

Estudio de viabilidad técnico- económico para la implantación de una instalación de valorización del alperujo tanto en una almazara como en cooperativa.

Autores

Rubén Rebollar Rubio

Iván Lidón López

Enrique Samperio Fernández



G2PM
Group in Product
and Project Management
Universidad Zaragoza

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Objetivo y justificación	6
1.1.1. Objetivo	7
1.2. Alcance	7
2. INVESTIGACIÓN DEL SECTOR Y ANÁLISIS DEL CONTEXTO	9
2.1. El sector oleico	9
2.2. Características del aceite de oliva	10
2.3. Características del alperujo	10
2.3.1. Problemas ambientales	11
2.3.2. Normativa sobre gestión del alperujo	11
3. PROCESO PRODUCTIVO Y CÁLCULO DE VOLUMEN DE PRODUCCIÓN	13
3.1 Proceso productivo	13
3.2. Cálculo de volumen de alperujo	15
3.3. Balance de materias	16
4. USOS DEL ALPERUJO	19
4.1. Aprovechamiento energético.	19
4.2. Valorización como enmienda orgánica.	20
4.3. Aplicación directa al suelo.	20
4.4. Alimentación animal.	21
4.5. Extracción nutracéutica de ácidos triterpénicos y polifenoles	21
4.6. Gasificación para generación de energía renovable	21
4.7. Pirólisis para producción de carbones activados de alto valor	22
5. CARACTERIZACIÓN Y VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS	23
5.1. Alternativa 0: Venta del alperujo a una orujera	23
5.2. Alternativa 1: Separación y aprovechamiento del hueso de aceituna	23
5.3. Alternativa 2: Compostaje del alperujo	24
5.4. Alternativa 3: Producción de biogás mediante digestión anaerobia	25
5.5. Alternativa 4: Uso del alperujo en alimentación animal	25
5.6. Alternativa 5: Recuperación de compuestos de alto valor	26

5.7. Alternativa 6: Procesos termoquímicos avanzados	27
5.8. Conclusiones	27
6. DISEÑO Y DESARROLLO DE LAS INSTALACIONES	29
6.1. Fase 1: Deshuesado del alperujo y valorización energética del hueso	29
6.1.1. Proceso productivo	29
6.1.2. Planificación operativa del proceso	29
6.1.3. Maquinaria necesaria	30
6.1.4. Inversión	34
6.2. Fase 2: Compostaje del alperujo deshuesado para fertilizante orgánico	34
6.2.1. Proceso productivo	34
6.2.2. Planificación operativa del proceso	35
6.2.3. Construcciones previas	35
6.2.4. Maquinaria necesaria	36
6.2.5. Inversión	40
7. ESTUDIO ECONÓMICO	41
7.1. Fase 1: Deshuesado del alperujo	41
7.1.1. Inversión inicial	41
7.1.2. Gastos operativos	42
7.1.3. Ingresos	42
7.1.4. Cálculo de la rentabilidad económica	43
7.2. Fase 2: Compostaje del alperujo deshuesado	44
7.2.1. Inversión inicial	44
7.2.2. Gastos operativos	45
7.2.3. Ingresos	46
7.2.4. Cálculo de la rentabilidad económica	46
7.3. Proceso productivo completo (Fase 1 y fase 2)	48
7.3.1. Cálculo de la rentabilidad económica	48
7.4. Conclusiones	49
8. CONCLUSIONES	50
9. REFERENCIAS	51

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de aceite en España (media, provisional y estimación).	8
Figura 2. Producción de aceite en Aragón (media, provisional y estimación).	8
Figura 3. Diagrama de flujo de proceso de extracción de aceite de oliva.	13
Figura 4. Balance de materia limpieza y lavado.	16
Figura 5. Balance de materia molturación y batido.	16
Figura 6. Balance de materia decanter de 2 fases.	16
Figura 7. Balance de materia centrifuga vertical	18
Figura 8. Proceso productivo del deshuesado.	30
Figura 9. Tolva de recepción.	31
Figura 10. Cinta transportadora de goma.	31
Figura 11. Bomba helicoidal.	32
Figura 12. Separador pulpa-hueso.	32
Figura 13. Tamiz vibratorio industrial circular.	33
Figura 14. Silo metálico.	33
Figura 15. Proceso productivo del deshuesado.	35
Figura 16. Minicargador.	36
Figura 17. Apero triturador de ramas de olivo.	37
Figura 18. Trommel móvil Sinolion.	37
Figura 19. Cinta transportadora de goma	38
Figura 20. Volteadora de compost acoplada a tractor.	38
Figura 21. Remolque cisterna de agua	39
Figura 22. Trommel compacto Traserscreen DB-30 / DB-70	39
Figura 23. Máquina de embolsado de línea de llenado de bolsas	40

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Balance de materia general	18
Tabla 2. Partidas de la inversión inicial (Fase 2).	41
Tabla 3. Partidas de los gastos operativos anuales (Fase 2).	42
Tabla 4. Partidas de los ingresos anuales (Fase 2).	43
Tabla 5. Flujos de caja (Fase 2).	44
Tabla 6. Partidas de la inversión inicial (Fase 2).	45
Tabla 7. Partidas de los gastos operativos anuales (Fase 2).	45
Tabla 8. Partidas de los ingresos anuales (Fase 2).	46
Tabla 9. Flujos de caja (Fase 2).	47
Tabla 10. Flujos de caja (Proceso completo).	48

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivo y Justificación

El alperujo es hoy uno de los principales condicionantes operativos y económicos de la almazara moderna: se genera en grandes volúmenes, concentrados en pocas semanas y con humedad elevada, lo que encarece su manejo, almacenamiento y transporte y aumenta los riesgos ambientales (lixiviados, olores, autocalentamiento). En Aragón, con 98 almazaras y una producción media reciente en el entorno de 13 mil toneladas de aceite/año, esto se traduce en decenas de miles de toneladas de alperujo cada campaña. Convertir ese flujo en una corriente de valor, en lugar de un centro de coste, es una prioridad si se quiere reforzar la competitividad del sector y su resiliencia frente a campañas cada vez más variables por la climatología.

La práctica habitual de expedir el alperujo a orujera tras la molturación traslada ingresos fuera de la almazara y deja al productor expuesto a la volatilidad de precios, tarifas y logística (coste del transporte, distancias, ventanas de recepción). Además, en campañas cortas o con problemas de almacenaje, el almacenamiento provisional del alperujo dentro de la almazara puede generar costes ocultos (gestión de efluentes, movimientos internos, tiempos de carga, superficie ocupada) que no siempre se capturan en la contabilidad. Introducir procesos de transformación en la propia almazara post-separación del aceite permite estabilizar el subproducto y capturar valor en origen, reduciendo al mismo tiempo los riesgos y las ineficiencias operativas.

Desde el punto de vista ambiental, la valorización en planta contribuye a minimizar impactos: menos transporte de material húmedo, reducción de lixiviados y emisiones difusas, y mejor control de la estabilidad del material. Todo ello se alinea con los principios de economía circular y con las exigencias crecientes de trazabilidad y buena gestión de subproductos en la industria agroalimentaria. Para las almazaras, especialmente cooperativas y pymes, disponer de una solución modular y escalable dentro de sus instalaciones es una forma directa de cumplir con la normativa, evitar contingencias y mejorar su reputación ante socios, vecinos y administraciones.

En términos de negocio, transformar el alperujo en la almazara abre la puerta a nuevas fuentes de ingreso y/o a ahorros netos frente al escenario actual: menos camiones por tonelada de aceite, menos superficie y manejo en patio, y productos con salida comercial más clara que un residuo húmedo y perecedero. El estudio económico comparativo previsto entre la situación actual y las alternativas integradas en planta, permitirá cuantificar el coste por tonelada tratada, punto de equilibrio y retorno, incorporando sensibilidades a volumen de campaña y humedad del alperujo, de modo que la decisión de inversión se tome con riesgo acotado y criterios homogéneos.

La integración post-decanter tiene además ventajas operativas: no interfiere en la calidad del aceite ni en la línea principal; aprovecha infraestructura existente (energía, espacios, manejo de sólidos) y puede apoyarse en recursos que muchas almazaras ya tienen. Al ser soluciones modulares, es posible empezar con capacidades acotadas y escalar conforme se consoliden flujos y mercados, o conectar con almazaras cercanas para economías de escala comarcales en campañas cortas.

Por otro lado, el impacto territorial también se ve afectado por esta incorporación, ya que mantener la renta del subproducto en el territorio contribuye a la diversificación de ingresos de las almazaras y a la actividad económica local (servicios, mantenimiento, empleo de campaña), con potencial de replicabilidad en otras comarcas olivareras. En un contexto de incertidumbre

climática y de costes energéticos, disponer de una cadena de valor del alperujo más corta, flexible y controlada es una palanca de resiliencia para el tejido oleícola aragonés.

En síntesis, el proyecto se justifica porque responde simultáneamente a un reto operativo (gestión de grandes volúmenes húmedos), a una oportunidad económica (convertir un coste en ingreso y reducir logística) y a una exigencia ambiental (mejor gestión en origen), todo ello con un enfoque realista: introducir procesos de transformación dentro de la almazara, después de la separación del aceite, y evaluar con datos su conveniencia frente al estado actual. Esta combinación de viabilidad técnica, beneficio económico y alineamiento ambiental hace del proyecto una inversión pertinente y oportuna para el sector.

1.1.1 Objetivo

El proyecto tiene por objeto desarrollar y demostrar soluciones viables para la valorización del alperujo en almazaras, transformando un subproducto estacional y húmedo en nuevas corrientes de valor (ingredientes de alto valor añadido, bioinsumos agronómicos y energía renovable). El foco está en tecnologías modulares e “in situ”, compatibles con líneas de 2 fases y con la operativa real de campañas, de forma que la renta del subproducto permanezca en el territorio y complemente los ingresos de las cooperativas y pymes oleícolas.

Concretamente, el proyecto se centra exclusivamente en la introducción de nuevos procesos dentro de la almazara, después de la separación del aceite (post-decanter/centrífuga), para transformar el alperujo en productos comercializables generados en la propia instalación. Se busca seleccionar, integrar y ensayar módulos de pretratamiento y conversión que permitan estabilizar y valorizar el alperujo en la propia almazara manteniendo la calidad del aceite y la continuidad de la operación. En paralelo, se llevará a cabo un estudio económico comparativo entre las alternativas propuestas y la situación actual (expedición a orujera), evaluando el coste total por tonelada, ingresos potenciales, punto de equilibrio y periodo de retorno, con análisis de sensibilidad a volumen de campaña y humedad del subproducto. El resultado esperado es recomendar la opción u opciones con mejor desempeño económico para su implantación real en almazaras aragonesas.

1.2 Alcance

El informe se desarrollará íntegramente después de la separación del aceite, es decir, en la etapa posterior al decanter/centrífuga. El objetivo operativo es introducir procesos de transformación del alperujo “in situ” que permitan obtener productos comercializables en la propia instalación, sin modificar la línea de fabricación del aceite ni su calidad. El trabajo se realizará teniendo en cuenta el tamaño y tecnología de una almazara media en Aragón (principalmente líneas de dos fases), de modo que las soluciones resulten realistas y replicables en el entorno regional.

El punto de partida será una caracterización en campaña del alperujo que genera cada almazara participante, atendiendo a caudales, humedad, aceite residual, fracción sólida y estabilidad básica. Esta información permitirá dimensionar equipos y operaciones, así como establecer las condiciones de trabajo más adecuadas para la transformación posterior. Con base en ese diagnóstico, se abordará la ingeniería de integración en planta: definición del flujo de materiales, balance de materia y energía a gran nivel y área de ocupación de equipos.

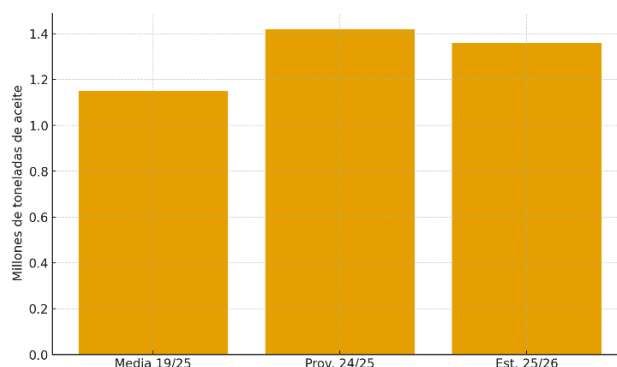
El alcance incluye un análisis económico comparativo entre la situación actual (expedición a orujera) y las nuevas opciones dentro de planta. Este análisis considerará inversión y costes operativos, coste total por tonelada tratada, ingresos potenciales y retorno estimado, incorporando sensibilidades a volumen de campaña y a humedad del alperujo para reflejar la variabilidad real de cada ejercicio. El propósito es identificar la configuración que ofrezca el mejor desempeño económico, manteniendo a la vez la continuidad de la operación y la calidad del aceite como condiciones no negociables.

Finalmente, el proyecto concluirá con una recomendación fundamentada sobre la adopción de los procesos evaluados dentro de la almazara, indicando las condiciones de operación que maximizan su viabilidad. En suma, el alcance cubre todo el ciclo de incorporación de nuevos procesos post-separación de aceite, desde la caracterización y la integración en planta hasta la validación operativa y económica, con el fin de convertir el alperujo en una fuente de valor estable y cercana al origen.

2. INVESTIGACIÓN DEL SECTOR Y ANÁLISIS DEL CONTEXTO

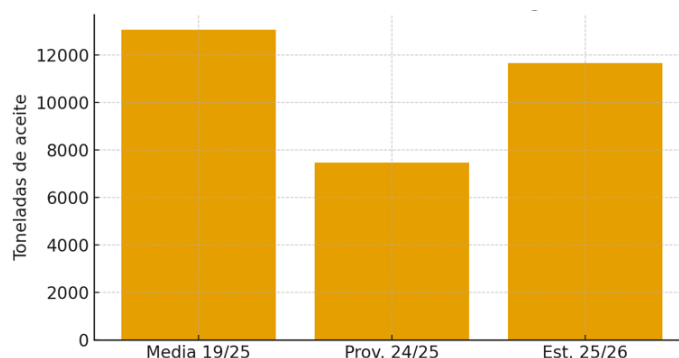
2.1 El sector oleico

La producción española de aceite de oliva se ha estabilizado en una franja alta tras el bache del último bienio. Si tomamos como referencia la media de las seis últimas campañas completas (2019/20–2024/25), el país ha producido en torno a 1,16 millones de toneladas anuales. El cierre provisional de 2024/25 se sitúa por encima de esa media, cerca de 1,42 millones, mientras que el aforo 2025/26 apunta a un volumen algo inferior pero todavía sólido, en torno a 1,37 millones. Estas cifras consolidan a España como primer productor mundial y marcan el contexto de oferta en el que se mueven los operadores, condicionando disponibilidad, precios y planificación de campañas [1].



*Figura 1. Producción de aceite en España (media, provisional y estimación).
(Elaboración propia con los datos de MAPA [1])*

Dentro de ese escenario nacional, Aragón mantiene un perfil estable, con oscilaciones asociadas a la climatología del valle del Ebro y del somontano pirenaico. La media plurianual 2019/20–2024/25 alcanza 13,05 mil toneladas de aceite. La campaña 2024/25 fue significativamente más corta (7,46 mil t) por la combinación de estrés hídrico y temperaturas extremas, pero el aforo 2025/26 prevé una recuperación hasta 11,66 mil t, aún por debajo de la media, pero claramente por encima del ejercicio previo. En términos de posicionamiento, Aragón aporta aproximadamente entre un 0,8 % y un 1,2 % de la producción española según campaña [1], con especialización en variedades como empeltre y arbequina.



*Figura 2. Producción de aceite en Aragón (media, provisional y estimación).
(Elaboración propia con los datos de MAPA [1])*

La estructura productiva aragonesa se apoya en 98 almazaras repartidas entre Huesca (27), Teruel (28) y Zaragoza (43). Con ese censo, la producción media por almazara durante 2019/20–2024/25 es de ≈ 133 t de aceite al año. El patrón visible en los datos recientes: ≈ 76 t/almazara en 2024/25 (campaña corta) y ≈ 119 t/almazara con el aforo 2025/26 [1].

2.2 Características del aceite de oliva

El aceite de oliva virgen extra (AOVE) es el aceite de oliva de mayor calidad. Se obtiene solo de aceitunas sanas y se extrae mediante procesos mecánicos (moler, batir y centrifugar), sin usar productos químicos ni mezclarlo con otros aceites. Esto hace que conserve mejor sus componentes naturales y que tenga que cumplir condiciones muy estrictas para poder llevar en la etiqueta el nombre de “virgen extra”, como una acidez muy baja y un aspecto limpio y estable.

A nivel nutricional, es una grasa muy energética como cualquier aceite, pero con un tipo de grasa considerado más saludable: predomina el ácido oleico (grasa monoinsaturada), hay una cantidad moderada de grasas saturadas y también contiene antioxidantes naturales, como la vitamina E y los polifenoles. Cuando se usa para sustituir grasas más ricas en saturados (por ejemplo, algunas grasas animales), ayuda a mantener un perfil de colesterol más adecuado. Por todo ello, el AOVE se considera un producto de alta calidad y una buena opción dentro de una alimentación saludable [2].

2.3 Características del alperujo

El subproducto mayoritario derivado del proceso de producción del aceite de oliva virgen extra, es el alperujo. El alperujo consiste en una pasta semisólida compuesta por la fracción sólida de la aceituna (pulpa, piel y fragmentos de hueso) y prácticamente toda el agua de vegetación del fruto. Presenta un contenido de humedad muy elevado, normalmente entre 60 y 70 % en peso (en algunos casos desde 55 % hasta >75 %, según variedad y condiciones de proceso), lo que le confiere una textura densa y pesada y dificulta su manejo, transporte y almacenamiento. Sobre materia húmeda suele contener alrededor de 2–4 % de aceite residual, que no ha sido extraído en la almazara y permanece ligado a la matriz sólida, y una fracción orgánica muy alta, de forma que más del 90 % de la materia seca es materia orgánica.

Desde el punto de vista composicional, el alperujo es esencialmente un residuo lignocelulósico. En su fracción sólida predominan la lignina, la celulosa y la hemicelulosa, con proporciones variables, pero típicamente del orden de 30–40 % de lignina y 20–30 % de celulosa y hemicelulosa cada una, sobre base seca. El contenido de proteínas es relativamente bajo (en torno a 6–8 % sobre materia seca, lo que equivale a 1–2 % sobre alperujo húmedo), y la fracción mineral (cenizas) suele situarse alrededor del 2–5 % de la materia seca, con el potasio como elemento mayoritario y presencia secundaria de calcio, magnesio, fósforo y otros minerales [3][4] [5].

2.3.1. Problemas ambientales

La combinación de alto volumen, generación estacional concentrada y carga orgánica y salina elevada convierte al alperujo en un residuo con un potencial impacto ambiental significativo si no se gestiona adecuadamente. En campañas de alta producción, las almazaras y extractoras pueden generar millones de toneladas de alperujo en pocos meses, lo que obliga a disponer de superficies y sistemas de almacenamiento capaces de contener grandes volúmenes de un material húmedo, pesado y poco estable.

Cuando el alperujo se acumula o se maneja sin las debidas precauciones, uno de los primeros problemas que aparece es la emisión de olores y gases. La fermentación anaerobia de la materia orgánica genera compuestos volátiles de olor intenso (ácidos grasos volátiles, compuestos azufrados, etc.) y gases como metano y dióxido de carbono. Los montones o balsas de alperujo fresco pueden convertirse en focos de malos olores persistentes, especialmente en épocas cálidas, con impacto directo sobre el entorno cercano. Además, el calor generado por estas fermentaciones puede favorecer procesos de autocalentamiento y acelerar la degradación del residuo.

Otro aspecto crítico es la generación de lixiviados. El agua de vegetación contenida en el alperujo, junto con el agua de lluvia que pueda infiltrarse a través de los acopios, arrastra sustancias orgánicas solubles (azúcares, ácidos, polifenoles) y sales. Si estos lixiviados alcanzan suelos o cursos de agua sin tratamiento previo, pueden provocar consumo rápido de oxígeno disuelto y episodios de anoxia en ríos o canales, con mortalidad de fauna acuática. Los compuestos fenólicos presentes tienen además potencial fitotóxico y pueden afectar a microorganismos del suelo y organismos acuáticos. La elevada salinidad y el contenido de potasio del lixiviado pueden contribuir a la salinización y degradación de suelos si se produce infiltración o vertido repetido.

La aplicación directa de alperujo fresco sobre suelos agrícolas, con dosis elevadas y sin criterios técnicos, puede causar efectos negativos: inhibición de germinación de semillas, daños en raíces, desequilibrios en el microbiota del suelo y acumulación de sales y compuestos fenólicos. Estos efectos se han documentado en casos donde no se han respetado dosis o tiempos de estabilización, por lo que la normativa suele limitar o condicionar estas prácticas. A estos impactos se suman otros problemas indirectos, como la proliferación de vectores (insectos y roedores atraídos por la materia orgánica en descomposición) y la afección paisajística por la presencia de montones de residuo y escorrentías superficiales oscuras. En conjunto, el alperujo, si se gestiona de forma inadecuada, puede considerarse un residuo con alto potencial contaminante y generador de conflictos ambientales y sociales en áreas olivareras [6].

2.3.2. Normativa sobre gestión del alperujo

El marco legal aplicable al alperujo se estructura, en primer lugar, en torno a la legislación general de residuos de la Unión Europea y España. La Directiva 2008/98/CE y su transposición a la legislación española (Ley 22/2011, sustituida por la Ley 7/2022 de residuos y suelos contaminados) establecen el concepto de residuo y las condiciones bajo las cuales un material puede considerarse subproducto y no residuo [7]. Para ello, deben cumplirse criterios como la existencia de un uso posterior cierto, la posibilidad de utilizar el material sin tratamiento adicional

distinto de la práctica industrial habitual, su generación como parte integrante de un proceso de producción y la garantía de que su uso es legal y ambientalmente seguro.

En este contexto, la Orden TED/92/2022, de 8 de febrero, tiene un papel clave: en ella se determina que los orujos grasos húmedos de almazara destinados a la extracción de aceite de orujo de oliva crudo pueden considerarse subproductos y no residuos, siempre que se cumplan una serie de condiciones. Entre ellas, que el alperujo sea enviado efectivamente a una extractora autorizada, que las operaciones realizadas sobre el material (por ejemplo, separación de hueso o secado) formen parte del proceso industrial normal, y que exista una comunicación y trazabilidad adecuadas ante la administración competente. Cuando estos requisitos se satisfacen, el alperujo se gestiona como subproducto en la cadena almazara–extractora; en caso contrario, se mantiene bajo el régimen general de residuos.

Además de este esquema, otras normas regulan aspectos concretos de la gestión. El Real Decreto 506/2013, sobre productos fertilizantes, incluye entre sus categorías ciertas enmiendas orgánicas derivadas de materiales de almazara, como el alperujo desecado y el compost de alperujo, estableciendo requisitos de calidad y seguridad cuando se utilizan en suelos agrícolas. Por otra parte, el Reglamento (UE) 68/2013, que define el catálogo de materias primas para alimentación animal, y la Orden APM/189/2018 clarifican en qué condiciones algunos residuos de la industria agroalimentaria pueden considerarse subproductos si se destinan a piensos, lo que puede incluir determinados productos derivados del alperujo siempre que cumplan la normativa de seguridad alimentaria y de piensos. A nivel autonómico, existen disposiciones específicas que regulan la aplicación al suelo y otros usos, fijando por ejemplo dosis máximas por hectárea, distancias mínimas a cauces y obligaciones de comunicación y registro en la administración ambiental.

Mientras el alperujo se gestiona como residuo, su almacenamiento, transporte y tratamiento deben ajustarse a la normativa de residuos: uso de gestores autorizados, instalaciones con suelos impermeables y sistemas de recogida de lixiviados, prevención de vertidos y emisiones, y cumplimiento de los requisitos de autorización ambiental que correspondan a cada instalación. Incluso cuando se considera subproducto, no se eliminan las obligaciones de prevenir impactos ambientales y sanitarios, de forma que el manejo del alperujo debe integrarse en los planes de gestión de las almazaras y demás instalaciones implicadas. En conjunto, la regulación vigente reconoce el carácter potencialmente contaminante del alperujo y establece un marco que obliga a su control estricto, tanto cuando se clasifica como residuo como cuando se gestiona como subproducto en cadenas industriales específicas.

3. Proceso productivo y cálculo de volumen de producción

3.1 Proceso productivo

El presente diagrama de flujo, representado en la Figura 3, muestra las distintas etapas más comunes por las que pasa la aceituna desde su recolección en campo hasta la obtención, envasado, almacenamiento y distribución del aceite de oliva virgen extra.

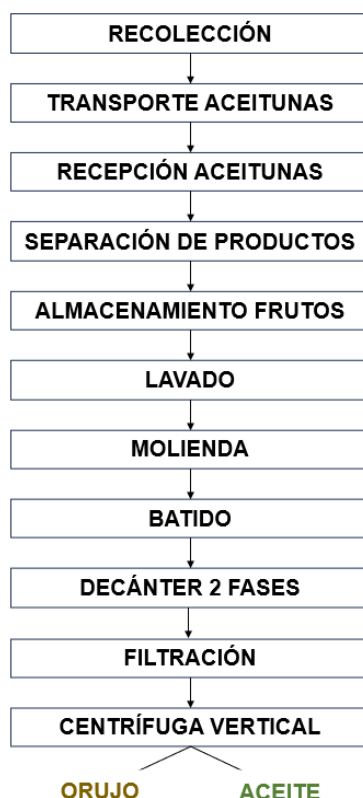


Figura 3. Diagrama de flujo de proceso de extracción de aceite de oliva.

Recolección en campo: La recolección de la aceituna, aunque no forma parte directa de la extracción, es decisiva para la calidad y cantidad del aceite y del propio alperujo. La época de cosecha y el sistema de recolección condicionan el estado del fruto: aceituna caída al suelo, golpes por vareo agresivo o temperaturas elevadas favorecen lipólisis y fermentaciones, aumentando acidez, olores y carga microbiana que se trasladan a la pasta y al alperujo. Además, el arrastre de tierra y piedras incrementa el contenido en cenizas y sólidos inertes del subproducto, disminuyendo su valor energético y dificultando su uso posterior.

Recepción de la aceituna: En la recepción es clave minimizar el tiempo entre la llegada del fruto y el inicio del procesado, idealmente extrayendo el aceite al ritmo de la recolección. Las almazaras deben disponer de una zona amplia de descarga y clasificar las aceitunas según su suciedad y calidad para eliminar materias extrañas (tierra, piedras, hojas, metales) que afectan al aceite y a los subproductos. Cuando no se puede molturar en el día, el almacenamiento previo debe controlarse para evitar alteraciones físicas, químicas y biológicas (hidrólisis, lipólisis enzimática y

microbiana, oxidación), ya que las esperas largas y una mala gestión del patio incrementan la degradación del fruto y generan alperujos más ácidos, olorosos e inestables.

Limpieza y lavado de las aceitunas: La limpieza y el lavado eliminan impurezas vegetales (hojas, ramas), minerales (polvo, tierra, piedras) y posibles residuos de plaguicidas, que representan hasta un 5–10% del peso de entrada y pueden dañar equipos y empeorar la calidad del aceite y del alperujo. Mediante cintas, corrientes de aire, cribas y rodillos se separan los materiales ligeros y pesados, y luego la lavadora arrastra las aceitunas en agua, sedimentando las impurezas más densas y retirando el resto por contracorriente, con escurrido final para evitar emulsiones en la molienda. Si esta etapa es deficiente, el alperujo contendrá más material vegetal grueso y minerales, reduciendo su poder calorífico y complicando su valorización; el exceso de hojas aporta clorofilas, potasio y enzimas oxidativas que favorecen oscurecimientos y fermentaciones. Las aguas de lavado, con cierta carga de grasa y DQO elevada, deben gestionarse adecuadamente por su poder contaminante.

Pesado en continuo de las aceitunas: Tras la limpieza y el lavado, las aceitunas pasan a sistemas de pesado en continuo que permiten medir el fruto de forma automática y sin interrumpir el flujo de proceso. Las básculas de doble tolva cargan hasta un peso prefijado y descargan mientras la otra tolva sigue recibiendo aceitunas, lo que evita tener múltiples básculas independientes y reduce tiempos y costes de tarado. El registro informatizado de pesos facilita el control de la materia prima que entra diariamente y sirve de base para la trazabilidad y la gestión económica de la almazara.

Almacenamiento de las aceitunas limpias: Una vez lavadas y pesadas, las aceitunas deberían procesarse de inmediato, pero cuando no es posible se almacenan en la almazara durante un máximo de 24–48 horas bajo condiciones controladas. Durante la espera, el fruto respira, se calienta y fermenta, lo que incrementa la actividad enzimática y el desarrollo microbiano, originando pastas más degradadas y alperujos más inestables, con mayor generación de efluentes. El almacenamiento en capas poco profundas, ventilado y a la sombra reduce estos riesgos y ayuda a preservar la calidad del aceite y de los subproductos.

Molturación: La molturación rompe las células del mesocarpio para liberar las gotas de aceite contenidas en las vacuolas y favorecer su coalescencia en gotas de mayor tamaño, facilitando la separación posterior. Mediante un molino de martillos, la aceituna se fragmenta al ser golpeada repetidamente dentro de una cámara cribada, alcanzando temperaturas de 28–30 °C y generando una pasta formada por alpechín, aceite emulsionado y trozos de pulpa y hueso. El tipo de molino y el tamaño de criba determinan el grado de rotura del hueso y el tamaño de partícula: una molienda demasiado fina aumenta la viscosidad de la pasta, retiene más agua y aceite y eleva la humedad y el aceite residual del alperujo; una rotura adecuada del hueso aporta estructura seca que mejora el desagüe y su uso como biomasa, pero un exceso de partícula finísima vuelve a dificultar la evacuación de agua.

Batido: En el batido se promueve la unión de las microgotas de aceite hasta formar gotas mayores que puedan separarse con facilidad en el decanter. Tiempos de batido largos y temperaturas más altas mejoran la separación, pero también incrementan las oxidaciones y pueden degradar compuestos fenólicos, alterando la calidad del aceite y el perfil de compuestos que terminan en el alperujo. Un batido mal ajustado deja más aceite atrapado en la fase sólida, lo que aumenta el contenido energético del alperujo, pero reduce el rendimiento graso de la almazara.

Separación sólido-líquido (decanter de 2 fases): La separación sólido-líquido se realiza en un decanter de 2 fases, una centrífuga horizontal que separa de forma continua el aceite de la pasta sin añadir agua, generando únicamente dos salidas: aceite y alperujo (sólidos + alpechín). Este sistema reduce el consumo de agua y la formación de una tercera corriente de residuos, minimiza la pérdida de polifenoles y da aceites con menor acidez y mayor concentración de antioxidantes y calidad sensorial, además de permitir un proceso continuo y automatizado. Sin embargo, produce un alperujo con mayor humedad, que dificulta su manipulación y valorización, y requiere personal especializado y controles analíticos; los parámetros de operación (velocidad, caudal, profundidad de estanque, temperatura, adición de agua) condicionan la humedad, el aceite residual y la fracción hidrosoluble que queda en el alperujo, de modo que ajustes para “secar” más el sólido mejoran su manejo, pero pueden arrastrar algo más de aceite.

Filtración: El mosto oleoso procedente del decanter contiene aún alpechín y finas partículas sólidas, por lo que se somete primero a un tamizado o filtración mediante un vibro-filtro. Este equipo retira los sólidos de pequeño tamaño que podrían causar fermentaciones, deterioro de la calidad del aceite o dificultades en la separación posterior de fases líquidas, además de aumentar la frecuencia de limpieza de los equipos. Una filtración previa eficaz favorece una centrifugación posterior más limpia y estable, mejorando la calidad del aceite final y reduciendo problemas en el manejo de los subproductos líquidos.

Separación líquido-líquido (centrífuga vertical): La separación final entre aceite y fase acuosa se realiza en una centrífuga vertical, que aprovecha la fuerza centrífuga sobre un conjunto de platos troncocónicos perforados para separar rápidamente las dos fases líquidas, algo difícil de lograr por simple decantación. El fluido entra de forma continua por un eje hueco, se distribuye entre los platos y, al girar a alta velocidad, la fase más densa (acuosa/alpechín residual) se desplaza hacia la periferia mientras el aceite asciende por la zona más cercana al eje hasta sus respectivos orificios de salida. Este sistema proporciona un aceite más limpio y estable y permite completar la separación iniciada en el decanter, mientras que la fracción acuosa y el pequeño arrastre asociado se consideran parte de los subproductos a gestionar.

3.2 Cálculo del volumen de alperujo

Según el estudio realizado en el apartado 2.1, la producción regional de aceite es de 13,06 mil t anuales, sin embargo, para poder calcular la cantidad de alperujo producido, es necesario convertir esas toneladas de aceite en volumen de aceituna en bruto. Para ello, se utilizará un rendimiento industrial estándar del 20 %. Bajo ese supuesto, la media regional equivale a 65,25 mil toneladas de aceituna por campaña, lo que a escala de planta supone 666 t de aceituna/almazara. Aunque la media de producción de aceite en los últimos 6 años es de 133t/año, la estimación para 2025/26 el cálculo se sitúa en 119 t/almazara, lo que se convierte en 595t/año de aceituna. Si la almazara opera con rendimientos distintos (por variedad, madurez o proceso), el volumen real se ajusta en la misma proporción: cada punto porcentual de rendimiento cambia el tonelaje de aceituna alrededor de un ± 5 % respecto al supuesto del 20 % [8].

Por lo tanto, a partir de este momento, todos los cálculos se realizarán teniendo en cuenta esta estimación, es decir un aporte de 600 toneladas de aceituna en almazara a la recepción.

3.3 Balance de materias

El balance de materia del proceso se va a ver expresado en las distintas fases del proceso de extracción del aceite de oliva virgen extra, destacando cada uno de los procesos en los que se divide la parte de la extracción propiamente dicha.

Fase 1: Limpieza y lavado

En la etapa inicial, se reciben 600.000 kg de aceituna bruta. Mediante sistemas neumáticos y de lavado hidráulico, se separan los elementos ajenos al fruto. Las pérdidas por impurezas (hojas, ramas, tierra y piedras) se estiman en un 5% del peso total [9]. El resultado es una entrada neta al molino de 570.000 kg de aceituna limpia, derivando 30.000 kg de subproductos sólidos que pueden valorizarse energéticamente o mediante compostaje.

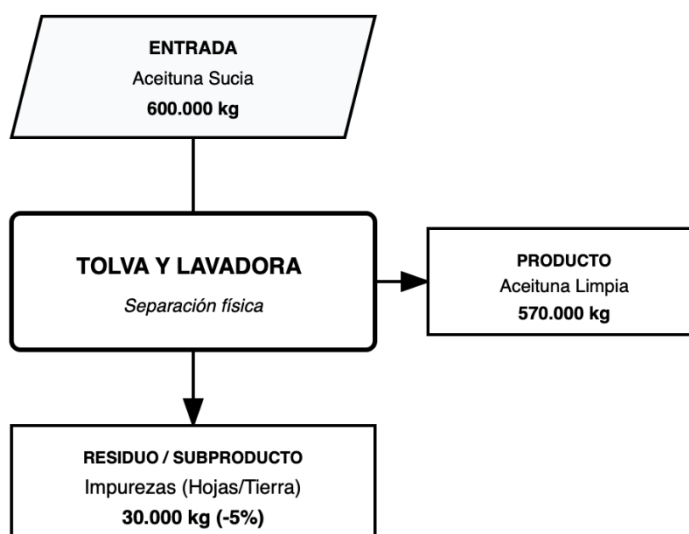


Figura 4. Balance de materia limpieza y lavado.

Fase 2: Molturación y batido

La aceituna limpia es triturada y sometida a un proceso de termo batido para la coalescencia de las gotas de aceite. Para preservar la calidad química (polifenoles) y organoléptica, la temperatura se mantiene controlada. Durante esta operación se estima que conlleva una merma por evaporación de agua de vegetación estimada en un 1,5%. La masa resultante disponible para la separación física es de 561.450 kg.

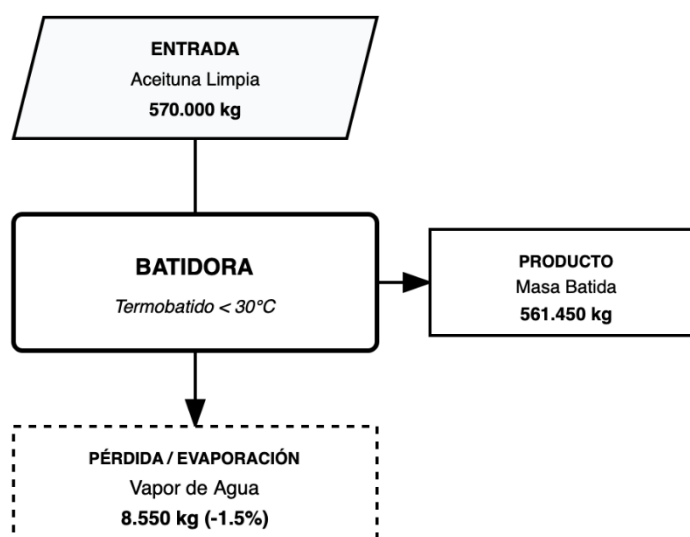


Figura 5. Balance de materia molturación y batido.

Fase 3: Separación centrífuga (Decanter dos fases)

Esta es la etapa crítica para la generación del subproducto objeto de estudio. El sistema de dos fases, predominante en España por su menor impacto hídrico, separa la pasta en dos corrientes. Se obtiene un flujo de producto (100.320 kg de mosto oleoso) y un flujo masivo de subproducto: 461.130 kg de Alperujo. Este residuo, que representa el 80,9% de la masa batida, contiene piel, hueso, agua de vegetación y un remanente graso no extraído, constituyendo la materia prima fundamental para las propuestas de valorización en Aragón [10].

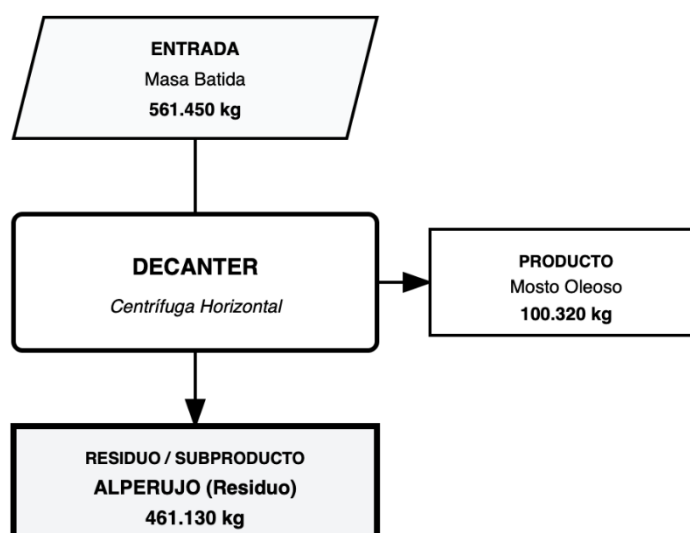


Figura 6. Balance de materia decanter de 2 fases.

Fase 4: Centrifuga vertical

El mosto oleoso se somete a una purificación final para eliminar micropartículas sólidas y trazas de humedad mediante centrifugación vertical con adición de agua. El balance final arroja una producción de 99.316 kg de Aceite de Oliva Virgen, listo para almacenamiento. Los efluentes líquidos generados en este punto (aguas de lavado) se gestionan separadamente o se integran en balsas de evaporación, representando un volumen mucho menor que los alpechines de los sistemas antiguos de tres fases.

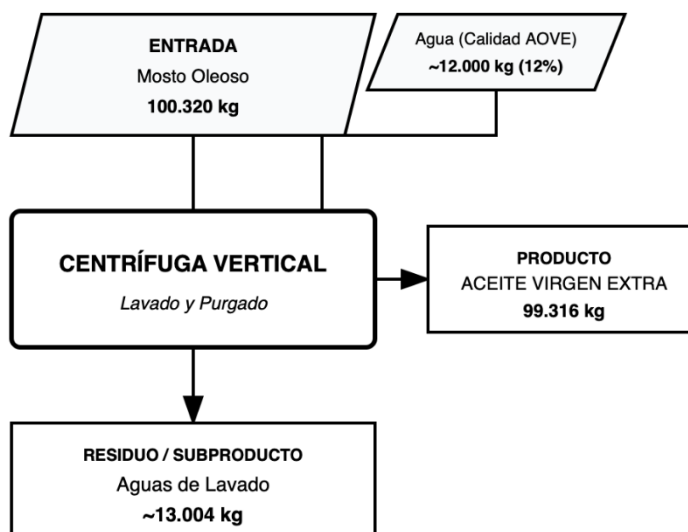


Figura 7. Balance de materia centrifuga vertical

El balance de masa realizado para la campaña en Aragón evidencia la eficiencia del sistema de dos fases, donde partiendo de 600.000 kg de aceituna sucia, se logra un rendimiento industrial neto de aceite de oliva virgen extra (AOVE) del 16,5% (99.316 kg). El proceso minimiza los efluentes líquidos, limitando las aguas de lavado a aproximadamente 13.000 kg gracias a una adición técnica reducida (12%) en la centrifuga vertical para preservar los polifenoles. Sin embargo, el reto principal reside en la gestión del Alperujo, que con 461.130 kg constituye el 76,9% de la materia entrante, confirmando la necesidad imperiosa de implementar estrategias de valorización para transformar este pasivo ambiental en un activo bioeconómico para la región.

<i>Materia</i>	<i>Masa (kg)</i>	<i>%</i>
<i>Aceituna sucia (Entrada)</i>	600.000	100%
<i>Impurezas solidas</i>	30.000	5,0%
<i>Vapor de agua</i>	8.550	1,4%
<i>Alperujo (residuo principal)</i>	461.130	76,8%
<i>Aceite de oliva (Producto)</i>	99.316	16,5%

Tabla 1. Balance de materia general.

4. Usos del alperujo

En la actualidad, la gestión del alperujo se orienta hacia su valorización dentro del modelo de economía circular, buscando aprovechar sus componentes y minimizar el impacto ambiental [11]. A continuación, se estudian los usos actuales del alperujo.

- Aprovechamiento energético.
- Valorización como enmienda orgánica.
- Aplicación directa al suelo.
- Alimentación animal.
- Extracción nutracéutica de ácidos triterpénicos y polifenoles.
- Gasificación para generación de energía renovable.
- Pirólisis para producción de carbones activados de alto valor.

4.1. Aprovechamiento energético

El uso energético constituye el destino más frecuente del alperujo en la industria oleícola. Tradicionalmente, la mayor parte del alperujo producido por las almazaras se envía a plantas extractoras (orujeiras) especializadas, donde se somete a un proceso de secado y extracción con disolvente para recuperar el aceite residual, dando lugar al aceite de orujo de oliva [11]. Típicamente, el alperujo se seca hasta 10% de humedad y luego se realiza una extracción con hexano u otro solvente orgánico para obtener el aceite de orujo crudo, que posteriormente se refina para uso alimentario. Este proceso permite recuperar aproximadamente un 2% adicional de aceite en relación con el peso del alperujo [11]. Como subproducto de la extracción se genera el orujo exhausto u orujillo, un sólido de bajo contenido graso y humedad reducida (también llamado orujo graso seco).

El orujillo seco tiene un poder calorífico alto y se emplea ampliamente como biocombustible sólido. En España, es común su uso en centrales de generación eléctrica y de cogeneración, así como en calderas industriales, cementeras o plantas de biomasa, para producir energía eléctrica y calor. De hecho, los subproductos del olivar (incluyendo orujillo y hueso de aceituna) suponen una fuente energética importante: se estima que cerca del 80% de los subproductos generados se valoriza energéticamente ya sea en generación de electricidad o en usos térmicos [11]. Este aprovechamiento energético externo (vía orujeiras + centrales de biomasa) ha sido el principal método de gestión del alperujo durante décadas, contribuyendo a minimizar residuos y a la vez produciendo energía renovable.

Dentro de la propia almazara, también se llevan a cabo tratamientos con fines energéticos. Muchas almazaras realizan la separación del hueso de aceituna contenido en el alperujo mediante procesos mecánicos (tamizado, centrifugación) antes de entregar el orujo húmedo a la orujera [12]. El hueso de aceituna limpio y seco (habitualmente 13% de humedad tras secado natural) es un excelente biocombustible: se puede quemar en la misma almazara en calderas para generar agua caliente o vapor (usado en el propio proceso de extracción de aceite), o bien se vende como combustible para uso doméstico (estufas de biomasa) e industrial [12]. Este aprovechamiento in situ del hueso reduce el volumen de alperujo a gestionar externamente y proporciona energía a la almazara, mejorando su eficiencia energética.

4.2. Valorización como enmienda orgánica

El segundo uso en importancia del alperujo es su valorización agronómica como fuente de materia orgánica y nutrientes para el suelo. Dado que el alperujo fresco presenta fitotoxicidad, la práctica recomendada es someterlo a un proceso de compostaje controlado para obtener un abono orgánico estabilizado. El compostaje del alperujo consiste en mezclar el material con agentes estructurantes y/o complementos ricos en nitrógeno (por ejemplo: restos vegetales secos, estiércoles, poda triturada, etc.), formar pilas aireadas y favorecer su descomposición microbiana mediante volteos periódicos o aireación forzada [13]. Durante el compostaje, gran parte de la materia orgánica se biodegrada (pérdidas de hasta 50% de la materia orgánica inicial), reduciéndose la proporción de compuestos fitotóxicos y generándose humus estable.

Diversos estudios han demostrado que, con las condiciones adecuadas, el compostaje convierte el alperujo en un compost de buena calidad, estabilizado y no fitotóxico, apto para su uso como enmienda orgánica o fertilizante en la agricultura. Por ejemplo, Albuquerque et al. (2009) [10] comprobaron que el compost de alperujo obtenido mediante distintas mezclas (con residuos de algodón, sarmientos de vid, cama de ganado, hojas de olivo, etc.) resultaba rico en nutrientes, con baja concentración de metales pesados, y con una fracción orgánica humidificada beneficiosa para el suelo. Este compost de alperujo puede aplicarse en olivar y otros cultivos, mejorando el contenido de materia orgánica del suelo y aportando nutrientes como potasio, nitrógeno y micronutrientes.

4.3. Aplicación directa al suelo

Un uso menos extendido, pero de gran interés en contextos locales (especialmente donde no existen orujeras cercanas), es la aplicación directa del alperujo fresco o semi-estabilizado en el suelo agrícola. Históricamente esta práctica se ha mirado con precaución debido a los problemas de fitotoxicidad y consumo de oxígeno del material sin compostar. Sin embargo, estudios recientes indican que, bajo ciertas condiciones controladas, es posible aplicar alperujo directamente a campo sin efectos negativos e incluso con beneficios para suelos pobres en materia orgánica [14].

Por ejemplo, un estudio publicado en 2023 [14] evaluó la aplicación de alperujo de dos fases directamente al olivar a dosis de 10 toneladas por hectárea y año. Tras varios años de seguimiento, no se detectaron impactos adversos ni en la calidad del suelo ni en la productividad del cultivo. Al contrario, se observó un aumento en el contenido de carbono orgánico del suelo en las parcelas enmendadas, indicando mejora de la fertilidad. Este enfoque permitiría a pequeños productores reintegrar el residuo en sus fincas cercanas, evitando los costes y emisiones del transporte a largas distancias.

Es importante señalar que la legislación juega un papel crucial en este uso. En la Unión Europea, el alperujo se considera residuo agroindustrial, por lo que su aplicación en campo puede requerir autorizaciones específicas o acogerse a excepciones. En Aragón, esta opción de gestión local del alperujo está siendo considerada por cooperativas y órganos ambientales, siempre bajo supervisión técnica para garantizar que no se excedan cantidades y se eviten escorrentías contaminantes.

4.4. Alimentación animal

El aprovechamiento del alperujo como alimento para el ganado es otro uso complementario que está ganando interés apoyado por investigaciones recientes. En el medio rural, los agricultores han utilizado tradicionalmente subproductos del olivar en la alimentación animal, sobre todo para rumiantes, al mezclar el orujo o los restos de la molienda con otros forrajes. Sin embargo, la aplicación a gran escala enfrenta desafíos debido a ciertas limitaciones nutricionales y factores anti nutricionales presentes en el alperujo. En su estado fresco, el alperujo es muy húmedo, fibroso y contiene compuestos fenólicos amargos que pueden reducir su palatabilidad y afectar el microbiota ruminal si se suministra en altas proporciones. Por tanto, es necesario someterlo a tratamientos previos y controlar las dosis en la dieta para poder incorporarlo eficazmente en la ración de los animales [15].

Los tratamientos más comunes para habilitar el alperujo como ingrediente alimentario son: deshidratación, deshuesado parcial y ensilado. La deshidratación (secado térmico) produce lo que se conoce como orujo seco o pulpa de aceituna seca, que puede molerse y mezclarse en piensos. El deshuesado o retirada de parte del hueso reduce la lignina y mejora la digestibilidad de la fracción fibrosa; de hecho, se habla de orujo deshuesado u orujo piñonado destinado a alimentación animal. El ensilado del alperujo fresco mezclado con paja u otros forrajes es otra técnica estudiada para conservarlo y rebajar su acidez, permitiendo su uso fuera de la campaña. Estas intervenciones logran un producto alimenticio más estable y apetecible para el ganado.

4.5. Extracción nutracéutica de ácidos triterpénicos y polifenoles

El alperujo contiene compuestos bioactivos de alto valor, distintos de los polifenoles, como los ácidos triterpénicos, pentacíclicos, maslínico y oleanólico. Estos compuestos (presentes en la piel de la aceituna y el hueso) y los polifenoles (presentes en la pulpa) exhiben numerosas actividades biológicas beneficiosas documentadas científicamente (antioxidantes, antiinflamatorias, anti hiperglucemiantes e incluso anticancerígenas), lo que impulsa su demanda en nutracéuticos, cosméticos y farmacología [16].

El proceso productivo consiste en extraer los ácidos triterpénicos y polifenoles del alperujo mediante técnicas “verdes” de biorrefinería. Por ejemplo, se ha aplicado extracción asistida por microondas con solventes hidroalcohólicos, tras separar la fracción rica en piel de la aceituna. En condiciones optimizadas, esta técnica rindió hasta 5,1 g de ácido maslínico y 2,2 g de oleanólico por 100 g de biomasa seca de alperujo – es decir, ~7,3% en peso sumando ambos, una concentración notable [17]. Procesos convencionales (vía disolventes y precipitación) también logran extraer maslínico/oleanólico con rendimientos totales del orden de 0,2–0,5% respecto al alperujo seco, equivalentes a 2–5 kg por tonelada, suficientes dado su elevado valor. El producto final son concentrados purificados (85–95% de pureza), presentados como polvo cristalino blanco, utilizables como ingredientes activos [16].

4.6. Gasificación para generación de energía renovable

La gasificación del alperujo es un proceso termoquímico emergente que convierte la biomasa seca en un gas combustible (síntesis o syngas) rico en hidrógeno y monóxido de carbono,

aprovechable para generar energía eléctrica y térmica en las propias almazaras. A diferencia de la combustión directa en orujeras, la gasificación produce un gas limpio que puede alimentar motores o turbinas de cogeneración, logrando mayor eficiencia energética y menor impacto ambiental.

El alperujo húmedo (~65% agua) primero debe secarse (hasta 10–15% humedad) para obtener orujo seco. Este orujo seco se puede peletizar para mejorar su manejo y alimentación al gasificador. En el gasificador, el orujo seco se descompone a 800–1000°C en atmósfera controlada de aire limitado, produciendo un syngas de poder calorífico medio (5,6 MJ/Nm³, medido como 1337 kcal/Nm³) [18]. Tras etapas de enfriado y filtrado para eliminar partículas y alquitranes, el syngas limpio alimenta un motor alternativo acoplado a un generador eléctrico [19]. Como subproducto sólido queda un biochar (carbón fijado) 10–15% del peso inicial, que puede destinarse a enmienda del suelo o combustible adicional. En pruebas piloto, pellets de orujo seco gasificados generaron exitosamente electricidad obteniendo 10 kW eléctricos constantes durante 6 horas en un motor en laboratorio [18]. La eficiencia eléctrica neta reportada a escala piloto ronda el 12–13% [19], con posibilidad de aprovechar además el calor de escape (cogeneración) para secado u otros usos.

4.7. Pirólisis para producción de carbones activados de alto valor

Otra vía emergente es la pirólisis del alperujo para obtener biocarbón que, mediante activación, se convierte en carbón activado (CA) de alta calidad. A diferencia del biochar utilizado como enmienda agrícola, aquí el objetivo es un material poroso de valor industrial, aplicable en adsorción de contaminantes, purificación e incluso almacenamiento de energía (supercondensadores). Este enfoque convierte el residuo en un producto de alto valor añadido, con precio muy superior al combustible a granel.

La pirólisis consiste en calentar el alperujo seco en ausencia de oxígeno hasta 400–600°C, provocando su descomposición termoquímica. Se obtiene un biochar carbonoso y coproductos líquidos (bioaceite) y gaseosos (que pueden quemarse para energía). Para fabricar carbón activado, el biochar se somete a activación física o química que desarrolla una estructura porosa extensa. Por ejemplo, investigadores prepararon CA a partir de alperujo mediante impregnación con ácido fosfórico seguida de pirólisis a 500°C [20]. Las condiciones óptimas produjeron un carbón con estructura fibrosa altamente porosa, alcanzando 1400 m²/g de superficie específica. De forma similar, un proyecto piloto en España empleó pirólisis con activación por vapor, logrando carbones con ~1440 m²/g [21], comparables o superiores a carbones comerciales. El producto final es carbón activado granulado o en polvo, que puede ser acondicionado (lavado ácido, tratamientos térmicos) para optimizar sus propiedades según el uso [21].

5. Caracterización y valoración de alternativas

Tomando como punto de partida lo descrito anteriormente, en este apartado se compara de forma sistemática todas estas alternativas de valorización, desde la alternativa 0 (venta a orujera) hasta las opciones más innovadoras. De este modo, se realiza un análisis técnico-económico orientado a la toma de decisiones en almazaras aragonesas, evaluando para cada alternativa su objetivo principal, la dificultad de implantación según el tamaño y capacidades de la cooperativa, las ventajas e inconvenientes del proceso y de su integración en la organización, las necesidades de inversión y el rango de precios esperables de los productos obtenidos.

5.1. Alternativa 0: Venta del alperujo a una orujera

Objetivo: Consiste en entregar el alperujo a una orujera, que se encarga de extraer el aceite de orujo crudo (aprovechando el 2–3 % de grasa residual) y de producir orujillo seco como biocombustible. Para la almazara, el objetivo principal es evacuar el residuo de forma continua durante la campaña, evitando problemas ambientales y sin modificar su proceso productivo.

Implantación: La dificultad de implantación es muy baja. La almazara solo necesita un espacio de acopio y organizar el transporte hasta la orujera, sin invertir en equipos de procesado. El principal condicionante práctico es la distancia y la capacidad de la orujera; cuando está lejos o saturada, aumentan los costes y la gestión se complica. La inversión específica se limita a una explanada o balsa impermeable y, en algunos casos, una pala o tornillo para carga.

Ventajas: Entre sus ventajas, esta opción permite a la almazara centrarse en la producción de aceite y externalizar completamente la gestión del residuo.

Inconvenientes: La rentabilidad actual para la almazara es baja o nula. La caída del precio del aceite de orujo y del orujillo ha hecho que, en muchas campañas, las extractoras reduzcan o eliminen el pago por el alperujo, e incluso que cobren por su gestión. En algunos casos, las almazaras pagan del orden de varios euros por tonelada, de modo que un subproducto antes valioso se ha convertido en un coste.

Rentabilidad: Aunque el valor de los productos finales (aceite de orujo crudo y orujillo seco) fluctúa en los mercados, esos ingresos quedan en la orujera. La almazara, en el mejor de los casos, obtiene un retorno muy modesto por tonelada de alperujo o simplemente evita pagar la gestión.

5.2. Alternativa 1: Separación y aprovechamiento del hueso de aceituna

Objetivo: Consiste en deshuesar el alperujo para recuperar el hueso de aceituna como biocombustible sólido de alto poder calorífico, similar al pellet de madera. El hueso supone aproximadamente un 7 % del peso de la aceituna y, una vez limpio y seco, se comercializa para calderas de biomasa, mientras que el alperujo deshuesado queda más apto para otros aprovechamientos (piensos, compostaje, digestión, etc.).

Implantación: La implantación tiene una dificultad moderada: es necesario instalar una deshuesadora o sistema de tamizado, y en muchos casos lavar y secar el hueso. La inversión típica para una línea básica se sitúa en torno a 25.000–40.000 €, lo que la hace rentable sobre todo a

almazaras de tamaño medio. Se requiere además espacio para el equipo y para almacenar el hueso, pero una vez montado el sistema, la separación es prácticamente automática durante la molturación.

Ventajas: Entre las ventajas, destaca que genera un ingreso adicional claro para la almazara: el hueso seco puede venderse en torno a 130–220 €/t (algo menos si se vende húmedo), con un mercado de biomasa bastante consolidado. Además, al retirar el hueso se reduce la lignina y el volumen del subproducto restante, que se vuelve más manejable y digestible, facilitando su uso en alimentación animal o en procesos de compostaje y biogás. Parte del hueso puede emplearse también para autoconsumo térmico en la propia almazara.

Desventajas: Solo se valoriza una pequeña fracción del alperujo, quedando todavía un 80-85 % del residuo por gestionar mediante otras opciones. La inversión inicial puede ser difícil de justificar en cooperativas muy pequeñas, y la calidad comercial del hueso exige un secado adecuado, con el riesgo de hongos o problemas de almacenamiento si no se hace bien.

Rentabilidad: El producto final es el hueso de aceituna seco para uso como biocombustible, con un precio de referencia de 150 €/t a granel y hasta 150–220 €/t en sacos, lo que puede traducirse en ingresos de varios miles de euros por campaña para una almazara de tamaño medio, muy por encima de lo que se obtiene por el alperujo sin separar.

5.3. Alternativa 2: Compostaje del alperujo

Objetivo: Busca transformar el alperujo en compost, una enmienda orgánica estable y segura aplicable al suelo. El proceso de compostaje estabiliza la materia orgánica, reduce la fitotoxicidad de los polifenoles y elimina patógenos, permitiendo reciclar nutrientes y mejorar la fertilidad, algo especialmente interesante en suelos calizos y pobres en materia orgánica como muchos de Aragón.

Implantación: La implantación tiene una dificultad de moderada a alta. Es necesario mezclar el alperujo con materiales secos y estructurantes (poda triturada, paja, orujo seco) y con fuentes de nitrógeno (estiércol, gallinaza), asegurar aireación mediante volteos y disponer de espacio para pilas y maquinaria (tractor, volteadora, pala). El proceso dura de 3 a 6 meses, y resulta manejable sobre todo para cooperativas medianas.

Ventajas: El compostaje elimina los problemas de contaminación del alperujo crudo y genera un fertilizante útil para distintos cultivos. Permite usar el compost en los propios olivares, reducir la compra de fertilizantes minerales y valorizar el residuo localmente.

Desventajas: Las desventajas principales son la complejidad inicial y la necesidad de saber gestionar bien las mezclas y volteos; un mal manejo puede producir olores, vectores o compost de baja calidad. El proceso es lento y requiere mano de obra y materiales co-sustrato, cuyo coste influye mucho en la rentabilidad.

Rentabilidad: El producto final es un compost mixto a granel que suele venderse o valorarse en rangos de 50–60 €/t, y entre 5-7 € por saco de 50kg de modo que su interés económico viene más por el ahorro en fertilización y en gestión de residuos que por un gran ingreso directo por ventas.

5.4. Alternativa 3: Producción de biogás mediante digestión anaerobia

Objetivo: Plantea valorizar el alperujo mediante digestión anaerobia para producir biogás (metano) y un digestato utilizable como fertilizante. El biogás puede emplearse para generar electricidad y calor en la propia almazara o refinarse a biometano para inyectarlo en red o usarlo como combustible. El digestato permite cerrar el ciclo de nutrientes.

Implantación: La implantación es de alta dificultad. Requiere digestores, sistemas de agitación y calefacción, equipos de captación y aprovechamiento del gas y personal especializado. Además, la estacionalidad del alperujo obliga a sobredimensionar la planta o a almacenar el residuo para dosificarlo durante todo el año. Lo más realista suele ser una planta comarcal mancomunada, no una pequeña instalación individual de cooperativa.

Ventajas: Destaca que permite obtener energía renovable y reducir el uso de combustibles fósiles. El biogás puede cubrir parte de las necesidades térmicas y eléctricas de la almazara y, si se convierte en biometano, generar ingresos energéticos adicionales. El digestato resultante es más estable y manejable que el alperujo crudo y puede utilizarse como fertilizante, sustituyendo parte de los abonos minerales.

Desventajas: Las desventajas son, sobre todo, la complejidad técnica, el alto coste y el rendimiento limitado del alperujo como único sustrato. La inversión y los gastos de operación son elevados; si la planta es pequeña, la rentabilidad se resiente, y si es grande, reaparecen los costes logísticos de recoger alperujo de muchas almazaras.

Rentabilidad: En cuanto a inversión puede situarse fácilmente en el rango de millones de euros. Los costes operativos por tonelada tratada también son significativos. El principal valor económico viene del biogás/biometano, que puede equivaler teóricamente a unos 100 € de ingreso energético potencial por tonelada de alperujo, dependiendo del marco de ayudas. En resumen, es una alternativa con fuerte valor estratégico y ambiental, pero con una barrera de entrada económica y técnica muy alta para una cooperativa sola, siendo más lógica en proyectos colectivos o industriales de mayor escala.

5.5. Alternativa 4: Uso del alperujo en alimentación animal

Objetivo: Consiste en utilizar el alperujo como ingrediente en la alimentación de rumiantes (ovino, vacuno), aprovechando su fibra y energía para abaratar los costes de alimentación y dar una salida local al residuo. Puede emplearse fresco estabilizado, ensilado o deshidratado, siempre en proporciones moderadas de la ración. En comarcas de secano con ganadería extensiva, esta opción busca complementar los pastos en épocas de escasez y encaja bien en esquemas de economía circular rural.

Implantación: La implantación tiene una dificultad moderada. El alperujo completo, con hueso y mucha humedad, no es un pienso adecuado, por lo que lo más razonable es deshuesarlo previamente y conservarlo, principalmente mediante ensilado mezclado con paja/heno. Hace falta asesoramiento nutricional para formular raciones (es muy pobre en proteína) y cierta infraestructura: silos trinchera o bolsas, algo de logística de transporte y coordinación entre almazara y ganaderos.

Ventajas: Es una solución muy local y sostenible: convierte un residuo en recurso alimenticio cercano, reduce el coste de los piensos comerciales y disminuye el volumen de alperujo a gestionar. Para la cooperativa, supone descongestionar la salida del residuo, crear sinergias con las explotaciones vecinas y evitar pagar por su eliminación, encajando muy bien en un relato de economía circular (aceituna → aceite + subproducto → alimento → estiércol que vuelve al campo)

Desventajas: Las desventajas son claras: el alperujo solo puede representar una fracción limitada de la ración ($\approx 20\%$ de la materia seca), de modo que la capacidad de absorción depende mucho del número de animales disponibles en la zona. En comarcas con poca ganadería, no habría demanda suficiente.

Rentabilidad: El alperujo deshuesado ensilado, que normalmente se entrega gratis o a precios simbólicos (del orden de unos pocos euros por tonelada), de modo que el valor económico se materializa sobre todo en el ahorro de costes de alimentación y de gestión del residuo, más que en ingresos directos por venta.

5.6. Alternativa 5: Recuperación de compuestos de alto valor (polifenoles, pigmentos, etc.)

Objetivo: Se basa en extraer del alperujo compuestos bioactivos de alto valor, sobre todo polifenoles antioxidantes (hidroxitirosol, tirosol, oleuropeína, etc.), junto con otros posibles productos (pigmentos, azúcares fermentables, etc.), para destinarlos a las industrias nutracéutica, cosmética, farmacéutica o alimentaria.

Implantación: La implantación es de alta dificultad, porque exige tecnología de proceso químico/biotecnológico (extracción con disolventes verdes, membranas, resinas, concentración, control de calidad) e integración casi en línea con la producción de aceite, antes de que el alperujo fermente. Requiere personal cualificado, instalaciones de grado alimentario y, en la práctica, suele plantearse a escala asociativa o industrial, o bien en colaboración con empresas tecnológicas o proyectos europeos, más que como iniciativa aislada de una pequeña cooperativa.

Ventajas: Es la alternativa con mayor valor añadido potencial por tonelada: los polifenoles de oliva se pagan a precios muy superiores al de cualquier uso energético o agronómico, y pueden venderse como ingredientes de alto valor para suplementos, cosmética o alimentos funcionales. Supone también una diversificación estratégica del negocio (entrada en cadenas de valor farma/nutra/cosmética) y es muy atractiva para políticas de bioeconomía circular, con acceso a ayudas y proyectos I+D.

Desventaja: Las desventajas son el riesgo tecnológico y comercial, la elevada complejidad operativa y regulatoria y la fuerte inversión inicial. No todo lo que funciona en laboratorio escala bien a planta industrial, los mercados de polifenoles son nicho y exigen calidad y trazabilidad muy estrictas, y el retorno económico suele verse a medio plazo, tras certificar productos, cerrar acuerdos comerciales y estabilizar la producción.

Rentabilidad: El producto final son extractos fenólicos líquidos o en polvo (y eventualmente otros productos: pigmentos, carbones activos, etc.) con precios por kilo muy elevados frente a otras alternativas, pero obtenidos en cantidades relativamente pequeñas. Su éxito transformaría el

modelo de negocio: de vender subproductos de bajo valor (orujillo, compost) a vender ingredientes especializados o incluso productos propios (suplementos, cosméticos), con un salto claro en valor por tonelada de alperujo, pero también en complejidad empresarial.

5.7. Alternativa 6: Procesos termoquímicos avanzados (pirólisis, gasificación y biocombustibles)

Objetivo: El objetivo es usar el alperujo en procesos termoquímicos avanzados (pirólisis, gasificación, etc.) para producir biocombustibles (bio-aceite, syngas, metanol, hidrógeno) y materiales como biochar o carbón activo. La idea es ir más allá de la simple combustión, convirtiendo el residuo en vectores energéticos de alto valor y materiales con aplicaciones industriales, en un esquema cercano a una “mini-refinería” de biomasa.

Implantación: La implantación es de dificultad muy alta. Estos procesos requieren altas temperaturas, equipos complejos, control fino de operación y, en el caso del alperujo, un secado previo intenso (o tecnologías aún más experimentales, como carbonización hidrotérmica). A esto se suma la necesidad de integrar etapas de limpieza de gases, síntesis química (para metanol, combustibles sintéticos, etc.) y captura/gestión de CO₂. Todo ello sitúa esta alternativa fuera del alcance de una cooperativa individual; solo se concibe en grandes plantas industriales o proyectos con empresas energéticas.

Ventajas: Entre sus ventajas, si llega a implantarse a escala comercial, permitiría una valorización prácticamente total del carbono del alperujo, generando electricidad, combustibles líquidos (metanol, SAF), hidrógeno verde y materiales como biochar o carbón activo, con alto valor de mercado y potencial para créditos de carbono.

Desventajas: El riesgo tecnológico y financiero extremo, la necesidad de grandes volúmenes para ser rentable, y la ausencia de experiencias comerciales consolidadas específicamente con alperujo. La inversión es muy elevada (de millones a decenas de millones de euros), los costes operativos y de mantenimiento son altos, y la operación se asemeja a la de una planta química, con exigencias severas en seguridad, control de emisiones y personal cualificado.

Rentabilidad: Los productos potenciales incluyen biochar, bio-aceite, syngas, metanol, hidrógeno, electricidad y, en esquemas integrados, incluso aceite lampante recuperado. En el corto y medio plazo, lo más realista para una almazara aragonesa sería, como mucho, suministrar alperujo seco a una planta externa de este tipo o, en un escenario muy avanzado, participar como socia minoritaria en un proyecto energético comarcal, más que intentar implantar la tecnología en sus propias instalaciones.

5.8. Conclusiones

Teniendo en cuenta el balance de materia realizado anteriormente, una almazara media de Aragón genera alrededor de 460.000 kg de alperujo anualmente (unas 460 t/año), lo que se considera escala pequeña-media. A este tamaño no tiene sentido plantear en solitario alternativas como la digestión anaerobia (biogás), la extracción de polifenoles o los procesos termoquímicos avanzados, porque necesitan varios miles o decenas de miles de toneladas al año

para ser competitivos. La prioridad debería ser evitar que el alperujo sea solo un coste (la alternativa 0) y buscar soluciones sencillas que conviertan ese flujo en un ingreso o, al menos, en un ahorro claro de costes. En este contexto, la combinación más realista pasa por potenciar la separación del hueso y aprovechar este para valorización energética y la pulpa deshuesada para compostaje y alimentación animal con alperujo (especialmente si hay ganadería cercana), manteniendo la venta a orujera como vía de seguridad para los excedentes o las campañas complicadas.

Si estas alternativas se plantean desde la perspectiva de una cooperativa comarcal (por ejemplo, sumando 1.500–2.000 t/año de alperujo), el escenario cambia de forma notable. Con ese volumen conjunto resulta mucho más razonable invertir de forma compartida en una línea de producción de subproductos. Si bien, lo más rentable sería compartir la línea de deshuesado, la generación del compost y el alimento animal logísticamente parece razonable pensar en que el deshuesado se realice en cada almazara, transportando la pulpa húmeda a la cooperativa.

Tomando estas consideraciones, el resultado sería una mezcla de las alternativas 1 y 2 escalable a la 4, generando dos posibles salidas del alperujo y relegando la venta a orujeras a salida de respaldo y no vía principal. A partir de aquí en los siguientes apartados se desarrollará el diseño y desarrollo de estas alternativas y su estudio económica.

6. Diseño y desarrollo de las instalaciones

Después del estudio de alternativas, se considera que la elección más factible es la mezcla de las alternativas 1 y 2, dejando la posibilidad de desarrollar una tercera línea de producción alineada con la alternativa 4. Debido al proceso productivo de cada uno, se van a explicar los 2 procesos, los cuales se realizan en diferentes partes del proceso productivo de la almazara. De esta forma también permite ver la rentabilidad económica de cada una de las fases.

6.1. Fase 1: Deshuesado del alperujo y valorización energética del hueso

Este es un proceso que se debe de hacer en cada almazara, ya que es necesario que se realice tras la primera decantación. Por este motivo todo el proceso productivo irá dimensionado de acuerdo con la producción individual de una almazara media (460 t/año).

6.1.1 Proceso productivo

Inmediatamente tras la extracción del aceite en el decanter, el alperujo húmedo (65-70% de humedad) se somete a un proceso de separación mecánica de huesos. El alperujo se traslada desde las tolvas de recepción hasta la deshuesadora mediante bombas o transportadores. La deshuesadora consiste en un sistema de cribado continuo: el alperujo es alimentado a una tolva dosificadora y de ahí a una cesta cilíndrica perforada donde gira un rotor de paletas de alta resistencia. Bajo la acción del rotor batidor, la parte pulposa y húmeda del alperujo se fuerza a pasar a través de los orificios de la criba de 3–4 mm de diámetro, separando los fragmentos de hueso que quedan retenidos en el interior. Los huesos limpios (y fragmentos mayores) son expulsados aparte, mientras que la pulpa sin hueso (fase pastosa, más fluida) es recolectada por gravedad o por bombeo para su destino posterior (compostaje o ensilado). Este proceso es continuo, con un caudal de procesamiento típico de 15–5-10 toneladas/hora en maquinaria industrial. La separación es prácticamente instantánea; no requiere adición de agua, y se realiza en frío. Tras el deshuesado, se obtienen dos flujos de materia: aproximadamente 15% del peso como hueso de aceituna (lignocelulósico, de baja humedad) y el 85% restante como pasta deshuesada húmeda. Finalmente, el hueso se deja secar naturalmente o mediante un secadero rotativo hasta obtener una humedad inferior al 15 %.

6.1.2 Planificación operativa del proceso

1. Salida del decánter. El aceite se separa y sale por su línea.
2. El alperujo húmedo ($\approx 65-70$ % de humedad) sale por otra boca y cae a tolvas de recepción de alperujo.
3. Acumulan de forma temporal el alperujo que va saliendo del decánter.
4. Desde las tolvas, el alperujo se conduce a la deshuesadora mediante cintas transportadoras
5. La tolva dosificadora de la deshuesadora recibe el alperujo del transportador.

6. Bajo la acción del rotor, la fracción pastosa y húmeda (pulpa + agua de vegetación) se exprime a través de los orificios. Los fragmentos de hueso y partículas gruesas no pasan por la criba y quedan retenidos dentro del cilindro.
7. Salida de hueso limpio
8. Los huesos y fragmentos mayores se desplazan hacia el tamiz por gravedad.
9. Mediante una bomba se almacenan en el silo.
10. El hueso separado se deja secar de forma natural almacenado en silo bien ventilado
11. Salida de pulpa deshuesada. La pulpa que ha atravesado la criba cae a una bandeja colectora o canal.
12. Desde ahí se recoge mediante una bomba hacia la línea existente.

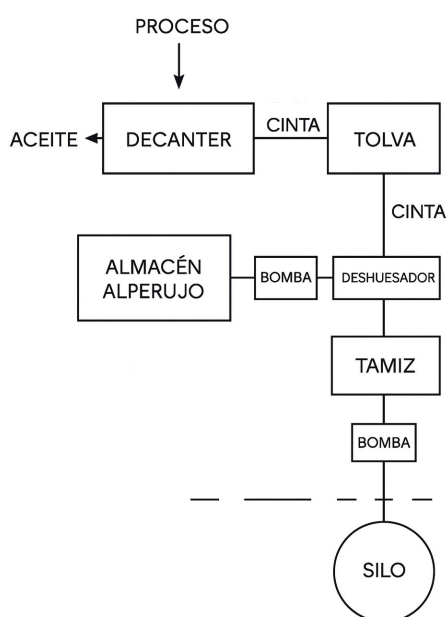


Figura 8. Proceso productivo del deshuesado.

6.1.3 Maquinaria necesaria¹:

En este apartado se procede a describir los elementos necesarios para la realización del proceso productivo.

¹ Todos los precios son una estimación media de diferentes equipos encontrados a la venta.

Tolva de recepción: La tolva de recepción es un contenedor fijo, normalmente de acero y empotrado en el suelo, donde el camión o la cuba descargan el alperujo. Su función es acumular una cierta cantidad de material y entregarlo de forma regulada al siguiente equipo (cinta, sinfín o bomba). Suele tener paredes en forma de embudo y en el fondo incorpora una boca de descarga con un sinfín o un rodillo extractor que evita atascos y compactaciones.

- Equipo: Tolva de suelo 3m x 6m x 2 m

- Precio orientativo: 3.200 €.



Figura 9. Tolva de recepción.

Cinta transportadora: Este equipo de transporte continuo toma el alperujo desde la tolva y lo lleva hasta la deshuesadora (o hasta la boca de aspiración de una bomba). El material se desplaza sobre una banda de goma movida por rodillos. El objetivo es garantizar un caudal estable, con la mínima caída de producto al suelo y, en el caso de equipos estancos, reducir olores y lixiviados. La velocidad de la cinta puede ajustarse para sincronizar el suministro con la capacidad de la deshuesadora. Este equipo se utilizará para transportar el alperujo desde el decanter hasta la deshuesadora y el hueso desde la deshuesadora hasta la zona de secado.

- Equipo: Cinta transportadora de 600 mm de ancho, 6–8 m de longitud
- Precio orientativo: 3.000 € (por elemento).



Figura 10. Cinta transportadora de goma.

Bomba helicoidal: Las bombas helicoidales utilizan un rotor excéntrico que gira dentro de un estator elastomérico, generando cámaras cerradas que trasladan el material sin triturarlo en exceso. En ambos casos, la bomba debe diseñarse para resistir abrasión y contenido sólido, trabajar a bajas revoluciones para evitar emulsiones y mantener un caudal casi constante, incluso

cuando la consistencia del alperujo cambia. Serán necesarios dos equipos de este tipo, uno para bombear el alperujo a la deshuesadora y otro para bombear el residuo húmedo a la zona de almacenaje.

- Equipo: Bomba helicoidal FL60ERS
- Precio orientativo: 4.250 € (por elemento).



Figura 11. Bomba helicoidal.

Deshuesadora del alperujo: Recibe el alperujo y lo somete a la acción de un rotor de paletas o martillos que gira a gran velocidad dentro de una criba perforada. El rotor impulsa la masa contra la criba, de manera que la fracción más pastosa y fina (pulpa + agua) atraviesa los orificios, mientras que las partículas más duras y gruesas, principalmente el hueso, quedan retenidas y se desplazan hacia la salida de sólidos. La regulación del tamaño de los orificios, la velocidad del rotor y la configuración interna permite ajustar el grado de separación. Así se obtiene por un lado una pulpa deshuesada, más homogénea y manejable para compostaje o ensilado, y por otro un hueso relativamente limpio, apto para su acondicionamiento como biomasa.

Dado un volumen anual de 460 t de alperujo concentrado en aproximadamente un mes de campaña, el caudal medio a tratar se sitúa en torno a 1,5–2,5 t/h, según la duración de la jornada diaria. Este flujo puede ser manejado sin dificultades por una deshuesadora de alperujo de pequeña capacidad (5 t/h), lo que permite dimensionar la inversión en equipos en el rango bajo-medio de potencia (20–30 CV), con costes notablemente inferiores a los de las separadoras de alta capacidad (>20 t/h).

- Equipo: Separador pulpa-hueso 25-40 CV.
- Precio orientativo: 13.000 €.

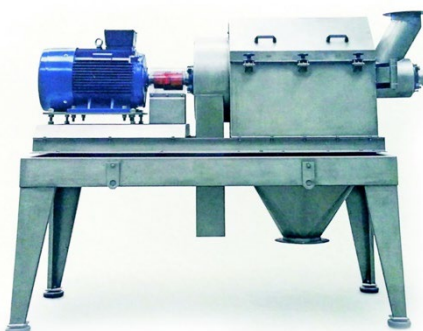


Figura 12. Separador pulpa-hueso.

Tamizado del hueso seco: El tamiz vibratorio recibe el hueso ya seco y lo hace pasar sobre una o varias mallas metálicas que vibran a alta frecuencia. Las partículas finas (polvo, arenilla, restos muy pequeños de materia orgánica) atraviesan las mallas y se separan, mientras que el hueso de tamaño adecuado avanza hasta la salida principal.

- Equipo: Tamiz vibratorio circular industrial pequeño.
- Precio orientativo: 1.000 €.



Figura 13. Tamiz vibratorio industrial circular.

Silo metálico para almacenamiento de hueso seco: El silo protege el hueso de la lluvia y la humedad ambiente, reduce las pérdidas por manipulación y permite gestionar el stock de biomasa de forma ordenada y compacta. Suele incorporar accesos para inspección, sistemas de ventilación pasiva y, en algunos casos, sensores de nivel para conocer la cantidad almacenada. Se considera el proyecto de construcción para la fijación del silo.

- Equipo: Silo de acero de 100 m³ para pienso/grano, construcción e instalación
- Precio orientativo: 25.000 €.



Figura 14. Silo metálico.

6.1.4 Inversión

El coste total del conjunto de elementos propuestos para la instalación asciende a 59.900 €. En este coste, se supone que la almazara tiene el espacio necesario para la instalación de los equipos y no tiene que realizar ningún tipo de ampliación de las instalaciones.

Durante este proceso se obtienen dos tipos de producto, hueso seco de aceituna y pulpa. Debido al proceso, se obtienen 70 t/año de hueso y 390 t/año de pulpa. Este segundo subproducto es el que se venderá o se transportará a la cooperativa para su transformación utilizando los procesos productivos en las alternativas 2 y 4.

Si se atiende exclusivamente a la producción de este módulo de la instalación, la producción de hueso seco estará en torno a las **60 t/año** después del secado (15% de pérdida de peso), cantidad que la almazara podría vender el hueso seco a razón de **160 € t** [22] y la pulpa a **10 € t** [23] (siempre y cuando se quiera vender la pulpa y no aprovecharla en las siguientes fases). Estos datos serán utilizados para calcular la rentabilidad económica de la instalación en el siguiente apartado del informe.

6.2. Fase 2: Compostaje del alperujo deshuesado para fertilizante orgánico

En este caso, la siguiente fase se realizará en una cooperativa de almazaras ya que la inversión es mucho mayor. De esta forma se mejoraría la rentabilidad económica y disminuiría el riesgo. En este caso se van a hacer los cálculos con una cooperativa de 4 almazaras, de acuerdo con el tamaño medio de las cooperativas de almazaras de Aragón. Esto supone un aporte de 390 t de pulpa húmeda al año por almazara, dando un total de 1560 t/año a procesar en la cooperativa.

6.2.1 Proceso productivo

El compostaje es un proceso de biodegradación aeróbica controlada por el cual la materia orgánica del alperujo se transforma en un humus estable (compost) útil como enmienda/fertilizante. Se propone implementar un sistema de compostaje en pilas estáticas volteadas (windrows), por su sencillez, bajo costo y adecuación a flujos estacionales de alperujo. El flujo de pulpa de alperujo deshuesado (todavía con 60–65% de humedad) se mezcla con materiales complementarios para optimizar el proceso: típicamente material estructurante seco y fuente de nitrógeno. En este segundo caso, la fuente de nitrógeno será un estiércol animal en proporción adecuada para mejorar la relación carbono/nitrógeno (C/N) de la mezcla y enriquecer el compost en nutrientes. En experiencias previas se han usado relaciones aproximadas de alperujo-hojín-estiércol a 8:1:1 en peso fresco, lo que produce una mezcla con humedad inicial 60%, C/N alrededor de 25–30, y buena porosidad. En este caso, se podrían añadir 200 kg de hojas/poda secas (30% humedad) y 200 kg de estiércol (60% humedad), ajustando según análisis.

6.2.2 Planificación operativa del proceso

1. Recepción de la pulpa en plataforma
2. Aporte de hojín y estiércol.
3. Transporte mediante mini cargadora.
4. Mezclado en trommel.
5. Desplazamiento mediante cinta de la mezcladora a la zona de volteo.
6. Formación de pilas longitudinales para su volteo.
7. Volteo y aporte de agua periódico.
8. Reposo del compost (reducción de volteos).
9. Cribado y limpieza mediante trommel.
10. Transporte mediante cinta desde el trommel a la ensacadora.
11. Envasado en sacos de 50 kg y transporte al almacén.

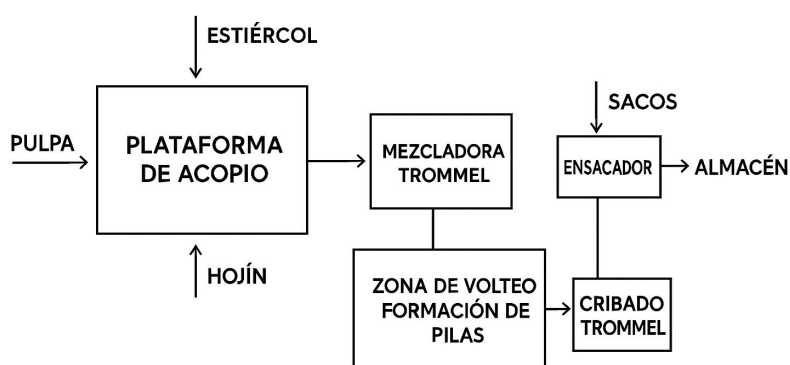


Figura 15. Proceso productivo del deshuesado.

6.2.3 Construcciones previas:

Plataforma de hormigón impermeabilizada

Su función es impedir que los lixiviados penetren en el suelo, facilitar el trabajo de la maquinaria (rodadura limpia y firme) y canalizar los líquidos hacia la balsa. Gracias a la pendiente y las canaletas, cualquier agua de lluvia o jugo que escurre de las pilas se recoge y se dirige controladamente, evitando encharcamientos y contaminación del terreno. Tamaño aproximado de 2500 m². Coste aproximado: 55.000 €

Balsa de lixiviados

En esta balsa se almacenan los lixiviados procedentes de la escorrentía y del propio jugo del compost, que pueden recircularse después para humedecer pilas secas o tratarse según normativa. Su funcionamiento es simple: actúa como “pulmón” hidráulico, amortigua episodios de lluvia intensa y permite gestionar el agua de forma controlada, en lugar de dejarla perderse o contaminar el entorno. Tamaño aproximado: 75 m³. Coste aproximado: 28.000 €

6.2.4 Maquinaria necesaria¹:

En este apartado se procede a describir los elementos necesarios para la realización del proceso productivo.

¹ Todos los precios son una estimación media de diferentes equipos encontrados a la venta.

Minicargadora: Es la máquina multiusos del sistema: con su cuchara frontal recoge la pulpa de alperujo, el hojín y el estiércol, los transporta dentro del patio y los descarga donde interese. También se usa para hacer la mezcla inicial (cargando, volcando y remezclando el material varias veces), formar las pilas longitudinales y, en caso de no disponer de volteadora, hacer volteos “a lo bruto” moviendo la pila de un lugar a otro. Su funcionamiento se basa en ciclos repetidos de carga–transporte–descarga, y es la clave de toda la logística interna del compostaje.

- Equipo: Mini cargador Weidemann 1240LP nieuwstaat 4x4 hydr. snelwissel
- Precio orientativo: 22.000 €.



Figura 16. Minicargador.

Trituradora de ramas de olivo: Es un apero acoplado al tractor (o máquina autónoma) con un rotor de martillos o cuchillas que gira a alta velocidad y tritura las ramas de poda en fragmentos pequeños (normalmente <5 cm). El tractor avanza por los cordones de ramas; la máquina las aspira o las recoge por la boca frontal y las impacta contra el rotor, reduciendo su tamaño. El resultado es un material fibroso, homogéneo y de alta superficie específica, ideal como estructurante en la mezcla de compost, ya que mejora la porosidad y facilita la aireación.

- Equipo: Apero para tractor trituradora de ramas de olivo
- Precio orientativo: 13.000 €.



Figura 17. Apero triturador de ramas de olivo.

Mezcladora específica (trommel): Es una máquina diseñada para homogeneizar sólidos: puede ser un cilindro giratorio (trommel) o una cuba horizontal con ejes y paletas internas. Se carga por una tolva con alperujo, estructurante y estiércol en proporciones definidas; al ponerse en marcha, el tambor o las paletas remueven el contenido, lo cortan y lo distribuyen, hasta que la mezcla alcanza una textura y humedad uniformes. Finalmente, se descarga por una compuerta o sinfín sobre el patio o un transportador que lleva el material ya mezclado al punto de formación de pilas. Proporciona una mezcla mucho más constante que la pala y facilita dosificar las recetas.

- Equipo: Trommel móvil Sinolion
- Precio orientativo: 7.000 €.



Figura 18. Trommel móvil Sinolion.

Cinta transportadora: Este equipo de transporte continuo toma la mezcla desde la tolva y lo lleva hasta el patio o un transportador que lleva el material ya mezclado al punto de formación de pilas. El material se desplaza sobre una banda de goma movida por rodillos. La velocidad de la cinta puede ajustarse para sincronizar el suministro con la capacidad de la deshuesadora.

- Equipo: Cinta transportadora de 600 mm de ancho, 6–8 m de longitud
- Precio orientativo: 3.000 € (por elemento).



Figura 19. Cinta transportadora de goma.

Volteadora de compost acoplada a tractor: Es un equipo con un rotor de paletas o cuchillas montado sobre un bastidor que se acopla al tractor (normalmente por la parte trasera) y trabaja sobre la pila longitudinal. El tractor avanza a baja velocidad por encima o al lado de la pila, el rotor gira a alta velocidad, toma el material desde la base y lo lanza hacia arriba describiendo una “U” interna, de forma que la pila queda volteada por completo y aireada en una sola pasada. Así se renueva el oxígeno, se iguala la temperatura en toda la sección y se rompe la compactación. Muchas volteadoras incorporan además un pequeño sistema de riego para humedecer mientras se voltean.

- Equipo: Volteadora de compost Valdesoto Agro jardín
- Precio orientativo: 19.000 €.



Figura 20. Volteadora de compost acoplada a tractor.

Remolque cuba de agua: Es un remolque con un depósito (5.000–8.000 L) que se engancha al tractor y se llena con agua o lixiviados desde la balsa. La cuba se desplaza por el patio y, mediante una bomba y manguera o barra pulverizadora, se aplica agua sobre las pilas cuando la humedad baja de los niveles óptimos. Su funcionamiento es simple: se llena donde haya disponibilidad de agua, se traslada hasta la pila, se abre la válvula o se activa la bomba y se distribuye el agua de forma controlada, pudiendo ajustar la dosis por tiempo o por superficie.

- Equipo: Remolque cisterna de agua Benavides.

- Precio orientativo: 18.000 €.



Figura 21. Remolque cisterna de agua

Criba tipo trommel para compost: Es un cilindro de malla metálica que gira lentamente, ligeramente inclinado, mientras se alimenta por un extremo con compost maduro. A medida que el tambor gira, el material se eleva y cae, y las partículas más finas pasan a través de los orificios de la malla, cayendo a una cinta o al suelo como producto terminado; las fracciones gruesas avanzan hasta el extremo de descarga y salen como “rechazo” para recircular. Mediante el cambio de malla (por ejemplo 10, 15 o 20 mm) se puede ajustar el tamaño del grano de compost comercial. Su ventaja es que maneja bien materiales aún algo húmedos y pegajosos.

- Equipo: Trommel compacto Traserscreen DB-30 / DB-70.
- Precio orientativo: 55.000 €.

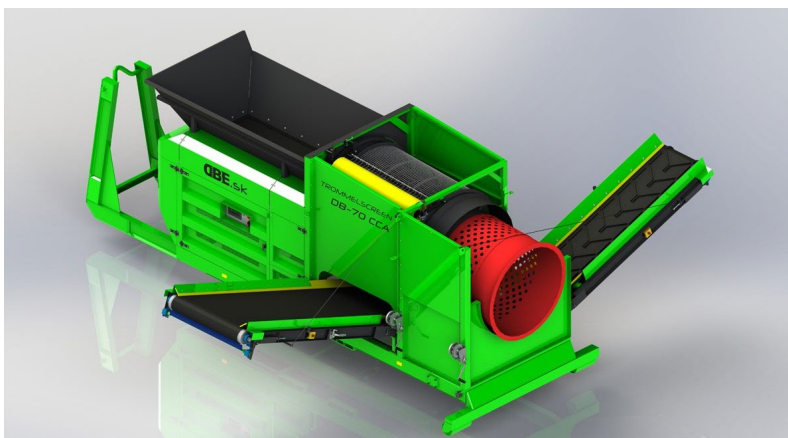


Figura 22. Trommel compacto Traserscreen DB-30 / DB-70

Ensacadora para sacos (25–50 kg): Consiste en una máquina con tolva superior de alimentación y un sistema de dosificación y pesaje integrado que permite llenar sacos de forma rápida y estandarizada. El operario coloca el saco en la boquilla, la máquina libera una cantidad de compost previamente ajustada (por volumen o por peso), y cuando se alcanza el peso objetivo cierra la válvula y emite la señal para retirar el saco y pasar al siguiente. Puede ser manual (se coloca y se quita el saco a mano) o semi-automática (transportador que evacúa los sacos llenos). Así se consiguen sacos homogéneos de 25–50 kg listos para coser y paletizar.

- Equipo: Máquina de embolsado de línea de llenado de bolsas
- Precio orientativo: 12.000 €.



Figura 23. Máquina de embolsado de línea de llenado de bolsas

6.2.5. Inversión

El coste total del conjunto de elementos propuestos para la instalación asciende a **235.000 €**. En este coste, se supone que la almazara tiene el espacio necesario para la instalación de los equipos y no tiene que realizar ningún tipo de ampliación de las instalaciones.

Teniendo en cuentas el material aportado (1560 t de pulpa húmeda) y los 400 t de aportaciones (hojín y estiércol) además de la pérdida de aproximadamente el 50% del peso debido a la humedad, se calcula que se producirán **950 t al año de compost**.

Este proceso permite vender el compost de 700 kg/m³ (densidad habitual) en sacos de **50 kg** a un precio a razón de **6 €/saco**. Tanto la inversión como el beneficio serán datos que se utilizarán en el siguiente apartado para calcular la rentabilidad económica. En este caso al pertenecer a una cooperativa de 4 almazaras, tanto los gastos como los beneficios se repartirán entre los 4 socios.

7. Estudio económico

En este apartado se va a realizar un estudio completo sobre la viabilidad económica del proyecto. Eso implica la estimación de la inversión inicial y el cálculo de los costes e ingresos operativos.

7.1. Fase 1: Deshuesado del alperujo

7.1.1. Inversión inicial

Se va a estudiar el coste que supone disponer de una instalación de las características determinadas anteriormente. En las siguientes tablas todos los precios se han considerado sin IVA y son aproximados con un margen de error inferior al 10%.

CONSTRUCCIÓN			
Partida	Cantidad	Precio Unit. (€)	Total
Losa de cimentación para silo de 100 m ³	1	18.000	18.000 €
TOTAL:			18.000 €

EQUIPAMIENTO			
Partida	Cantidad	Precio Unit. (€)	Total
Tolva de recepción	1	3.200	6.400 €
Cinta transportadora de 600 mm de ancho, 6–8 m de longitud	2	3.000	6.000 €
Bomba helicoidal FL60ERS	2	4.250	8.500 €
Separador pulpa-hueso 25-40 CV	1	13.000	13.000 €
Tamiz vibratorio circular industrial pequeño	1	1.000	1.000
Silo metálico de 100 m ³ (transporte y montaje incluidos)	1	7.000	7.000
TOTAL:			41.900 €

Cuadro resumen de la inversión inicial

INVERSIÓN INICIAL	
Partida	Total
CONSTRUCCIÓN	18.000 €
EQUIPAMIENTO	41.900 €
TOTAL INVERSIÓN INICIAL (SIN IVA):	59.900 €
TOTAL INVERSIÓN INICIAL (CON IVA):	72.479 €

Tabla 2. Partidas de la inversión inicial (Fase 1).

7.1.2. Gastos operativos

En este apartado se van a considerar los gastos relativos al procesamiento.

GASTOS ANUALES	
Partida	Total
Gastos de desplazamiento (opcional)	2.535 €
Gastos de mantenimiento	1.945 €
TOTAL GASTOS ANUALES:	4.480 €

Tabla 3. Partidas de los gastos operativos anuales (Fase 1).

A continuación, se analizará en detalle cómo se han obtenido cada una de las estimaciones de las partidas de gasto.

Gastos de transporte (opcional)

Este gasto solo se realizará en el supuesto en el que la pulpa húmeda se quiera trasladar la cooperativa para su aprovechamiento en la fase 2. En ese caso, se contrataría a una empresa de transportes agrícolas con un coste aproximado medio de 0,13 €/t·km. Teniendo en cuenta que la cantidad a transportar son 390 t y suponiendo una distancia máxima de 50 km hasta la cooperativa, el importe total anual de este transporte sería de 2.535 €.

Gastos de personal

Al tratarse de un proceso autosuficiente, incorporado a la línea de trabajo existente, no se considera gasto de personal.

Gastos de mantenimiento

Se va a considerar un 5% de los costes anuales de los equipos como coste de mantenimiento. Teniendo en cuenta que el coste de todos los equipos es de 38.900 €, esto supone un coste anual de 1945 €.

7.1.3. Ingresos

En esta fase hay dos posibilidades como se ha visto en apartados anteriores. Vender los dos subproductos extraídos (hueso seco y pulpa húmeda), o vender el hueso seco y transportar la pulpa húmeda a la cooperativa para transformarla en compost.

En el proceso se obtiene 60 t/año de hueso seco limpio, por el que se puede llegar a pagar entre 130 – 220 € t. Si nos basamos en un escenario conservador se estima la venta a 160 € t [23], suponiendo unos ingresos de 9.600 €. Por otro lado, se obtienen 390 t/año de pulpa húmeda, la cual se puede llegar a pagar entre 10-12 € t. Sin embargo, es un precio que ha ido decreciendo

en los últimos años, pagándose de media a 10,27€ t en 2025. Por ello se tomará 10€ t como referencia. De esta forma, el ingreso por la venta de pulpa húmeda sería de 3.900 €.

INGRESOS			
Partida	Cantidad	Precio Unit. (€)	Total
Hueso seco limpio	60 t	160€	9.600 €
Pulpa húmeda	390 t	10 €	3.900 €
TOTAL:			13.500 €

Tabla 4. Partidas de los ingresos anuales (Fase 1).

7.1.4. Calculo rentabilidad económica

Con los datos obtenidos en los dos apartados anteriores, en esta sección se va a calcular la rentabilidad económica del proyecto a 20 años, calculando el VAN, el TIR y el Payback.

Para los cálculos se va a utilizar una tasa de actualización del 3%, se realizará una amortización lineal a 10 años, se considerará una vida útil de la instalación de 20 años y se considerarán unos impuestos sobre los beneficios del 30%.

Los flujos de caja quedan se pueden ver en la Tabla 5.

Los índices de rentabilidad obtenidos son los siguientes:

- VAN: 66.405 €
- TIR: 12 %
- Pay-Back: 8 años y un mes.

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Inversión Inicial	-72.479										
Ingresos Explotación		13.500	13.500	13.500	13.500	13.500	13.500	13.500	13.500	13.500	13.500
Gastos Explotación		-1.945	-1.945	-1.945	-1.945	-1.945	-1.945	-1.945	-1.945	-1.945	-1.945
Amortizaciones		-7.248	-7.248	-7.248	-7.248	-7.248	-7.248	-7.248	-7.248	-7.248	-7.248
BAIIT	0	4.307	4.307	4.307	4.307	4.307	4.307	4.307	4.307	4.307	4.307
Gastos Financieros		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAIT	0	4.307	4.307	4.307	4.307	4.307	4.307	4.307	4.307	4.307	4.307
Impuestos (30%)		-1.292	-1.292	-1.292	-1.292	-1.292	-1.292	-1.292	-1.292	-1.292	-1.292
BDT	0	3.015	3.015	3.015	3.015	3.015	3.015	3.015	3.015	3.015	3.015
Amortizaciones		7.248	7.248	7.248	7.248	7.248	7.248	7.248	7.248	7.248	7.248
Flujo de Caja	-72.479	10.263	10.263	10.263	10.263	10.263	10.263	10.263	10.263	10.263	10.263
Flujo de Caja actualizado	-72.479	9.963,95	9.673,74	9.391,98	9.118,43	8.852,84	8.594,99	8.344,65	8.101,60	7.865,64	7.636,54
Flujo Acumulado	-72.479	-62.515,05	-52.841,31	-43.449,33	-34.330,90	-25.478,06	-16.883,07	-8.538,42	-436,81	7.428,82	15.065,36

	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20
Inversión Inicial										
Ingresos Explotación	13.500	13.500	13.500	13.500	13.500	13.500	13.500	13.500	13.500	13.500
Gastos Explotación	-1.945	-1.945	-1.945	-1.945	-1.945	-1.945	-1.945	-1.945	-1.945	-1.945
Amortizaciones										
BAIIT	11.555	11.555	11.555	11.555	11.555	11.555	11.555	11.555	11.555	11.555
Gastos Financieros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAIT	11.555	11.555	11.555	11.555	11.555	11.555	11.555	11.555	11.555	11.555
Impuestos (30%)	-3.467	-3.467	-3.467	-3.467	-3.467	-3.467	-3.467	-3.467	-3.467	-3.467
BDT	8.089	8.089	8.089	8.089	8.089	8.089	8.089	8.089	8.089	8.089
Amortizaciones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujo de Caja	8.089	8.089	8.089	8.089	8.089	8.089	8.089	8.089	8.089	8.089
Flujo de Caja actualizado	5.843,30	5.673,11	5.507,87	5.347,45	5.191,70	5.040,49	4.893,68	4.751,14	4.612,76	4.478,41
Flujo Acumulado	20.908,67	26.581,78	32.089,65	37.437,10	42.628,81	47.669,29	52.562,97	57.314,11	61.926,87	66.405,27

Tabla 5. Flujos de caja (Fase 1)

7.2. Fase 2: Compostaje del alperujo deshuesado

7.2.1. Inversión inicial

Se va a estudiar el coste que supone disponer de una instalación como la que se ha definido anteriormente. En las siguientes tablas todos los precios se han considerado sin IVA y son aproximados con un margen de error inferior al 10%.

CONSTRUCCIÓN			
Partida	Cantidad	Precio Unit. (€)	Total
Plataforma de hormigón impermeabilizada	1	55.000	55.000 €
Balsa de lixiviados	1	28.000	28.000 €
TOTAL:			83.000 €

EQUIPAMIENTO			
Partida	Cantidad	Precio Unit. (€)	Total
Mini cargador Weidemann 1240LP	1	22.000	22.000 €
Apero para tractor trituradora de ramas de olivo	1	13.000	13.000 €
Trommel móvil Sinolion	1	7.000	7.000 €
Cinta transportadora de 600 mm de ancho, 6–8 m de longitud	2	3.000	6.000 €
Volteadora de compost Valdesoto Agrojardín	1	19.000	19.000 €
Remolque cisterna de agua Benavides	1	18.000	18.000 €
Trommel compacto Traserscreen DB-30 / DB-70	1	55.000	55.000 €
Máquina de embolsado de línea de llenado de bolsas	1	12.000	12.000 €
TOTAL:			152.000 €

Cuadro resumen de la inversión inicial

INVERSIÓN INICIAL	
Partida	Total
CONSTRUCCIÓN	83.000 €
EQUIPAMIENTO	152.000 €
TOTAL INVERSIÓN INICIAL (SIN IVA):	235.000 €
TOTAL INVERSIÓN INICIAL (CON IVA):	284.350 €

Tabla 6. Partidas de la inversión inicial (Fase 2).

7.2.2. Gastos operativos

En este apartado solamente vamos a considerar los gastos relativos al procesamiento.

GASTOS ANUALES	
Partida	Total
Gastos de personal	20.000 €
Gastos de mantenimiento	7.600 €
Gastos de aditivos	4.000 €
Gastos de consumibles	3.800
TOTAL GASTOS ANUALES:	35.400 €

Tabla 7. Partidas de los gastos operativos anuales (Fase 2).

A continuación, se analizará en detalle cómo se han obtenido cada una de las estimaciones de las partidas de gasto.

Gastos de personal

En principio el trabajo desarrollado es de temporada, específicamente durante 4 meses de recolección (3 meses de recolección de octubre a diciembre y 2 mes de procesamiento). Para ello se cuenta con la contratación temporal de dos operarios a tiempo completo, suponiendo un salario bruto cada uno de 1500 € mensuales, lo que supone un total de 15.000€ anuales que con los costes de Seguridad Social supone un coste final de 20.000 €

Gastos de mantenimiento

Se va a considerar un 5% de los costes anuales de los equipos como coste de mantenimiento. Teniendo en cuenta que el coste de todos los equipos es de 152.000 €, esto supone un coste anual de 7.600 €.

Gastos operativos de aditivos

Para conseguir el compost es necesario mezclar la pulpa húmeda con restos de ramas de olivos y estiércol. Suponiendo que la cooperativa tiene acceso a los restos de las ramas de los olivos, se plantea la compra de estiércol (200 t). Debido a la gran variabilidad de precios encontrada (entre 9 – 35 € por tonelada), se estimará un coste medio de 20 € t, suponiendo un gasto adicional de 4.000 €.

Gastos operativos de consumibles

Como se prevé una venta de 19.000 sacos de 50kg, se gastarán esta misma cantidad de sacos de rafia anualmente, lo cuales se venden en packs de 100 entre 0,17-0,22 € la unidad. Se estima un coste unitario de 0,20 €, lo que supone un gasto anual de 3.800 €.

7.2.3. Ingresos

Teniendo en cuentas el material aportado (1560 t de pulpa húmeda) y los 400 t de aportaciones (hojín y estiercol) además de la perdida de aproximadamente el 50% del peso debido a la humedad, se calcula que se producirán 950 t al año de compost.

Este proceso permite vender el compost de 700 kg/m³ (densidad habitual) en sacos de 50 kg a un precio a razón de 7 €/saco.

INGRESOS			
Partida	Cantidad	Precio Unit. (€)	Total
Saco de 50 kg	19.000	6	112.000 €
TOTAL:			112.000 €

Tabla 8. Partidas de los ingresos anuales (Fase 2).

7.2.4. Calculo rentabilidad económica

Con los datos obtenidos en los dos apartados anteriores, en esta sección se va a calcular la rentabilidad económica del proyecto a 20 años, calculando el VAN, el TIR y el Payback.

Para los cálculos se va a utilizar una tasa de actualización del 3%, se realizará una amortización lineal a 10 años, se considerará una vida útil de la instalación de 20 años y se considerarán unos impuestos sobre los beneficios del 30%.

Los flujos de caja quedan se pueden ver en la Tabla 6.

Los índices de rentabilidad obtenidos son los siguientes:

- VAN: 587.147 €
- TIR: 21 %
- Pay-Back: 5 años.

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Inversión Inicial	-284.350										
Ingresos Explotación		112.000	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000
Gastos Explotación		-35.400	-35.400	-35.400	-35.400	-35.400	-35.400	-35.400	-35.400	-35.400	-35.400
Amortizaciones		-28.435	-28.435	-28.435	-28.435	-28.435	-28.435	-28.435	-28.435	-28.435	-28.435
BAIT	0	48.165	48.165	48.165	48.165	48.165	48.165	48.165	48.165	48.165	48.165
Gastos Financieros		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAIT	0	48.165	48.165	48.165	48.165	48.165	48.165	48.165	48.165	48.165	48.165
Impuestos (30%)		-14.450	-14.450	-14.450	-14.450	-14.450	-14.450	-14.450	-14.450	-14.450	-14.450
BDT	0	33.716	33.716	33.716	33.716	33.716	33.716	33.716	33.716	33.716	33.716
Amortizaciones		28.435	28.435	28.435	28.435	28.435	28.435	28.435	28.435	28.435	28.435
Flujo de Caja	-284.350	62.151	62.151	62.151	62.151	62.151	62.151	62.151	62.151	62.151	62.151
Flujo de Caja actualizado	-284.350	60.340,29	58.582,81	56.876,51	55.219,91	53.611,57	52.050,07	50.534,04	49.062,18	47.633,18	46.245,81
Flujo Acumulado	-284.350	-224.009,71	-165.426,90	-108.550,39	-53.330,48	281,09	52.331,16	102.865,20	151.927,38	199.560,56	245.806,37

	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20
Inversión Inicial										
Ingresos Explotación	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000
Gastos Explotación	-35.400	-35.400	-35.400	-35.400	-35.400	-35.400	-35.400	-35.400	-35.400	-35.400
Amortizaciones										
BAIT	76.600	76.600	76.600	76.600	76.600	76.600	76.600	76.600	76.600	76.600
Gastos Financieros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAIT	76.600	76.600	76.600	76.600	76.600	76.600	76.600	76.600	76.600	76.600
Impuestos (30%)	-22.980	-22.980	-22.980	-22.980	-22.980	-22.980	-22.980	-22.980	-22.980	-22.980
BDT	53.620	53.620	53.620	53.620	53.620	53.620	53.620	53.620	53.620	53.620
Amortizaciones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujo de Caja	53.620	53.620	53.620	53.620	53.620	53.620	53.620	53.620	53.620	53.620
Flujo de Caja actualizado	38.736,23	37.607,99	36.512,61	35.449,14	34.416,64	33.414,21	32.440,98	31.496,10	30.578,74	29.688,09
Flujo Acumulado	284.542,60	322.150,59	358.663,20	394.112,34	428.528,97	461.943,19	494.384,17	525.880,27	556.459,00	586.147,10

Tabla 9. Flujos de caja (Fase 2)

7.3. Proceso productivo completo (Fase 1 + Fase 2)

7.3.1. Calculo rentabilidad económica

En este caso se calculará sumando la inversión inicial, gastos e ingresos de la Fase 1 más los de la Fase 2 dividida entre los 4 socios de la cooperativa.

Con esos datos se va a calcular la rentabilidad económica del proyecto a 20 años, calculando el VAN, el TIR y el Payback.

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Inversión Inicial	-143.567										
Ingresos Explotación		37.600	37.600	37.600	37.600	37.600	37.600	37.600	37.600	37.600	37.600
Gastos Explotación		-13.330	-13.330	-13.330	-13.330	-13.330	-13.330	-13.330	-13.330	-13.330	-13.330
Amortizaciones		-14.357	-14.357	-14.357	-14.357	-14.357	-14.357	-14.357	-14.357	-14.357	-14.357
BAIT	0	9.913	9.913	9.913	9.913	9.913	9.913	9.913	9.913	9.913	9.913
Gastos Financieros		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAIT	0	9.913	9.913	9.913	9.913	9.913	9.913	9.913	9.913	9.913	9.913
Impuestos (30%)		-2.974	-2.974	-2.974	-2.974	-2.974	-2.974	-2.974	-2.974	-2.974	-2.974
BDT	0	6.939	6.939	6.939	6.939	6.939	6.939	6.939	6.939	6.939	6.939
Amortizaciones		14.357	14.357	14.357	14.357	14.357	14.357	14.357	14.357	14.357	14.357
Flujo de Caja	-143.567	21.296	21.296	21.296	21.296	21.296	21.296	21.296	21.296	21.296	21.296
Flujo de Caja actualizado	-143.567	20.675,72	20.073,52	19.488,85	18.921,22	18.370,11	17.835,06	17.315,59	16.811,26	16.321,61	15.846,22
Flujo Acumulado	-143.567	-122.890,78	-102.817,26	-83.328,41	-64.407,19	-46.037,08	-28.202,02	-10.886,43	5.924,83	22.246,44	38.092,66

	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20
Inversión Inicial										
Ingresos Explotación	37.600	37.600	37.600	37.600	37.600	37.600	37.600	37.600	37.600	37.600
Gastos Explotación	-13.330	-13.330	-13.330	-13.330	-13.330	-13.330	-13.330	-13.330	-13.330	-13.330
Amortizaciones										
BAIT	24.270	24.270	24.270	24.270	24.270	24.270	24.270	24.270	24.270	24.270
Gastos Financieros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAIT	24.270	24.270	24.270	24.270	24.270	24.270	24.270	24.270	24.270	24.270
Impuestos (30%)	-7.281	-7.281	-7.281	-7.281	-7.281	-7.281	-7.281	-7.281	-7.281	-7.281
BDT	16.989	16.989	16.989	16.989	16.989	16.989	16.989	16.989	16.989	16.989
Amortizaciones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujo de Caja	16.989	16.989	16.989	16.989	16.989	16.989	16.989	16.989	16.989	16.989
Flujo de Caja actualizado	12.273,22	11.915,74	11.568,68	11.231,73	10.904,59	10.586,98	10.278,62	9.979,25	9.688,59	9.406,40
Flujo Acumulado	50.365,87	62.281,61	73.850,30	85.082,03	95.986,62	106.573,60	116.852,23	126.831,47	136.520,06	145.926,46

Tabla 10. Flujos de caja (Proceso completo).

En el supuesto estudiado, los resultados son los siguientes:

- VAN: 145.926 €
- TIR: 12,9 %
- Pay-Back: 7 años y 8 meses

7.4. Conclusiones

En los cálculos realizados se observa que, en los tres escenarios analizados, el proyecto resulta claramente rentable. Tal y como se intuía en un primer momento, a mayor volumen de alperujo procesado y mayor dimensión de la cooperativa, aumenta la rentabilidad global y se acorta de forma notable el periodo de recuperación de la inversión. No obstante, el análisis comparado de los distintos escenarios ofrece una ventaja adicional: permite al agricultor planificar de manera progresiva la incorporación de nuevos productos y subproductos de la almazara, escalando la inversión y la oferta comercial en función de su capacidad económica y de la respuesta del mercado.

8. CONCLUSIONES

Las conclusiones que se pueden obtener de este proyecto son las siguientes:

- La gestión del alperujo en Aragón es un problema complejo, condicionado por la estacionalidad, los grandes volúmenes generados, los impactos ambientales potenciales y la diversidad de tamaños de almazara. Su solución pasa por un enfoque de economía circular que integre a almazaras, cooperativas, agricultores y administraciones, y que combine diferentes rutas de valorización en lugar de una única alternativa.
- Desde el punto de vista técnico, el proyecto demuestra que es viable incorporar en cada almazara una línea de deshuesado post-decanter que recupere en torno a 60 t/año de hueso seco y genere unas 390 t/año de pulpa deshuesada a partir de unas 460 t/año de alperujo, sin interferir en la línea principal de extracción ni en la calidad del aceite.
- A escala cooperativa, se confirma la viabilidad técnica del compostaje en pilas volteadas para producir unas 950 t/año de compost ensacado. Esta solución transforma un residuo problemático en una enmienda orgánica comercializable.
- Desde el punto de vista estratégico, la combinación de deshuesado en almazara y compostaje cooperativo permite que el alperujo deje de ser solo un coste y se convierta en una fuente de productos (hueso energético, compost y, potencialmente, alimento animal) que refuerzan la autonomía de las almazaras frente a la dependencia de la orujera y crean sinergias con el sector agrario local.
- Desde el punto de vista de la viabilidad económica, los tres escenarios analizados resultan claramente rentables: el módulo de deshuesado en una almazara media presenta un VAN de 66.405 €, TIR del 12 % y un pay-back de un poco más de 8 años; la planta de compostaje cooperativa alcanza un VAN de 587.147 €, TIR del 21 % y pay-back de 5 años; y el esquema integrado (Fase 1 + Fase 2) ofrece un VAN de 145.926 €, TIR del 12,9 % y pay-back de algo menos de 8 años, lo que justifica las inversiones planteadas en un horizonte de 20 años.
- Desde el punto de vista de investigación y diseño, el proyecto ha sido especialmente exigente, al obligar a integrar balances de materia, condicionantes normativos, diseño de instalaciones y análisis de mercado para construir una solución modular y escalable. El resultado sienta las bases para futuras fases de valorización de mayor valor añadido (polifenoles, biogás o procesos termoquímicos avanzados) cuando existan volúmenes y alianzas suficientes.

9. REFERENCIAS

[1]. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). Publicación de aforos de producción de aceite de oliva y aceituna de mesa. Campaña 2025-2026.

https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/agricultura/temas/producciones-agricolas/frutas-y-hortalizas/aceite-de-oliva-y-aceituna-de-mesa/balances/publicacion-aforos-25-26_v2.pdf

[2]. Unión Europea. Reglamento Delegado (UE) 2022/2104 de la Comisión, de 29 de julio de 2022, por el que se completa el Reglamento (UE) n.º 1308/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que atañe a las normas de comercialización del aceite de oliva y se deroga el Reglamento (CE) n.º 1019/2002. 2022; L 284:1-44.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32022R2104>

[3]. Universidad de Jaén. Documento sobre la pérdida de aceite en el proceso de obtención de aceite de oliva virgen en almazaras.

<https://investigacion.ujaen.es/documentos/5eebf23529995209f4260cc9#:~:text=La%20pérdida%20de%20aceite%20en,el%20experto>

[4]. Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente. Características y tratamiento de alpechines.

https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Calidad_Ambiental/Gestion_De_Los_Residuos_Solidos/compost/Caracteristicas_y_tratamiento_de_alpechines.pdf#:~:text=de%20extracción%20de%20aceite%20por,Los%2010

[5]. Subproductos Agroalimentarios. Aceite de oliva y subproductos: composición del alperujo y orujo graso.

<https://subproductosagroalimentarios.es/aceite#:~:text=Solidos%20Totales%20%28,celulose%20%2B%20Lignina%20%20%2C80>

[6]. García-Ortiz Civantos C. Aprovechamiento del alperujo como enmienda orgánica en el olivar 2016.

<https://ruja.ujaen.es/server/api/core/bitstreams/770c9d32-a6da-44f4-b42a-a995718307c6/content>

[7]. Parlamento Europeo, Consejo de la Unión Europea. Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. 2008;

<https://www.boe.es/doue/2008/312/L00003-00030.pdf>

[8]. CSR Laboratorio Agroalimentario y de Sanidad Animal. Observatorio del rendimiento graso de la aceituna de almazara.

<https://csrlaboratorio.es/aceituna/observatorio-rendimiento-graso/>

[9]. Civantos López L. Obtención del aceite de oliva virgen. Madrid: Mundi-Prensa; 1999.

- [10]. Albuquerque JA, González J, García D, Cegarra J. Agrochemical characterisation of "alperujo", a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Bioresour Technol.* 2004;91(2):195-200.
[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00177-9](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00177-9)
- [11]. Total and sustainable valorisation of olive pomace using a biorefinery approach. *Applied Sciences.* 2020;10(19):6785.
<https://doi.org/10.3390/app10196785>
- [12]. AGAPA – Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía. Evaluación de la producción y usos de los subproductos de las agroindustrias del olivar en Andalucía. Sevilla. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Junta de Andalucía; 2015.
https://www.researchgate.net/publication/307174393_Evaluacion_de_la_produccion_y_usos_de_los_subproductos_de_las_agroindustrias_del_olivar_en_Andalucia#:~:text=El%20hueso%20de%20aceituna%20es,extrae%20del%20mismo%20mediante%20un
- [13]. Albuquerque JA, González J, Tortosa G, Baddi GA, Cegarra J. Evaluation of "alperujo" composting based on organic matter degradation, humification and compost quality. *Biodegradation.* 2009 Apr;20(2):257-70.
<https://doi.org/10.1007/s10532-008-9218-y>
- [14]. García-Randez A, Marks EAN, Pérez-Murcia MD, Orden L, Andreu-Rodriguez J, Martínez Sabater E, Cháfer MT, Moral R. Is the Direct Soil Application of Two-Phase Olive Mill Waste (Alperujo) Compatible with Soil Quality Protection? *Agronomy.* 2023; 13(10):2585.
<https://doi.org/10.3390/agronomy13102585>
- [15]. Paié-Ribeiro J, Pinheiro V, Guedes C, Gomes MJ, Teixeira J, Teixeira A, et al. From Waste to Sustainable Animal Feed: Incorporation of Olive Oil By-Products into the Diet of Bísaro Breed Pigs. *Sustainability.* 2025;17(7):3174.
<https://doi.org/10.3390/su17073174>
- [16]. Process for the industrial recovery of oleanolic and maslinic acids contained in the olive milling subproducts. WO1998004331A1. 1998.
<https://patents.google.com/patent/WO1998004331A1/en>
- [17]. Gómez-Cruz I, Contreras MdM, Romero I, Castro E. Lower Energy-Demanding Extraction of Bioactive Triterpene Acids by Microwave as the First Step towards Biorefining Residual Olive Skin. *Antioxidants.* 2024; 13(10):1212.
<https://doi.org/10.3390/antiox13101212>
- [18]. Dry olive pomace gasification to obtain electrical energy in a downdraft gasifier. En: *Waste Management and the Environment X. WIT Transactions on Ecology and the Environment.* 2020;247:137-144.
<https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/WM20/WM20013FU1.pdf>

[19]. Aguado R, Escámez A, Jurado F, Vera D. A Comprehensive Experimental Assessment of a Pilot-Scale Gasification Plant Fueled with Olive Pomace Pellets for Combined Electricity, Heat and Biochar Production. SSRN; 2022.

<https://ssrn.com/abstract=4231966>

[20]. Alouiz I, et al. Elaboration of fibrous structured activated carbon from olive pomace by phosphoric acid activation. 2024.

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11533574/>

[21]. Olive Oil Times. Project Turns Olive Waste into Supercapacitors. Olive Oil Times; 2024.

<https://www.oliveoiltimes.com/world/project-turns-olive-waste-into-supercapacitors/133892>

[22]. Olihueso. Precio del hueso de aceituna. Olihueso.

<https://olihueso.es/Inicio/precio-hueso-de-aceituna/>

[23] CITOLIVA. Subproductos del olivar para alimentación animal. Fundación CITOLIVA; 2024.

<https://proyectos.citoliva.es/wp-content/uploads/2024/09/ALIMENTACION-ANIMAL.pdf>