerida, y pueden gestionarse a distancia. La limpieza de la caldera y los quemadores se realiza manualmente cada 4-7 días. El fabricante subraya que el mantenimiento regular de los equipos es esencial para prolongar su vida útil.

El coste de una instalación de este tipo -una caldera de gasóleo existente readaptada con un nuevo quemador de biomasa- puede ser una opción muy competitiva en cuanto a costes en comparación con la instalación de una nueva caldera de biomasa.





CLAVES PARA LA UTILIZACIÓN DE CÁSCARAS

Como se ha mencionado anteriormente, mantener baja la **HUMEDAD** de este combustible es muy importante para permitir una adecuada combustión en calderas y estufas. Por lo tanto, un almacenamiento adecuado es imprescindible para evitar que la lluvia aumente el contenido de agua.

La **HOMOGENEIZACIÓN** también es clave para una buena combustión, principalmente por los finos, y para evitar el mal funcionamiento y la obstrucción de los sistemas de alimentación debido a las fracciones más grandes.



Cáscaras de girasol

DESCRIPCIÓN

El girasol se cultiva en diversas regiones del mundo y cuenta con dos variedades principales. Las semillas oleaginosas representan la mayoría de la producción mundial de girasol. Por término medio, contienen un 50% de aceite y un 20% de proteínas y se utilizan para obtener aceite vegetal. Los restos de la semilla tras la extracción del aceite se conocen como harina de girasol y, debido a las proteínas que contiene, son un material valioso para alimentación animal. Las semillas no oleaginosas, también conocidas como girasol de confitería, se utilizan sobre todo como alimento para humanos y aves.

El grano del girasol está rodeado por una cáscara, que suele ser de color oscuro en las variedades de semillas oleaginosas (grisáceo en algunas especiales) y está más adherida al grano. En las variedades no oleaginosas las cáscaras son de color más blanco y están más sueltas. Las cáscaras representan alrededor del 20 - 30 % del peso total de la semilla¹ y están compuestas en su mayoría por fibras de bajo valor y con un contenido muy bajo de proteínas para poder ser utilizadas como harina animal.

La presencia de cáscaras durante la extracción del aceite de girasol repercute negativamente en la calidad tanto del aceite como de la harina, ya que aumenta la concentración de ceras en el primero y reduce el contenido de proteínas en el segundo. Por ello, el proceso de descascarillado es el primer paso en muchas plantas de procesamiento de girasol. El descascarillado va precedido de una etapa de secado, que facilita la separación de la cáscara del grano. Las cáscaras de girasol son, por tanto, el subproducto sólido del proceso de descascarillado empleado por las plantas de procesamiento de girasol.

Las cáscaras de girasol tienen un alto contenido energético, un contenido medio de cenizas y un precio relativamente bajo, lo que las convierte en un biocombustible sólido popular para diversas aplicaciones. Cuando no se utilizan en las plantas de procesamiento de girasol, las cáscaras de girasol se suelen granular antes de su venta en el mercado, véase **Figura 38**.

¹ Seiler, G. J., y Gulya, T. J. (2016). El girasol: Visión general. Módulo de referencia en ciencias de la alimentación. <https://doi.org/10.1515/agri-ceng-2017-0008>



FIGURE 37

Anatomía de una semilla de girasol. Fuente: AVEBIOM



POTENCIALES Y DISTRIBUCIÓN EN EUROPA

En comparación con otros cultivos de semillas oleaginosas, las semillas de girasol tienen una baja densidad aparente, lo que limita las distancias en las que se pueden transportar económicamente antes de su transformación. Por ello, los lugares de producción de cáscaras de girasol suelen estar estrechamente vinculados a las zonas de cultivo de girasol.

Rusia y Ucrania tienen una participación casi igual en la producción mundial; sin embargo, los rendimientos son mejores en Ucrania. La UE, en conjunto, es el tercer productor mundial de girasol, con alrededor del 15,9% de la superficie cultivada y el 18,3% de la producción. También hay una producción considerable en Argentina, China, Turquía, Estados Unidos, Kazajistán, Moldavia y Serbia (**Tabla 10**).



FIGURA 38

Zonas de producción de girasol en Europa (Fuente: Departamento de Agricultura de EE.UU., Servicio Agrícola Exterior, División de Evaluación de la Producción Internacional)

TABLA 10

Los 10 principales países productores de girasol en el mundo (FAOSTAT, 2019).

PAÍS	SUPERFICIE (HA)	CUOTA / GLOBAL (%)	PRODUCCIÓN (T)	CUOTA / GLOBAL (%)
RUSIA	8,414,731	30.75	15,379,287	27.43
UCRANIA	5,958,900	21.77	15,254,120	27.20
UNIÓN EUROPEA	4,338,740	15.85	10,281,250	18.34
ARGENTINA	1,875,938	6.85	3,825,750	6.82
CHINA	850,000	3.11	2,420,000	4.32
TURQUÍA	751,693	2.75	2,100,000	3.75
EE.UU.	503,640	1.84	881,530	1.57
KAZAJISTÁN	815,288	2.98	838,710	1.50
MOLDAVIA	357,082	1.30	811,442	1.45
SERBIA	219,404	0.80	729,079	1.30
RESTO DEL MUNDO	3,283,350	12.00	3,551,578	6.32
TOTAL	27,368,766	100.00	56,072,746	100.00



Dentro de la UE, alrededor del 90,4% de la producción se concentra en cinco países: Rumanía, Bulgaria, Hungría, Francia y España. Otros cuatro países -Grecia, Italia, Eslovaquia y Croacia- suman alrededor del 8 % de la producción de la UE, mientras que el resto sólo desempeña un papel marginal (**Tabla 11**).

En general, el girasol goza de una creciente popularidad como cultivo debido a su versatilidad y a las preferencias de los consumidores y del mercado. Los rendimientos de la producción también siguen una tendencia al alza, especialmente en Europa del Este

PAÍS	SUPERFICIE (HA)	CUOTA / GLOBAL (%)	CUOTA / EU (%)	PRODUCCIÓN (T)	CUOTA / GLOBAL (%)	CUOTA / EU (%)
RUMANÍA	1,282,700	4.69	29.56	3,569,150	6.37	34.72
BULGARIA	815,560	2.98	18.80	1,937,210	3.45	18.84
HUNGRÍA	564,110	2.06	13.00	1,706,850	3.04	16.60
FRANCIA	603,920	2.21	13.92	1,298,140	2.32	12.63
ESPAÑA	701,770	2.56	16.17	782,290	1.40	7.61
GRECIA	100,720	0.37	2.32	298,960	0.53	2.91
ITALIA	118,520	0.43	2.73	294,730	0.53	2.87
ESLOVAQUIA	48,550	0.18	1.12	129,670	0.23	1.26
CROACIA	35,980	0.13	0.83	106,560	0.19	1.04
AUSTRIA	21,250	0.08	0.49	64,540	0.12	0.63
RESTO DE LA UE-27	45,660	0.17	1.05	93,150	0.17	0.91
TOTAL UE-27	4,338,740	15.85	100.00	10,281,250	18.34	100.00

TABLA 11

Los 10 principales países productores de girasol en la UE (FAOSTAT, 2019).

FIGURA 39

Pellets de cáscara de girasol [Fuente: CETH]





El potencial teórico de biomasa de las cáscaras de girasol puede calcularse a partir de los valores anteriores, considerando que las cáscaras son aproximadamente el 20 - 30 % del peso de la semilla, y teniendo en cuenta que el contenido de humedad estándar de las semillas de girasol es del 9 %. Por lo tanto, el potencial teórico en el mundo puede ser de entre 10,21 - 15,31 millones de toneladas (materia seca), mientras que el potencial de la UE es de alrededor de 1,87 - 2,81 millones de toneladas (materia seca).

El potencial técnico de las cáscaras de girasol es inferior al potencial teórico por dos razones principales. La primera es que no todas las plantas de procesamiento de girasol aplican un proceso de descascarillado. La segunda es que el descascarillado completo no se realiza a escala industrial por razones técnicas y económicas. Desde el punto de vista técnico, las semillas totalmente descascarilladas son difíciles de preensar; la torta preensada tiene una mala percolación durante la etapa de extracción

con disolventes. Desde el punto de vista económico, una mayor tasa de eliminación de las cáscaras supone también pérdidas de aceite que no pueden compensarse con el mayor valor de la harina. La dificultad para eliminar las cáscaras también varía en función de la variedad de girasol. Diferentes fuentes indican que el nivel de cáscaras que permanecen en la semilla se sitúa entre el 8 y el 15 % del peso de la semilla procesada.

La disponibilidad de cáscaras de girasol en el mercado también depende del nivel de autoconsumo de las industrias de transformación de girasol. La mayoría de las plantas de transformación de girasol utilizan una parte importante de este subproducto para cubrir su propia demanda de calor de proceso; últimamente, varias de las plantas más grandes han realizado inversiones en sistemas de cogeneración de biomasa para cubrir también parcialmente su consumo de electricidad. Además, como ocurre con todos los productos agrícolas, el nivel de producción también está influido por el clima y otros factores.

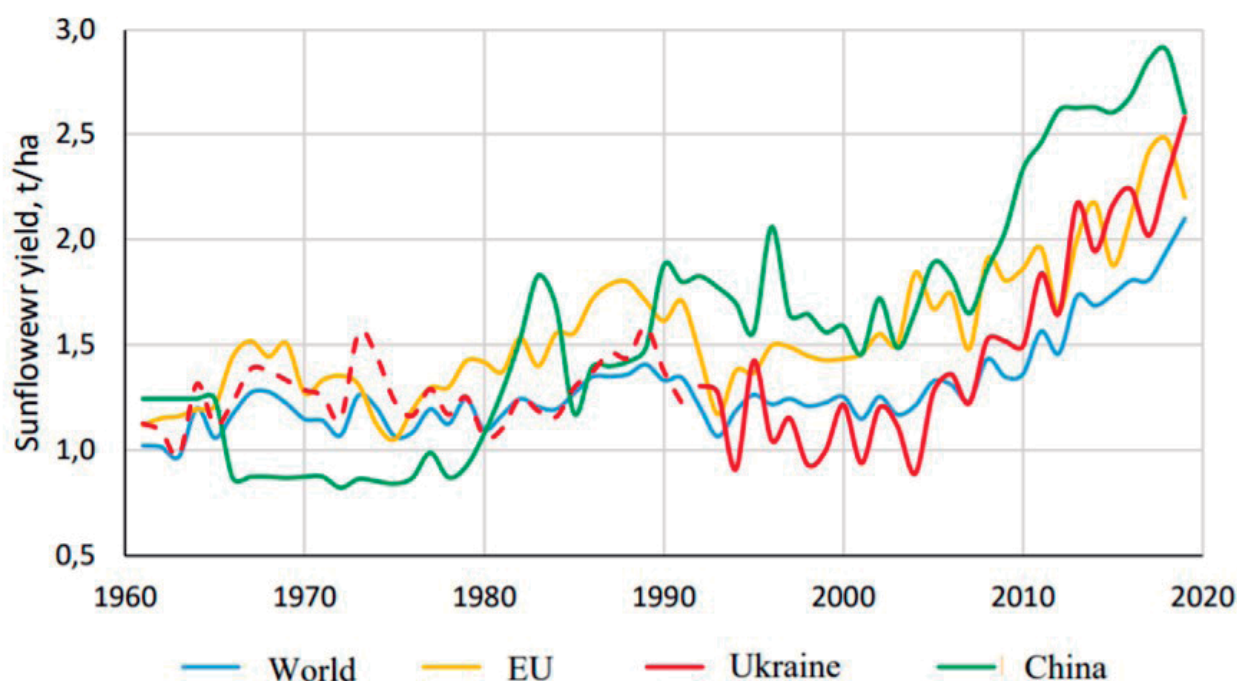


FIGURA 40

Evolución del rendimiento de las semillas de girasol de 1961 a 2019 (Fuente: FAOSTAT, UABIO)



CARACTERÍSTICAS: ¿DÓNDE Y CÓMO SE UTILIZA?

La producción de aceite de girasol es un proceso intensivo en energía. El consumo de electricidad se sitúa entre 96,6 y 198 kWh por tonelada de aceite y el consumo de calor (en forma de vapor) entre 348 y 1184 kWh por tonelada de aceite. Como ya se ha mencionado, la industria del aceite de girasol utiliza una parte importante de los restos de la cáscara de girasol para cubrir su demanda de calor de proceso. Las mayores fábricas de aceite de girasol ucranianas autoconsumen alrededor del 46 - 48% de su producción de cáscara para la generación de vapor. Las mayores plantas que han adoptado sistemas de cogeneración de biomasa utilizan un porcentaje aún mayor de su producción de cáscara: se cita un valor del 57,8% para un sistema de 12,3 MWe / 26,7 MWth en Ucrania (antes Kirovogradoliya LLC, actualmente Kropyvnytskyi Oil Extraction Plant PrAT).

Las cantidades de cáscaras de girasol que no se consumen suelen ponerse a disposición del mercado, tras una etapa de peletización (o, más raramente, de briqueteado).

PROPERTY	VALUE	UNIT
HUMEDAD	10	w-% s.r.
CENIZA	4.0	m-% b.s.
PODER CALORÍFICO INFERIOR	15.7	MJ/kg (s.r.)
DENSIDAD APARENTE	550	kg/m ³ s.r.
DENSIDAD ENERGÉTICA	2.40	MWh/m ³ (s.r.)
NITRÓGENO	0.8	m-% b.s.
AZUFRE	0.1	m-% b.s.
CLORO	0.06	m-% b.s.
CALCIO	5.000	mg/kg b.s.
POTASIO	11.000	mg/kg b.s.
SODIO	50	mg/kg b.s.
SÍLICE	600	mg/kg b.s.

TABLA 12

Composición indicativa del combustible - pellets de cáscara de girasol (Fuente: AgroBioHeat)

La densificación es necesaria, ya que, de lo contrario, las cáscaras tienen una densidad aparente/energética muy baja para ser transportadas y almacenadas de forma económica.

En la **Tabla 12** se presenta una composición de combustible indicativa de los pellets de cáscara de girasol. Hay que tener en cuenta que las características reales pueden variar en función del origen y de los pasos de preprocesamiento (la norma ISO 17225-1 presenta una visión más detallada de la gama de composición de combustible para las cáscaras de girasol). En general, se pueden señalar los siguientes puntos principales en relación con los pellets de cáscara de girasol como biocombustible sólido:

- Su bajo contenido en humedad y su buen poder calorífico, unidos a su precio relativamente bajo, lo convierten en un combustible muy atractivo y competitivo para muchas aplicaciones.
- El contenido de cenizas es bastante más elevado que el de los típicos combustibles de madera utilizados para la producción de bioenergía. Las cenizas de la cáscara de girasol tienen un alto contenido en potasio, lo que reduce la temperatura de fusión de las cenizas, contribuye a una mayor formación de escorias y depósitos de suciedad, así como a un aumento de las emisiones de partículas durante la combustión.
- El contenido de nitrógeno, azufre y cloro también es superior al de los típicos combustibles de madera. Durante la combustión, cabe esperar un aumento de las emisiones de NO_x y SO₂. El azufre y el cloro también pueden contribuir a la formación de problemas de corrosión.



Teniendo en cuenta sus propiedades como combustible, los pellets de cáscara de girasol se utilizan con mayor frecuencia en sistemas de mediana y gran escala, que suelen emplear la tecnología de parrilla móvil, para la generación de calor y/o electricidad.

El coste relativamente bajo de la cáscara de girasol la convierte también en un combustible atractivo para los usuarios finales con sistemas de menor escala: calefacción doméstica, sector comercial y pequeñas industrias. Debido a las limitaciones de costes, muchos de estos aparatos emplean sistemas de combustión sencillos de lecho fijo o han sido reequipados con quemadores de pellets. Las briquetas de cáscara de girasol se utilizan incluso ocasionalmente en pequeñas estufas. Por lo general, estos sistemas presentan un pobre rendimiento en cuanto a emisiones.

También es de esperar que se limpien con más frecuencia las partes internas debido al mayor contenido de cenizas del combustible en comparación con la biomasa leñosa. Sin embargo, con un sistema de combustión moderno y correctamente diseñado, también se puede conseguir una combustión eficiente y de bajas emisiones de los pellets de cáscara de girasol, incluso en sistemas de menor escala.



EJEMPLOS DE CASOS

UTILIZACIÓN DE CÁSCARAS DE GIRASOL PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE GIRASOL Y LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN UCRAINA

Como ya se ha dicho, los productores de aceite de girasol autoconsumen cáscaras de girasol para sus propias demandas energéticas. En Ucrania hay más de 60 instalaciones de este tipo que producen vapor de proceso a partir de cáscaras de girasol. Un ejemplo reciente es la empresa Agrotrade-2000, que ha invertido en una caldera de vapor de 4,5 t/h y una presión de 14 kg/cm². La caldera fue diseñada y construida por el fabricante ucraniano Kriger.

Además, en Ucrania hay 7 plantas de cogeneración y energía de biomasa que utilizan cáscaras de girasol y pellets de cáscara de girasol; su capacidad total es de 55 MWe. La mayor instalación de este tipo hasta la fecha es la planta "Ajax - Dnipro", con una capacidad de 16 MWe. La planta entró en funcionamiento en 2020, tras un periodo de implementación de dos años. Cuenta con dos calderas de vapor de 35 t/h y parámetros de vapor de 40 kg/cm² y 440°C.

En otras partes del mundo donde se produce aceite de girasol se han implantado plantas similares. Una caldera de girasol adecuada permite a los productores reducir sus costes energéticos y las emisiones de gases de efecto invernadero, además de evitar la tener que optar por la eliminación de su residuo de proceso a través de su gestión en vertederos.

Más información:

Vídeo de AgroBioHeat sobre el uso de los subproductos de la cáscara de girasol en Ucrania: <https://www.youtube.com/watch?v=mVuXyjro9U>



Havrysh, V., Kalinichenko, A., Mentel, G., Mentel, U., Vasbieva, D.G. (2020) Sistemas de suministro de energía de cáscara para las fábricas de aceite de girasol. *Energies* 2020, 13(2), 361; <https://doi.org/10.3390/en13020361>.

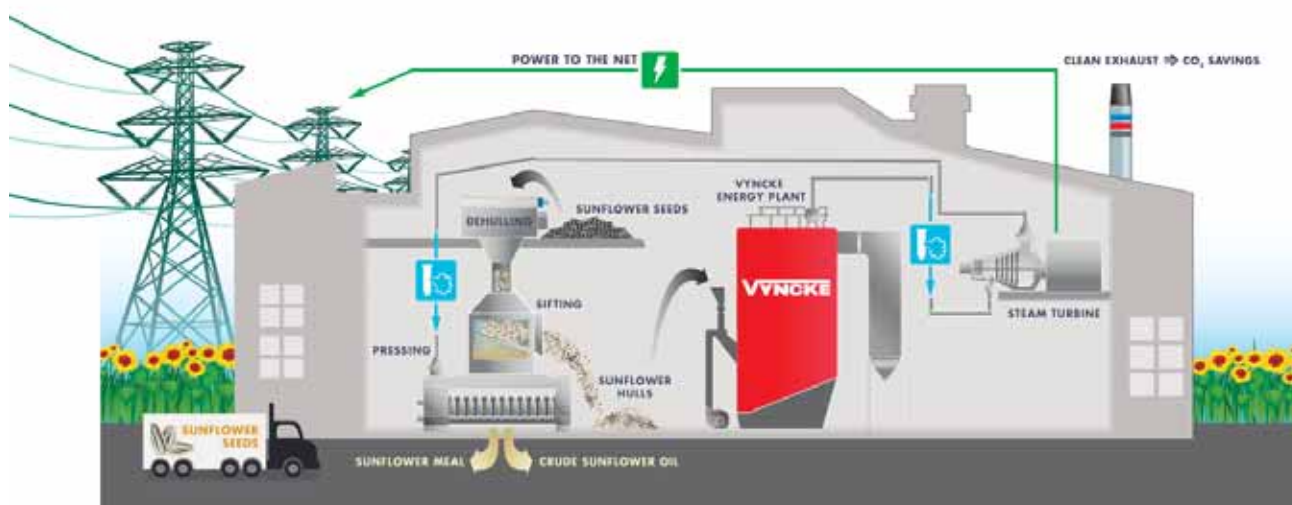


FIGURA 41

Instalación de cogeneración de biomasa para una planta ucraniana de refinado de aceite de girasol

Fuente: Vyncke



USO DE PELLETS DE CÁSCARA DE GIRASOL EN CALDERAS DOMÉSTICAS DE BIOMASA

En el marco del **proyecto AgroBioHeat** se ha investigado el rendimiento de la combustión de los pellets de cáscara de girasol -junto con otros tipos de agrocombustibles- en una serie de pruebas, que se realizaron en condiciones de laboratorio utilizando calderas de biomasa de última generación y un procedimiento de ensayo común que sigue la norma de ensayo de calderas EN 303-5.

En concreto, los pellets de cáscara de girasol se quemaron en una caldera de 45 kW que emplea el innovador concepto de escalonamiento extremo del aire. A excepción de las emisiones de NOx -que están relacionadas con el contenido de nitrógeno del combustible-, se midieron las emisiones de CO, OGC (compuestos orgánicos gaseosos) y PM (materia particulada), que están muy por debajo de los límites actuales del Reglamento de Ecodiseño, ya que se aplican a los combustibles de biomasa leñosa. También cabe esperar buenos resultados con un horno de parrilla móvil correctamente diseñado, con dos observaciones adicionales: a) la caldera debería mostrar un buen rendimiento de las emisiones también durante el funcionamiento a carga parcial, ya que esto afecta al factor de emisión estacional del Reglamento de diseño ecológico, b) se necesitaría un sistema secundario, como un ESP, para el control de las emisiones de PM en este caso.

Más información:

Brunner, T., Nowak, P., Mandl, C., Obernberger, I. (2021) Assessment of Agrobiomass Combustion in State-of-the-Art Residential Boilers. Actas de la 29th European Biomass Conference and Exhibition, páginas 379-388. DOI: 10.5071/29thEUBCE2021-2AO.5.1. Descarga: <http://www.etaflorence.it/proceedings/>

CALEFACCIÓN DE INVERNADEROS CON PELLETS DE CÁSCARA DE GIRASOL

Las ventajas competitivas del uso de pellets de cáscara de girasol quedan demostradas en el caso de AGRIS S.A., en el norte de Grecia. La empresa explota una instalación de viveros de invernadero con una superficie de más de tres hectáreas. La calefacción representa hasta un 13% de los costes de producción de la empresa. AGRIS instaló en 2012 ocho calderas de biomasa (con una capacidad total de 9,28 MW) para utilizar una alternativa de menor coste en comparación con el fuel. Inicialmente utilizaba orujillo, pero AGRIS cambió a pellets de cáscara de girasol por considerarlo un combustible superior sin problemas de olores. Los pellets de cáscara de girasol se importan de Bulgaria, se transportan en camión a la empresa y se descargan en un almacén cubierto. AGRIS calcula que el cambio a los combustibles de biomasa ha reducido la factura anual de calefacción en un 20-30%.

Más información:

Stroia, C., Jansen, J. (2019) Competitividad del abastecimiento empresarial de energía renovable. Anexo A.4 de la parte 2 del estudio sobre la competitividad del sector de las energías renovables, Estudio de caso: AGRIS S.A. DOI: 10.2833/561885: <https://op.europa.eu/s/vdNy>

SUMINISTRO DEL CENTRO COMERCIAL CON PELLETS DE CÁSCARA DE GIRASOL

Los pellets de cáscara de girasol ofrecen ventajas similares a los pellets de madera, lo que permite utilizarlos en aplicaciones con limitaciones de espacio. Un ejemplo es el centro comercial ACADEM-CITY de Kiev (Ucrania). Dos calderas de biomasa (500 kW y 320 kW) alimentadas con pellets de cáscara de girasol se encargan de la calefacción del edificio, situado en un entorno puramente urbano. Se utiliza un sistema de ciclones para reducir las emisiones de PM a la atmósfera.

Más información:

Karampinis, M. (2020) AgroBioHeat Deliverable 3.1: Informe sobre los casos identificados: https://agrobioheat.eu/wp-content/uploads/2020/10/AgroBioHeat_D3.1_agrobiomass-heating-facilities_v1.0-1.pdf



CLAVES PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS CÁSCARAS

En general, la cáscara de girasol es una opción atractiva para la producción de bioenergía a distintas escalas: desde sistemas de pequeña y mediana escala hasta grandes plantas de cogeneración y generación de energía. Una de las principales ventajas de este combustible es que ya se comercializa en forma de pellets, lo que facilita el transporte, el almacenamiento, la manipulación y la alimentación.

Algunos aspectos clave sobre la utilización eficaz de los pellets de cáscara de girasol:

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS PELLETS DE CÁSCARA DE GIRASOL.

Un parámetro que parece afectar al precio de mercado es la durabilidad mecánica. Algunos pellets de cáscara de girasol parecen ser más duraderos y son menos propensos a romperse en partículas más pequeñas durante la manipulación. Por último, los usuarios finales deben tener en cuenta que los pellets de cáscara de girasol suelen tener un diámetro de 8 mm, en lugar de los 6 mm de los pellets de madera, ya que esto puede repercutir en su sistema de alimentación de combustible.

PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS PELLETS DE CÁSCARA DE GIRASOL.

El contenido de azufre, nitrógeno y cenizas de la cáscara de girasol es mayor que el de los distintos tipos de biomasa de madera. Por lo tanto, el usuario final debe tener en cuenta esto y considerar si su sistema de calefacción es capaz de manejar el combustible y al mismo tiempo mantener las emisiones de SO_2 , NO_x y partículas dentro de los requisitos legales en su área.

SISTEMA DE COMBUSTIÓN DE LA BIOMASA.

Por lo general, las cáscaras de girasol deben quemarse en sistemas de parrilla móvil adecuadamente diseñados, en lugar de en sistemas de lecho fijo, debido a su alto contenido en cenizas.

PROVEEDORES DE CONFIANZA. Por el momento, no existe un sistema de certificación independiente de la calidad de la cáscara de girasol. Por lo tanto, los consumidores tienen que confiar en el desarrollo de relaciones de confianza con los proveedores de combustible. Los mayores proveedores de combustible suelen proporcionar especificaciones sobre al menos algunas propiedades físicas y químicas del combustible: normalmente, el poder calorífico, el diámetro, la humedad, la ceniza y el contenido de azufre. Basándose en ellas, los usuarios finales pueden evaluar si un envío es compatible con las especificaciones de su sistema de calefacción por biomasa.





Otros subproductos

HARINA DE GRANILLA DE UVA

El orujo de uva (o bagazo de uva) es un subproducto de la producción de vino. Una tonelada de orujo de uva se obtiene con una producción de vino de 3.333,33 l y se compone de una mezcla de raspones, pulpa y granillade uva (semillas) en proporciones variables (25, 55 y 20 % de media respectivamente). Sus características varían significativamente según el tipo de vino producido, la variedad de uva y el procedimiento de separación utilizado.

El orujo de uva es el orujo de uva completo del que se han separado los raspones. La pulpa se obtiene separando la granilla del orujo de uva.

La granilla está compuesta por un tegumento o cubierta altamente lignificada y un albumen rico en lípidos. Además tiene un contenido de aceite de entre el 14 y el 18%, que puede extraerse para producir aceite de semilla de uva, un aceite comercial muy valioso que se utiliza principalmente en la industria cosmética. El aceite puede extraerse de la granilla mediante extracción mecánica o mediante extracción química / con disolventes, utilizando métodos Soxlet y hexano en un proceso similar al de la extracción del aceite de orujo de oliva (a partir del orujo graso de aceituna, subproducto de las almazaras). Para facilitar la extracción, la granilla puede ser triturados y peletizados. El subproducto de este proceso se denomina harina de granilla de uva y puede utilizarse como combustible de biomasa, pero también tiene buenas propiedades para su uso como alimento para animales

El formato de la harina de granilla es granular, similar al orujillo de aceituna, aunque es habitual granularlo para mejorar la densidad y la logística, ya que es bastante pulverulento.

Teniendo en cuenta que la producción de vino de la UE en 2019 alcanzó los

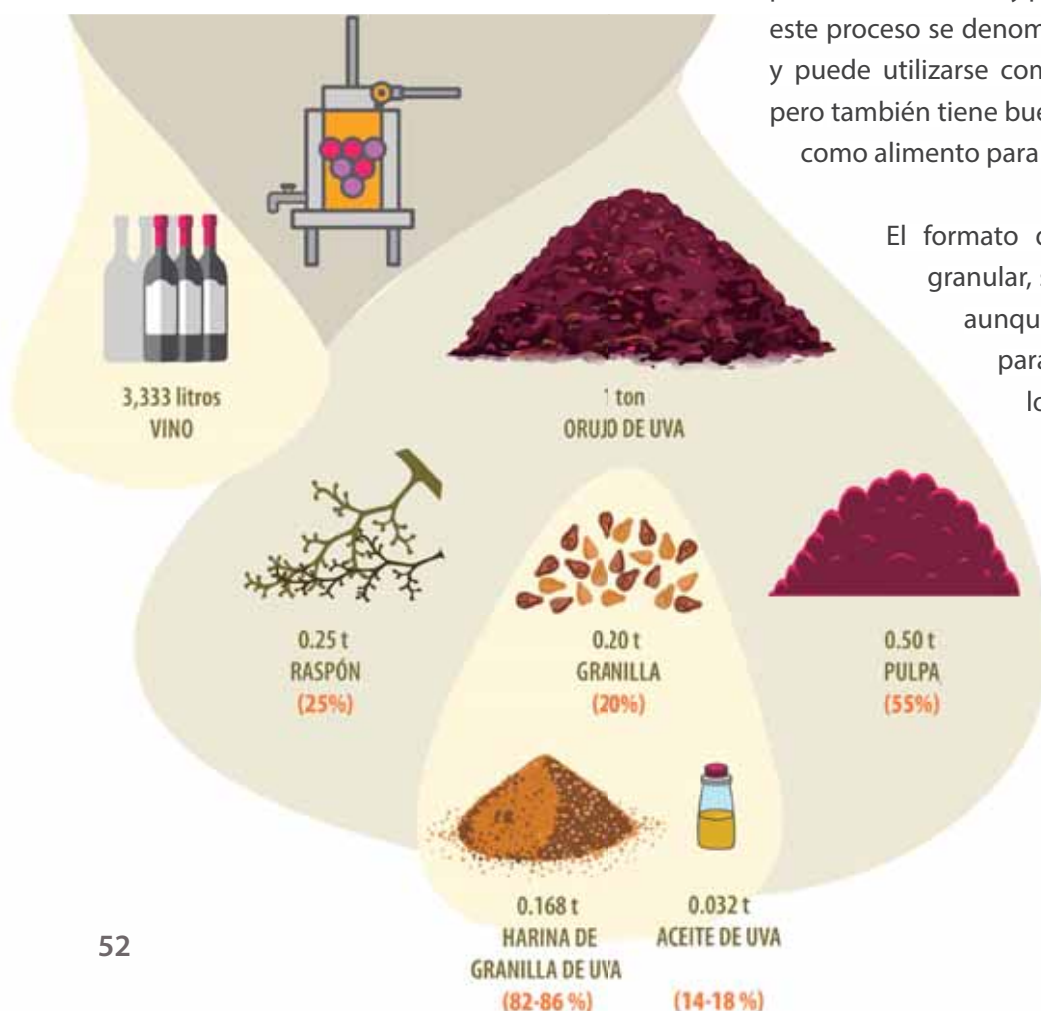


FIGURA 42

Balance de masas de la harina de granilla de uva. Fuente: AVEBIOM



PARAMETRO	RANGO TÍPICO	VALOR TÍPICO	UNIDAD
HUMEDAD	7 – 15	10	% en masa s.r.
CENIZA	3.5 - 5	4	% en masa b.s.
PODER CALORÍFICO INFERIOR (PCI)	> 16.7	17.4	MJ/kg (s.r.)
DENSIDAD APARENTE (SIN GRANULAR)		450	kg/m ³
NITRÓGENO	1.5 – 2	1.7	% en masa b.s.
AZUFRE	< 0.2	0.12	% en masa b.s.
CLORO	< 0.1	0.06	% en masa b.s.

TABLA 13

Valores típicos del polvo de huesos de uva.

Elaborado por AVEBIOM

15.800 millones de litros, el potencial teórico de la harina de granilla de uva en la UE podría alcanzar casi 800.000 toneladas según el balance de masas de la **Figura 42**. Sin embargo, el potencial real es mucho menor por diversas razones.

En primer lugar, no todos los subproductos de la producción de vino se utilizan para la producción de aceite de semilla de uva. Aunque no existen datos completos sobre el mercado, el mercado del aceite de uva parece ser bastante pequeño en comparación con su potencial teórico. En segundo lugar, parte de la producción de aceite de semilla de uva tiene lugar en plantas muy pequeñas, que tienen posibilidades limitadas de valorizar eficazmente este subproducto. En tercer lugar, incluso entre los mayores productores de aceite de semilla de uva, se produce un gran porcentaje de harina de granilla de uva que se utiliza como alimento para animales o para sus propias necesidades de autoconsumo en

las instalaciones de extracción. Por el momento, la harina de granilla de uva sigue siendo un nicho de biomasa para los mercados exteriores.

**FIGURA 43 Y 44**

Harina de granilla de uva y pellet de harina de granilla de uva. Fuente: AVEBIOM



MARRO DE CAFÉ

Se denomina marro de café (MC) al subproducto generado durante la preparación del café. Teniendo en cuenta que menos del 1% de los compuestos del café se extraen durante la elaboración y el volumen de café que se consume en el mundo, está claro que se generan enormes cantidades de MC cada año. Algunas cantidades de MC se utilizan como abono tras el compostaje y existe un creciente interés por utilizar esta materia prima en el ámbito más amplio de la bioeconomía, por ejemplo, para la extracción de compuestos valiosos. Por el momento, el uso alternativo más popular de los MC es su utilización como combustible para la generación de calor.

El método de valorización del MC depende en gran medida de su lugar y método de producción. Las grandes industrias que producen café instantáneo generan volúmenes importantes de MC in situ. Varias de ellas han tomado medidas para instalar calderas especiales de biomasa que aprovechan el MC -y si no es suficiente, también otras fracciones de biomasa- para producir vapor o gases calientes limpios para su proceso. El alto contenido de humedad del MC es un factor importante que hay que tener en cuenta para el diseño de la caldera.

Para los pequeños usuarios finales del café -cafeterías y hogares- el MC es más un “residuo alimentario” que un “residuo de proceso” (ver definiciones en apartado 1) y es mucho más difícil de recoger y valorizar debido a la

dispersión de los pequeños volúmenes. Sin embargo, han surgido varias iniciativas en este sentido. Bio-bean (www.bio-bean.com) es probablemente el ejemplo más conocido: una empresa con sede en el Reino Unido que colabora con cientos de cafeterías para el reciclaje del MC. En 2021, la empresa recogió 6.400 toneladas de MC. La empresa ha lanzado varias líneas de productos diferentes e investiga rutas de valorización alternativas para el MC. Dos de sus principales productos son los troncos de café, una briqueta de MC que se vende en varios minoristas como alternativa a la leña, y los pellets de café, un producto que se dirige principalmente al sector empresarial. En Grecia, “Kafsimo” (www.incommon.gr/kafsimo) es un proyecto comunitario de la organización no gubernamental InCommOn que pretende recoger el MC de las cafeterías del norte de Grecia y convertirlo en pellets de biomasa.

Los pellets fabricados con MC suelen tener un poder calorífico ligeramente superior al de los pellets de madera estándar. Su contenido en cenizas suele ser de alrededor del 2 % en masa (en base seca), que es relativamente bajo en comparación con otros biocombustibles sólidos industriales. Sin embargo, para conseguir una mayor durabilidad mecánica, los MC tienen que mezclarse con un aditivo o con otra materia prima lignocelulósica. Además, los pellets de MC suelen presentar mayores contenidos de azufre y cloro en comparación con los pellets de madera.



FIGURA 45

Marro de café. Fuente: AVEBIOM



HUESOS DE FRUTA

Los huesos de fruta -también conocidos como drupas- provienen de variedades de fruta con un endocarpio de “hueso” duro que contiene la semilla como las almendras y las aceitunas, pero también los melocotones, los albaricoques, las ciruelas, las cerezas y similares. En esta sección nos centramos en este último grupo, del que se puede extraer el hueso en las agroindustrias que producen mermeladas, compotas o zumos. Dado que el hueso puede suponer un porcentaje



importante del peso total de la fruta, estas agroindustrias acumulan volúmenes significativos de estos huesos durante sus periodos de producción y pueden valorizarlos como biocombustibles sólidos. En teoría, también sería posible utilizar los huesos generados por las frutas de hueso consumidas en el mercado alimentario, sin embargo, su dispersión no hace que este concepto sea económicamente viable.



Los huesos de fruta se pueden encontrar en el mercado como hueso “entero” (Figura 45), que pueden utilizarse en calderas industriales con sistemas de entrada suficientemente grandes, y también triturados (Figura 46), que pueden utilizarse en calderas más pequeñas, aunque debido a su alto poder calorífico hay que bajar el ritmo de alimentación.

FRUTA DE HUESO	% EN PESO DEL ENDOCARPIO (HUESO)
Albaricoque	10%
Cereza	8%
Melocotón	15%
Ciruela	4%

TABLA 14.
Porcentaje en peso del endocarpio de varios frutos

Fuente: “Global Bioenergy potential from high-lignin agricultural residue”.
Mendu et al. Universidad de California, Berkeley, CA. 2012. <https://www.pnas.org/content/109/10/4014.short>

PARAMETER	TYPICAL RANGE	TYPICAL VALUE	UNIT
HUMEDAD	< 18	14	% en masa s.r.
CENIZA	< 3	1.8	% en masa b.s.
PCI	> 16,750	18,840	KJ/kg (s.r.)
NITRÓGENO		0.8	% en masa b.s.
AZUFRE		0.035	% en masa b.s.

TABLA 15
Valores típicos de los huesos de melocotón. Elaborado por AVEBIOM con datos de Muns Agroindustrial y Phyllis

Grecia es productor líder de compota de melocotón en la UE. Sus fábricas de conservas producen cantidades importantes de huesos de melocotón que, en el pasado, estaban disponibles en los mercados locales como biocombustible sólido. Sin embargo, la mayoría de las plantas conserveras más grandes han instalado ahora calderas de biomasa para cubrir -al menos en gran medida- sus necesidades de calor de proceso. Como resultado, las conserveras consumen casi todos los huesos de melocotón y sólo se pueden encontrar cantidades limitadas -si es que hay alguna- en el mercado.

FIGURA 46 Y 47
Huesos de melocotón enteros y triturados.
Fuente: Muns Agroindustrial



CASCARILLA DE ARROZ

La cascarilla de arroz es el revestimiento exterior de los granos de arroz -también llamado arroz con cáscara- y se elimina en la molienda. La cáscara representa alrededor del 20% del peso del grano de arroz. Tras la molienda, el arroz integral puede seguir procesándose para eliminar la capa de salvado, que supone otro 10 % del grano de arroz con cáscara. El salvado se utiliza principalmente como alimento para animales, mientras que la cáscara de arroz se aprovecha cada vez más para producir energía.

Con una producción mundial estimada en 758 millones de toneladas de arroz con cáscara, está claro que el potencial de este subproducto agroindustrial es enorme. Los países asiáticos son los mayores productores de arroz en el mundo. La producción anual de arroz con cáscara de la UE es de unos 2,8 millones de toneladas, equivalente a 1,7 millones de toneladas de arroz molido. Italia es el mayor productor pero también hay centros de cultivo en España, Grecia, Portugal y otros países europeos.

La cascarilla de arroz es una evidente fuente de energía para los molinos de arroz que necesitan

energía térmica en forma de agua caliente o vapor para dos procesos principales: el secado estacional del arrozal y el vaporizado continuo. De hecho, las cantidades producidas pueden satisfacer la demanda de energía térmica de un molino de arroz típico y el sobrante pueden venderse en el mercado como biocombustible sólido o incluso encontrar otras aplicaciones no energéticas.

La cascarilla de arroz se distingue del resto de subproductos agroindustriales analizados en esta guía, por dos características. En primer lugar, su contenido de cenizas es muy elevado: puede alcanzar hasta un 18 o 20% en masa (base seca). En segundo lugar, la mayor parte de la ceniza de la cáscara de arroz está compuesta por sílice. La mayor concentración de sílice confiere a la cascarilla de arroz su marcada dureza y causa problemas en las máquinas de procesamiento como transportadores y molinos. Por otro lado, esto da un valor económico a la ceniza de cascarilla de arroz, que puede utilizarse como materia prima en las industrias del hormigón y el acero y en otras aplicaciones potenciales.

ZURO DE MAÍZ

En ocasiones, el maíz en grano se cosecha junto con el zuro (parte interior fibrosa de la mazorca), de la que se separa en instalaciones más o menos grandes. Por lo tanto, el zuro de maíz puede ser un subproducto biomásico relevante, obtenido en instalaciones agroindustriales. En estos casos puede utilizarse in situ, por ejemplo para secar el grano de maíz, y las cantidades sobrantes pueden ponerse a disposición del mercado.

El contenido de cenizas del zuro de maíz es bastante bajo (alrededor del 2% en masa b.s.), lo que a primera

vista las convierte en un combustible muy interesante. Sin embargo, el problema principal es el altísimo contenido de potasio en las cenizas, que reduce la temperatura de fusión de las mismas y puede crear graves problemas de escorias. En los sistemas de mediana escala, la combustión del zuro de maíz es posible mediante la aplicación de tecnologías específicas que mitigan estos problemas. Se puede encontrar más información sobre las propiedades del combustible de zuro de maíz y las peculiaridades de la combustión en la guía dedicada al proyecto AgroBioHeat sobre *"Maize Residues to Energy"*.



SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES IMPORTACION

Además de los subproductos agroindustriales generados en Europa, las agroindustrias de otros continentes procesan diferentes productos agrícolas y producen grandes cantidades de residuos, susceptibles de ser utilizados, y con ello de ser considerados subproductos (según nomenclatura europea, citada al inicio). Algunos de los más relevantes son: las **cáscaras de palma** (en inglés PKS, *palm kernel shells*) y la **harina de palma** (en inglés PKE, *palm kernel expeller*), obtenidos de la

industria del aceite de palma; las **cáscaras de cacao**, un subproducto del procesamiento del cacao; o el **bagazo de caña de azúcar**, un subproducto de la industria de la caña de azúcar.

Dado que estos subproductos se generan fuera de Europa, no se consideran en profundidad para esta Guía. Sin embargo, cabe señalar que muchos están despertando interés en Europa, Asia y otros lugares, principalmente como combustible para desplazar al carbón en aplicaciones industriales y en la generación de energía.

RESTOS DEL DESMOTADO DE ALGODÓN

La producción de algodón de la UE solo representa el 1 % (unas 340.000 t en 2018) del mundo. Sin embargo, es un cultivo muy importante a nivel regional, principalmente en Grecia -80 % de la producción de la UE- y en algunas zonas de España y Bulgaria.

Tras la cosecha, el algodón en rama se transporta a las plantas de desmotado, que separan la semilla del propio algodón desmotado. La semilla de algodón puede utilizarse directamente como alimento para animales, pero también puede procesarse para la producción de aceite de semilla de algodón y harina de algodón; el primero puede utilizarse para diversas aplicaciones, incluida la producción de biodiésel, mientras que el segundo se utiliza como alimento para animales.

Alrededor del 10% del peso del algodón en rama queda como subproducto fibroso en las plantas de desmotado de algodón. Este material tiene un alto contenido de cenizas (15 % en masa b.s o más), pero está lo suficientemente seco como para ser explotado como biocombustible sólido, con un PCI de alrededor de 14,6 MJ/kg (contenido de humedad de alrededor del 13%).

Varias plantas de desmotado de algodón en Grecia autoconsumen este subproducto para la producción de vapor, utilizado en varios procesos de la planta (secado de algodón, producción de aceite de semilla de algodón, etc.). En 2014 se construyó en el norte de Grecia una planta de cogeneración de biomasa de 1 MWe que utiliza como combustible subproductos de desmotado de algodón y otros surtidos de biomasa locales.

FIGURA 48

Algodón sembrado en una planta de desmotado de algodón (Fuente: G&P Cotton Ginners S.A.)



FIGURA 49

Subproductos del desmotado del algodón utilizados en una planta de cogeneración de 1 MWe (Fuente: PHILIPPOPOULOS ENERGY TECHNICAL S.A.)





Consorcio AgroBioHeat



El Centro de Investigación y Tecnología Hellas (CERTH) es uno de los principales centros de investigación de Grecia. Entre sus áreas de especialización se encuentran las actividades en materia de fuentes de energía renovables, producción y utilización de biocombustibles sólidos, ahorro de energía y protección del medio ambiente.

www.certh.gr



AVEBIOM es la Asociación Española de la Biomasa que representa a todas las empresas de toda la cadena de suministro de la bioenergía en España.

www.avebiom.org



BIOS es una empresa austriaca de I+D e ingeniería con más de 20 años de experiencia en el campo del aprovechamiento energético de la biomasa.

www.bios-bioenergy.at



Bioenergy Europe (antes conocida como AEBIOM) es la voz de la bioenergía europea. Su objetivo es desarrollar un mercado de bioenergía sostenible basado en condiciones comerciales justas.

www.bioenergyeurope.org



Food & Bio Cluster Denmark es la agrupación nacional danesa de alimentos y recursos biológicos. Promueve una mayor cooperación entre la investigación y las empresas y ofrecen a sus miembros un acceso único a redes, financiación, desarrollo empresarial, proyectos e instalaciones, así como diversos servicios de consultoría.

www.foodbiocluster.dk



Centro tecnológico fundado en España en 1993, que busca aportar soluciones innovadoras en el ámbito de la energía para un desarrollo sostenible.

www.fcirce.es



INASO-PASEGES es una organización civil sin ánimo de lucro, creada en 2005 en Atenas por la Confederación Panhelénica de Uniones de Cooperativas Agrarias (PASEGES).

www.neapaseges.gr



Consorcio AgroBioHeat



La Cooperativa de Energía Verde (ZEZ) se creó en 2013 en el marco del proyecto “Desarrollo de cooperativas energéticas en Croacia”, ejecutado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en Croacia.

www.zez.coop



El objetivo principal del Cluster es desarrollar el sector de la bioenergía en Rumanía y aumentar el interés hacia la producción y utilización de la biomasa.

www.greencluster.ro



La UABIO se creó en 2013 como organización pública. El objetivo de la actividad de la Asociación es crear una plataforma común para la cooperación en el mercado de la bioenergía de Ucrania.

www.uabio.org



AILE trabaja en el campo de las energías renovables y el ahorro energético en las zonas agrícolas y rurales del oeste de Francia.

www.aile.asso.fr



White Research es una empresa de investigación social y consultoría especializada en el comportamiento de los consumidores, el análisis de mercados y la gestión de la innovación con sede en Bruselas.

www.white-research.eu



Agronergy es una ESE (empresa de servicios energéticos) francesa dedicada a la calefacción renovable.

www.agronergy.fr



Este proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizon 2020 de la Unión Europea en virtud del Acuerdo de subvención no 818369