

Financiado por:



Junta de Andalucía

Consejería de Transformación Económica,
Industria, Conocimiento y Universidades



TECNOLOGÍAS DE VALORIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS DEL SECTOR OLEÍCOLA

COMPOSTAJE



Elaborado por:



**CIT
OLIVA**
CENTRO TECNOLÓGICO
DEL OLIVAR Y
EL ACEITE

INDICE

| | | |
|------|---|----|
| 1. | El proceso de compostaje | 3 |
| 1.1. | Sistemas de compostaje..... | 4 |
| 2. | Subproductos de la industria oleícola útiles para el proceso de compostaje | 6 |
| 2.1. | Alperujo..... | 6 |
| 2.2. | Poda y hojín..... | 7 |
| 3. | Industria andaluza dedicada al compostaje de subproductos de la industria oleícola | 8 |
| 4. | Patentes sobre técnicas dedicadas al compostaje de subproductos de la industria oleícola | 10 |
| 5. | Proyectos de investigación sobre compostaje de subproductos de la industria oleícola en Andalucía | 11 |
| 6. | Análisis económico correspondiente a la instalación de una planta de compostaje . | 13 |
| 6.1. | Inversión inicial..... | 13 |
| 6.2. | Costes de Explotación | 14 |
| 6.3. | Ingresos..... | 15 |
| 6.4. | Rentabilidad | 15 |
| 7. | Bibliografía..... | 16 |



1. El proceso de compostaje

Uno de los métodos más empleados a nivel mundial para la gestión de residuos orgánicos con fines agrícolas es el compostaje. En este proceso, la materia orgánica cruda se transforma en productos con valor agrícola de manera controlada y optimizada (Lima et al., 2009).

Se trata de un proceso biooxidativo y biológico, ya que los microorganismos presentes en los residuos son principalmente responsables de la descomposición de la materia orgánica, aunque otros organismos pueden desarrollarse en asociación con ellos (Epstein, 1997). Durante el compostaje, se alcanzan temperaturas elevadas durante períodos prolongados, resultando en la producción de compost, un producto estable, higienizado y libre de sustancias fitotóxicas. Cuando se aplica al suelo, el compost mejora su capacidad de retención de agua, su estructura, estabilidad y permeabilidad (Nardi et al., 2004).

Durante este proceso, se desarrollan dos procesos simultáneos: uno de mineralización, en el cual los materiales son metabolizados hasta convertirse en CO_2 y H_2O ; y otro de humificación, donde se forman moléculas estables que resisten futuros ataques microbianos (Raviv, 2005).

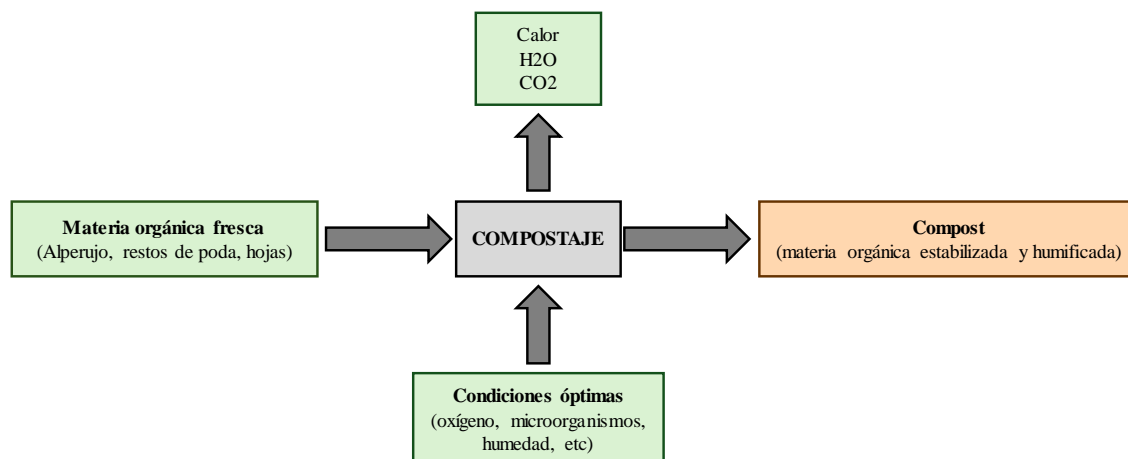


Figura 1. Esquema del proceso compostaje.

La evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje marca las distintas etapas de descomposición de la materia orgánica. Estas etapas son (Moreno Casco y Moral Herrero, 2008):

Etapa mesófila inicial

Se inicia el período de adaptación de los microorganismos al medio. Esta fase, que dura de dos a cuatro días, ocurre sobre sustratos orgánicos heterogéneos que proporcionan nutrientes y agua necesarios para el metabolismo microbiano. La actividad de las primeras bacterias mesófilas comienza a 50°C , cuando la pila comienza a calentarse.

Etapa termófila

La duración de esta etapa varía según el material, desde una semana en sistemas rápidos hasta uno o dos meses en otros casos. Las bacterias termófilas, que aparecen entre 60 y 70°C, descomponen rápidamente la materia orgánica. La alta temperatura reduce la presencia de patógenos y malezas. Al final de esta etapa, la actividad biológica disminuye y el medio se estabiliza.

2ª Etapa mesófila o de enfriamiento

Se inicia una nueva fase mesófila distinta a la inicial, donde predominan microorganismos capaces de degradar compuestos complejos. Aunque el número de bacterias es bajo en esta etapa, presentan una mayor diversidad que en fases anteriores y desempeñan nuevas actividades importantes para la maduración del compost, como la oxidación de la materia orgánica, el hidrógeno, el amonio, los nitritos y los sulfuros, así como la fijación de nitrógeno, entre otras funciones.

Etapa de maduración

Se lleva a cabo un periodo lento de fermentación que puede durar hasta 3 meses, durante el cual se degrada la materia orgánica más resistente. La actividad bacteriana disminuye junto con la temperatura de la pila, generando un compost estable con alto contenido en sustancias húmicas, lo que lo hace inocuo e inodoro. Sin embargo, las características del compost dependen de diversos factores, incluidos los materiales utilizados en su elaboración. El compost contribuye a la recuperación de suelos pobres, ya que aumenta el contenido de materia orgánica y mejora sus propiedades físico-químicas.

1.1. Sistemas de compostaje

El compostaje puede realizarse mediante diversos sistemas, los cuales suelen clasificarse según el grado de aislamiento del material compostado con respecto al entorno exterior. Esto permite el suministro de oxígeno para la aireación, el control de la temperatura y la humedad. Estos sistemas se dividen en abiertos, semi-cerrados y cerrados (Abad y Puchades, 2002; Costa et al., 1991; Saña y Soliva, 1987; Soliva, 2001) (Figura 2).



Sistema de compostaje abierto



Sistema de compostaje semi-cerrado



Sistema de compostaje cerrado

Figura 2. Distintos sistemas de compostaje.

Sistemas abiertos

como las pilas y las trincheras, son los más comúnmente utilizados debido a su bajo costo y a la sencillez de su tecnología. En estos sistemas, una vez que el material es homogeneizado, se extiende en eras, pilas, mesetas o zanjas de dimensiones variables. Los métodos de manejo del material también pueden variar, siendo el más común la aireación mediante volteos periódicos, conocido como sistema dinámico. Esta técnica de compostaje se caracteriza por el volteo periódico de la pila, con el objetivo de homogeneizar la mezcla y regular la temperatura. Este procedimiento también ayuda a reducir la temperatura, controlar la humedad y aumentar la porosidad de la pila, mejorando así la ventilación. Tras cada volteo, la temperatura de la pila disminuye entre 5 y 10°C, elevándose nuevamente si el proceso aún no ha concluido. La frecuencia de los volteos depende del tipo de material, la humedad y la rapidez deseada para completar el proceso, siendo común realizar un volteo cada 6 a 10 días. Habitualmente, se utilizan controles automáticos de temperatura, humedad y oxígeno para determinar el momento óptimo para efectuar el volteo. Generalmente, estos volteos se realizan con una pala cargadora, recogiendo y soltando el material para luego reconstruir la pila. Menos frecuente es la aireación pasiva o forzada, denominada sistema estático. En este último tipo de sistemas, se dispone una red de tuberías perforadas distribuidas por todo el terreno y por debajo de la pila de residuos a compostar. A través de estas tuberías, se inyecta aire (sistema Rutgers) o se aspiran los gases resultantes (sistema Beltsville). También existen sistemas mixtos que combinan ambos métodos de aireación (Pérez y Morales, 2008).

Sistemas semi-cerrados

el conjunto de operaciones que se llevan a cabo se realiza dentro de una gran nave cubierta y cerrada, que dispone de un sistema de extracción de gases por tuberías colocadas a lo largo del techo. La atmósfera interior, viciada por los gases de la masa de

residuos en descomposición, es tratada por medio de biofiltros. El sistema más conocido es el realizado por medio de trincheras o calles en las que el material se coloca entre muretes longitudinales y es volteado por distintos procedimientos como son cargador de vagones portátiles, volteadores de hileras, etc. (Pérez y Morales, 2008).

Sistemas cerrados

El material a compostar nunca está en contacto con el exterior, requiriéndose diferentes instalaciones y equipos que contengan los residuos e intenten controlar el entorno del compostaje en contenedores, reactores o túneles, así como conductos, turbinas, etc. Los sistemas cerrados más habituales son los túneles con circulación de aire y los digestores aerobios, tales como lechos horizontales agitados, contenedores aireados-agitados, reactores torre o silos, y reactores de tambor rotativo, principalmente (Pérez y Morales, 2008). El material que sale de los sistemas cerrados pasa un periodo posterior de maduración controlada, utilizando diversos sistemas: pilas con volteo, túneles de maduración, etc. (Pérez y Morales, 2008).

Aunque los sistemas cerrados necesitan equipos de aireación, riego, estanqueidad y control más complejos, y requieren, por tanto, mayor inversión inicial y costes de mantenimiento que los sistemas abiertos, presentan una serie de ventajas como son: la reducción de los posibles impactos ambientales; un mejor control del proceso, lixiviados y malos olores; menor necesidad de espacio; producción de compost más homogéneos; y reducción del riesgo sanitario para los trabajadores (Soliva, 2001).

2. Subproductos de la industria oleícola útiles para el proceso de compostaje

En Andalucía, el compostaje suele llevarse a cabo en pequeñas o medianas plantas de compostaje. De hecho, las plantas de compostaje suelen construirse en terrenos cercanos a las almazaras y, en su mayoría, emplean el sistema de pilas abiertas. Los subproductos del olivar mayormente empleados en el proceso de compostaje se indican a continuación.

2.1. Alperujo

El alperujo es el subproducto de la industria del olivar más utilizado en el proceso de compostaje (Albuquerque et al., 2006; Albuquerque et al., 2009).

La aplicación directa del alperujo como enmienda orgánica en la agricultura podría ocasionar serios problemas ambientales en los suelos o aguas superficiales debido a su contenido de compuestos fenólicos, lípidos y ácidos orgánicos, los cuales son fitotóxicos. Y es que la estabilidad de las enmiendas orgánicas es crucial para su incorporación al suelo (Nicolás et al., 2012). De hecho, el [Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes](#) indica que sólo los alperujos que hayan sido sometidos a un proceso de secado o hayan sido compostados, podrán emplearse como enmienda del suelo agrícola.



Por lo tanto, si el alperujo se somete a un tratamiento adecuado, puede ser utilizado en la agricultura como compost ecológico de alta calidad. En condiciones controladas, el compostaje produce una materia orgánica estabilizada enriquecida con sustancias húmicas y libre de compuestos fitotóxicos y patógenos. Además, permite una mayor persistencia del carbono orgánico de las enmiendas en el suelo (Bernal et al., 1998). Por lo tanto, el alperujo compostado se trata de un valioso acondicionador orgánico del suelo.

2.2. Poda y hojín

Para mejorar la estructura del alperujo en el compostaje, se requiere la adición de agentes de carga. Se utilizan diversos materiales, algunos de ellos asociados a la industria del olivar, como restos de poda y hojín, y otros derivados de diferentes industrias (estiércol animal, paja, gallinaza, raspón de uva, residuos de algodón, etc.) (Alburquerque et al., 2006; Alfano et al., 2008; de la Fuente et al., 2011; Baeta-Hall et al., 2005; Cayuela et al., 2010).

La proporción en que se mezclan estos materiales es variable (Tabla 1) y afecta a la calidad del compost resultante (Tabla 2). El propósito de los agentes de carga es reducir el exceso de humedad y mejorar la aireación de la mezcla (Rueda et al., 2022). Al seleccionar los materiales para las mezclas, es importante considerar su disponibilidad y costo, así como su contenido de humedad y tamaño de partícula (Baeta-Hall et al., 2005).

Tabla 1. Porcentaje de materias primas empleadas para la elaboración de los tipos de compost más comunes (García-Ortiz-Civantos, 2016).

| Tipos de compost | Materias primas | | | | | | |
|--|--------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|-------|--------|
| | Estiércol de oveja | Estiércol de caballo | Alperujo nuevo | Alperujo viejo | Restos de poda | Hojín | Urea |
| Alperujo viejo y estiércol de oveja. | 50% | | | 50% | | | |
| Alperujo nuevo y estiércol de oveja. | 67% | | 33% | | | | |
| Alperujo nuevo, estiércol de caballo y urea. | | 67% | 33% | | | | 14kg/t |
| Alperujo nuevo, estiércol de oveja y restos de poda. | 60% | | 20% | | 20% | | |
| Alperujo nuevo, hojín y urea. | | | | | | 29% | 9 kg/t |

La fragmentación del material en el compostaje es crucial, ya que aumenta la superficie expuesta al ataque microbiano por unidad de masa, acelerando así el proceso. Se ha observado que la velocidad del proceso se duplica al desmenuzar el material, ya que las partículas más pequeñas ofrecen una mayor superficie de contacto para la acción de los microorganismos. Además, esto reduce el espacio entre las partículas y aumenta las

fuerzas de fricción, lo que limita la difusión de oxígeno hacia el interior y de dióxido de carbono hacia el exterior (Moreno Casco y Moral Herrero, 2008).

Los valores óptimos de tamaño de partícula varían según diferentes autores, generalmente oscilando entre 1 y 5 cm, entre 2 y 5 cm, o entre 2,5 y 2,7 cm.

El concepto de Espacio de Aire Libre (Free Air Space, FAS) también influye en la rapidez del compostaje. Se ha observado que el proceso ocurre con mayor velocidad (y, por lo tanto, un mayor consumo de oxígeno) cuando el valor de FAS se sitúa entre el 30% y el 35%, independientemente del tipo de residuo (Moreno Casco y Moral Herrero, 2008).

Tabla 2. Características de los 4 compost comúnmente empleados. (Fernández Hernández, et al., 2015).

| | ANEO | AVEO | ANEC | ANEORP |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Humedad (%) | 12,6±1,60 | 10,8±1,40 | 12,4±0,80 | 13,7±2,10 |
| pH | 8,7±0,2 | 9,1±0,1 | 8,3±0,4 | 8,9±0,4 |
| CE (ds m ⁻¹) | 5,3±0,3 | 4,1±0,4 | 4,6±0,3 | 5,7±0,8 |
| MO (g kg ⁻¹) | 427±61,0 | 403±80,0 | 396±58,3 | 521±51,1 |
| COT (g kg ⁻¹) | 244±27,2 | 223±22,0 | 233±36,3 | 279±18,2 |
| Polifenoles Totales (%) | 0,19±0,03 | 0,13±0,01 | 0,05±0,01 | 0,16±0,03 |
| IG (%) | 82±3,2 | 82±4,0 | 84±3,2 | 92±1,1 |
| C/N | 15,6±1,40 | 16,1±3,33 | 17,8±0,81 | 19,2±3,50 |
| N Total (%)* | 1,73±0,15 | 1,63±0,14 | 1,47±0,14 | 1,60±0,21 |
| P (%)* | 0,40±0,02 | 0,30±0,07 | 0,33±0,06 | 0,40±0,06 |
| K (%)* | 2,70±0,57 | 2,43±0,14 | 1,83±0,07 | 3,37±0,07 |
| Ca (%)* | 14,1±1,40 | 14,2±2,82 | 13,2±2,41 | 12,0±1,41 |
| Mg (%)* | 1,20±0,21 | 1,00±0,21 | 1,07±0,12 | 1,37±0,19 |
| Na (%)* | 1,00±0,14 | 0,90±0,07 | 1,03±0,18 | 1,03±0,14 |
| Fe (g kg ⁻¹)* | 3,13±0,64 | 3,87±0,92 | 2,87±0,07 | 2,90±0,35 |
| Cu (mg kg ⁻¹)* | 120±7,2 | 104±10,5 | 37±2,8 | 88±4,3 |
| Zn (mg kg ⁻¹)* | 57±2,1 | 53±3,6 | 44±9,0 | 58±6,8 |
| Mn (mg kg ⁻¹)* | 158±30,0 | 143±27,5 | 146±27,6 | 141±24,1 |

ANEO (Alperujo fresco + Estiércol de oveja), AVEO (Alperujo seco + Estiércol de oveja), ANEC (Alperujo fresco + Estiércol de caballo + urea), ANEORP (Alperujo fresco + Estiércol de oveja + Restos de poda), CE (conductividad eléctrica), MO (materia orgánica), COT (carbono orgánico total), IG (índice de germinación). * Resultados expresados sobre materia seca.

3. Industria andaluza dedicada al compostaje de subproductos de la industria oleícola

El compostaje del alperujo surgió a raíz de la paradoja que se daba en el olivar ecológico. Por un lado, se necesitaban productos adecuados para fertilizar y enmendar orgánicamente los suelos, lo que representaba una inversión considerable debido a los precios relativamente altos de estos productos. Por otro lado, las almazaras, cuando estaban alejadas de las orujeras o plantas de valorización energética, debían asumir

parcialmente los costos de transporte de los alperujos hacia estas instalaciones (de la Puente et al., 2010).

A partir de los resultados obtenidos y difundidos por distintos grupos de investigación (de la Puente, 2006) sobre el compostaje de alperujos, algunas almazaras comenzaron a realizar experiencias previas de compostaje y solicitaron apoyo a las autoridades para implementarlas. La Junta de Andalucía ha estado haciendo un esfuerzo considerable para promover este compostaje, inicialmente en las almazaras con certificación ecológica para fomentar su uso en los olivares asociados, y posteriormente, también en las almazaras y olivares de producción integrada y convencional.

Las principales empresas dedicadas a la producción de compostaje son los siguientes (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2023):

Tabla 3. Principales empresas dedicadas a la producción de compostaje en Andalucía.

| CIF | Razón Social | Domicilio | Teléfono | CP | Municipio | Provincia |
|-----------|---|---|-----------|-------|----------------------|-----------|
| B04205001 | Agrícola García S.L. | Calle San Sebastián, nº 5 | 950477252 | 04271 | Lubrín | Almería |
| F72197692 | Nuestra Señora De Los Remedios-Picasat S.C.A. | Avenida Manuel De Falla, S/N | 956130083 | 11690 | Olvera | Cádiz |
| B14668305 | Ingnia S.L. | Calle Camino De Los Sastres, nº 22 | 957944885 | 14004 | Córdoba | Córdoba |
| B18477620 | Almazara Casería De La Virgen S.L. | Lugar Casería De Nuestra Señora De Las Angustias, S/N | 958340325 | 18350 | Íllora | Granada |
| B02652055 | Compost Del Campo S.L. | Avenida De Granada, nº 12 | 958102256 | 18800 | Baza | Granada |
| F23671316 | Oleícola Valdepeñas De Jaén S.coop. Andaluza | Avenida Andalucía, nº 35 | 953310042 | 23150 | Valdepeñas de Jaén | Jaén |
| F23009046 | S.C.A. San Isidro | Calle Orcera, nº 9 | 953530044 | 23485 | Pozo Alcón | Jaén |
| A23040371 | La Aceitería S.A. | Carretera JA-3414. Km, 3 | 610768794 | 23650 | Torredonjimeno | Jaén |
| F23007990 | S.C.A. Nuestra Señora De Los Remedios | Calle Nuestra Señora De Los Remedios, nº 24 | 953707004 | 23669 | Alcaudete | Jaén |
| B23615628 | Fertilizantes Megahumiter S.L. | Camino Cañada Baeza, S/N | 629780050 | 23710 | Bailén | Jaén |
| B14514301 | Llano Del Pintado S.L. | Finca Castillo De Monclova | 955907312 | 41420 | Fuentes de Andalucía | Sevilla |
| F41185117 | Oleoestepa S.C.A. | Poligono Industrial Sierra Sur, S/N | 955913154 | 41560 | Estepa | Sevilla |

4. Patentes sobre técnicas dedicadas al compostaje de subproductos de la industria oleícola

Tabla 4. Principales patentes sobre técnicas dedicadas al compostaje de subproductos de la industria oleícola.

| N.º de publicación | Título | Solicitantes | Inventores | Descripción | Fecha de publicación |
|--------------------|--|---------------------------------------|--|---|----------------------|
| ES1294825 | Composición prebiótica agrícola | Kimitec Biogroup S.L. | Félix García Moreno; Efrén Remasal González; Carlos Carricajo Fernández; Antonio García González; Ginés Navarro Moreno | Una composición prebiótica agrícola que consiste en los siguientes componentes: 45% de glicerina, 7% de Lisina, 2% de compost de olivo, 2% de melaza, y se añade agua hasta alcanzar el 100% de la composición. | 07/10/2022 |
| ES2329643 | <i>Pseudomonas sp.</i> Pme 707 (cect 7314) degradador de residuos oleosos de la industria alimentaria y hostelera, y procedimiento para su aplicación. | Fundación Universitaria San Pablo CEU | Pedro Antonio Jiménez Gómez; Francisco Llinarel Pinell; José Esteban García De Los Rios | Cepa bacteriana <i>Pseudomonas sp</i> Pme 707 (CECT 7314), caracterizada por su capacidad degradadora de la fracción acuosa-oleosa de los residuos oleosos de la industria alimentaria y hostelera, debido a su capacidad estimulante del crecimiento vegetal para formación de compost. Esta cepa ha sido aislada y caracterizada para ser utilizada en el tratamiento biológico de los efluentes oleosos componentes de dichos residuos, generados durante el proceso de elaboración del aceite de oliva y otros aceites vegetales. | 10/04/2008 |

5. Proyectos de investigación sobre compostaje de subproductos de la industria oleícola en Andalucía

Tabla 5. Principales proyectos de investigación sobre el compostaje de subproductos de la industria oleícola en Andalucía.

| Nombre del proyecto | Entidades | Investigadores | Descripción | Fecha de ejecución |
|---------------------|---|--|---|-------------------------|
| AGRO-VAL | Estación Experimental Cajamar ¹ ; AIMPLAS (Asociación De Investigación de Materiales Plásticos Y Conexas); Universidad de Santiago De Compostela; Alhóndiga La Unión S.A.; Industria Sevillana Reciclaje de Plásticos S.L.; Castillo de Canena S.L.; Plásticos Industriales y comerciales de Alfarrasi, S.L.; Plásticos Ferrando S.L.; Tratamiento y organización de Técnicas en equipamientos múltiples S.L.; | Miguel Ángel Domene Ruiz ¹ ; Mariló Segura Rodríguez ¹ | Desarrollar nuevos productos de plasticultura, a partir de subproductos agrícolas tales como restos vegetales del cultivo del olivar, residuos hortofrutícolas y films agrícolas. | Abril 2023 - abril |
| OLEOVALORIZA | Universidad de Granada ¹ ; Estación Experimental Zaidín -CSIC ² ; S.C.A. Cooperativa Agrícola San Isidro De Loja; Instituto de Desarrollo Regional; Cooperativas Agroalimentarias de Andalucía; | José Antonio Camacho Ballesta ¹ ; Rogelio Nogales ² | Aprovechamiento de los efluentes de las balsas (lodos) y los residuos de olivar para la producción de fertilizante agrícola de calidad diferenciada. | Enero 2018 - Actualidad |

| | | | | |
|---|---|--|--|------------------------------|
| | Consejo Andaluz de Colegios Oficiales De Ingenieros Técnicos Agrícolas | | | |
| La revalorización y gestión de subproductos de la industria del aceite de oliva virgen | Centro IFAPA Venta Del Llano ¹ ; CEBAS-CSIC ² | Antonia Fernández-Hernández ¹ ; Concepción García-Ortiz Civantos ¹ ; Asunción Roig ² ; Nuria Serramiá ² ; Miguel A. Sánchez-Monedero ² | Desarrollo de un método para la elaboración de un fertilizante orgánico adecuado para el suelo agrícola, utilizando principalmente alperujo. | Enero 2009-marzo 2014 |
| GREENAPP | Citoliva ¹ ; BTM Simbiosis ² ; Diputación Provincial de Jaén ³ ; Centro Tecnológico Metalmecánico y del Transporte (CETEMET) ⁴ ; S.C.A. Oleícola Valdepeñas De Jaén | Rocío Córdoba ¹ ; Raquel Costales ¹ ; Victor Díaz ² ; José Antonio La Cal ³ ; Juan Antonio Cordón ⁴ ; Francisco Javier Gracia ⁴ ; Carlos Sevilla Asenso ⁴ | Transformar una planta de compostaje de alperujo basada en medios de compostaje tradicionales (mezcla de éste con otras materias primas), en una planta industrial que pueda procesar una gran cantidad de alperujo y en menor tiempo. | Septiembre 2022- agosto 2024 |
| Reutilización de subproductos y reducción de residuos y emisiones de las almazaras andaluzas (ORULAND) | Centro IFAPA Venta Del Llano | Juan Castro Rodríguez; José Antonio García Mesa, Juan Cano Rodríguez, Concepción García - Ortiz Civantos, Antonia Fernández Hernández | Realizar actividades de demostración e información para reutilizar subproductos y reducir residuos y emisiones de las almazaras en Andalucía. Entre las actividades se incluyen la experimentación y demostración de técnicas de compostaje optimizadas y el manejo de suelos en olivar mediante la aplicación de compost de alperujo. | Enero 2023 - junio 2025 |

6. Análisis económico correspondiente a la instalación de una planta de compostaje

Para realizar el análisis económico asociado a la instalación de una planta de compostaje, se han de tener en cuenta tanto los costes como los ingresos relacionados con la producción de compost. De este modo, se puede estimar el margen comercial de esta alternativa de valorización de subproductos de la industria oleícola.

Los costes pueden dividirse en fijos y variables. Los costes fijos se corresponden a inversiones en activos que no se consumen en un único ciclo productivo y que son independientes del nivel de producción (inversión necesaria para crear las instalaciones). Por otro lado, los costes variables incluyen a aquellos que pueden ajustarse en función del volumen de producción (materias primas, energía, coste de personal, etc.).

Polonio et al. (2024) realizaron un análisis de la rentabilidad económica de una planta de compostaje asociada a una almazara andaluza promedio. Para ello, consideraron que esta procesaba anualmente unas 5.000 toneladas de aceituna y, por tanto, producía unas 4.050 toneladas de alperujo y 468 toneladas de hojín al año; valores promedio de las almazaras en Andalucía.

A continuación, se recoge el análisis económico detallado de los costos de inversión inicial, los costos operativos anuales, así como la rentabilidad de un proyecto de este tipo (Polonio et al., 2024).

6.1. Inversión inicial

La inversión inicial total para establecer una planta de compostaje en una almazara de tamaño promedio se estima en 847,852€. Este costo incluye varios componentes esenciales:

Tabla 6. Inversión inicial para establecer una planta de compostaje en una almazara andaluza de tamaño promedio (Polonio et al., 2024).

| Concepto | Valor (€) | Porcentaje (%) | Coefficiente de Amortización Anual (%) |
|-------------------------|------------------|-----------------------|---|
| Movimiento de tierras | 51.425 | 7,2 | 1,3 |
| Solera de hormigón | 371.293 | 52,1 | 4,0 |
| Canalizaciones | 14.557 | 2,0 | 6,7 |
| Cerramientos | 13.304 | 1,9 | 6,7 |
| Balsa de lixiviados | 47.317 | 6,6 | 6,7 |
| Maquinaria | 62.382 | 8,8 | 7,7 |
| Grupo de bombeo y riego | 31.661 | 4,4 | 6,7 |
| Nave de almacenamiento | 112.664 | 15,8 | 2,0 |
| Seguridad y salud | 7.878 | 1,1 | 3,3 |

| | | | |
|--------------------------------|----------------|-------|--|
| Subtotal | 712,48 | 100,0 | |
| Costes generales (13%) | 92,622 | | |
| Beneficio industrial (6%) | 42,749 | | |
| Total Inversión Inicial | 847,852 | | |

6.2. Costes de Explotación

Los costos de explotación anuales incluyen tanto costos fijos como variables. Estos costos son esenciales para mantener la operación de la planta de compostaje:

Tabla 7. Costes anuales de la planta de compostaje de alperujo (Vega, 2011; Lozano et al., 2017; Polonio et al., 2024).

| Concepto | Valor absoluto (€) | (%) | Valor unitario (€/t) |
|---|--------------------|-------------|----------------------|
| Costes fijos | | | |
| Amortización de las inversiones en activos fijos | 34.144 | 16,6 | |
| Renta de la tierra | 395 | 0,2 | |
| Costes de seguros | 3.000 | 1,5 | |
| Costes de gestión y administración | 1.000 | 0,5 | |
| Total de costes fijos | 40.122 | 19,5 | 12,07 |
| Costes variables | | | |
| Consumo del alperujo (coste de oportunidad) | 43.740 | 21,2 | |
| Consumo de estiércol | 39.906 | 19,4 | |
| Consumo de combustible | 39.422 | 19,1 | |
| Coste de mano de obra directa | 31.269 | 15,2 | |
| Costes de mantenimiento y reparación de la maquinaria | 7.869 | 3,8 | |
| Coste de energía eléctrica | 3.339 | 1,6 | |
| Coste de analíticas para el control de la producción | 354 | 0,2 | |
| Total de costes variables | 165.898 | 80,5 | 49,91 |
| Total de costes | 206.020 | 100 | 61,98 |

Los principales costos variables incluyen el consumo de alperujo, estiércol y combustible, que juntos representan más del 50% del costo total de operación. La mano de obra directa y otros costos variables también tienen un impacto significativo en los costos totales.

6.3. Ingresos

Tabla 8. Ingresos anuales de la planta de compostaje de alperujo (Vega, 2011; Lozano et al., 2017; Polonio et al., 2024).

| Concepto | Valor (€) | Porcentaje (%) | Valor unitario (€/t) |
|------------------|-----------|----------------|----------------------|
| Venta de compost | 193.910 | 100 | 58,33 |

Se estima que la venta del compost puede generar en una almazara de tamaño promedio unos 193.910€ ingresos anuales, lo que implica un precio de venta de 58,33 €/t.

6.4. Rentabilidad

La rentabilidad del proyecto se analiza considerando los costos de producción y los ingresos por la venta del compost:

Tabla 9. Margen comercial de la planta de compostaje de alperujo (Vega, 2011; Lozano et al., 2017; Polonio et al., 2024).

| Concepto | Valor (€) |
|------------------------------------|--------------|
| Coste producción compost (€/t) | 61,98 |
| Ingreso por venta de compost (€/t) | 58,33 |
| Margen Comercial (€/t) | -3,64 |

Bajo las condiciones actuales, el margen comercial es negativo (-3.64 €/t), indicando que el costo de producción es mayor que el ingreso por venta del compost. Sin embargo, si no se considera el costo de oportunidad de la venta del alperujo, el margen comercial se vuelve positivo (+9.52 €/t).

El costo de oportunidad de la venta del alperujo se refiere al valor económico que se deja de percibir al utilizar el alperujo como insumo para el compostaje en lugar de venderlo a las extractoras de aceite. Este costo es crucial para evaluar la verdadera rentabilidad del proyecto de compostaje, ya que afecta directamente el margen comercial. Si el alperujo se vende, la almazara obtiene un ingreso directo; al utilizarlo para el compostaje, se pierde ese ingreso potencial, razón por lo que se ha considerado en el análisis económico.

El análisis financiero muestra que el compostaje de subproductos oleícolas en una planta instalada en una almazara de tamaño promedio en Andalucía no es rentable bajo las condiciones actuales. Sin embargo, ajustando ciertos factores como el costo de oportunidad y obteniendo apoyo público, la rentabilidad del proyecto puede mejorar significativamente. Además, las externalidades positivas del compostaje justifican el apoyo y la inversión en esta práctica, alineándose con los principios de la bioeconomía circular y la sostenibilidad.

7. Bibliografía

- Abad, M., & Puchades, R. (2002). Compostaje de residuos orgánicos generados en la hoya de Buñol (Valencia) con fines hortícolas. Asociación para la promoción socioeconómica interior Hoya de Buñol, Valencia.
- Albuquerque, J. A., González, J., García, D., & Cegarra, J. (2006). Measuring detoxification and maturity in compost made from "alperujo", the solid by-product of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system. *Chemosphere*, 64(3), 470-477.
- Albuquerque, J. A., González, J., Tortosa, G., Baddi, G. A., & Cegarra, J. (2009). Evaluation of "alperujo" composting based on organic matter degradation, humification and compost quality. *Biodegradation*, 20, 257-270.
- Alfano, G., Belli, C., Lustrato, G., & Ranalli, G. (2008). Pile composting of two-phase centrifuged olive husk residues: technical solutions and quality of cured compost. *Bioresource Technology*, 99(11), 4694-4701.
- Baeta-Hall, L., Sàágua, M. C., Bartolomeu, M. L., Anselmo, A. M., & Rosa, M. F. (2005). Bio-degradation of olive oil husks in composting aerated piles. *Bioresource technology*, 96(1), 69-78.
- Bernal, M. P., Sanchez-Monedero, M. A., Paredes, C., & Roig, A. (1998). Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 69(3), 175-189.
- Cayuela, M. L., Sánchez-Monedero, M. A., & Roig, A. (2010). Two-phase olive mill waste composting: enhancement of the composting rate and compost quality by grape stalks addition. *Biodegradation*, 21, 465-473.
- Costa, F., García, C., Hernández, T., & Polo, A. (1991). Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (Sebas). Murcia, España.
- de la Fuente, C., Clemente, R., Martínez-Alcalá, I., Tortosa, G., & Bernal, M. P. (2011). Impact of fresh and composted solid olive husk and their water-soluble fractions on soil heavy metal fractionation; microbial biomass and plant uptake. *Journal of Hazardous Materials*, 186(2-3), 1283-1289.
- de la Puente, J. M. A. (2006). Estudio sobre mezclas óptimas de material vegetal para compostaje de alperujos en almazaras ecológicas y caracterización físico química de los compost producidos. DGPE. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.[En línea].
- de la Puente, J. M. Á., Ruiz, R. G., Arana, J. J., & Perez, A. M. (2010). Compostaje de alperujos en Andalucía. *Fertilidad de la tierra: revista de agricultura ecológica*, (41), 12-14.
- Epstein, E. (2017). *The science of composting*. CRC press.

- Lima, D. L., Santos, S. M., Scherer, H. W., Schneider, R. J., Duarte, A. C., Santos, E. B., & Esteves, V. I. (2009). Effects of organic and inorganic amendments on soil organic matter properties. *Geoderma*, 150(1-2), 38-45.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2023). Sección VII: P. De Compostaje.
- Moreno Casco, J., & Moral Herrero, R. (2008). *Compostaje*. Mundi-Prensa Libros.
- Nardi, S., Morari, F., Berti, A., Tosoni, M., & Giardini, L. (2004). Soil organic matter properties after 40 years of different use of organic and mineral fertilisers. *European Journal of Agronomy*, 21(3), 357-367.
- Nicolás, C., Masciandaro, G., Hernández, T., & Garcia, C. (2012). Chemical-structural changes of organic matter in a semi-arid soil after organic amendment. *Pedosphere*, 22(3), 283-293.
- Polonio D., Villanueva A.J., Gómez-Limón J.A. (2024). Rentabilidad del compostaje del alperujo como una alternativa bioeconómica. ITEA-Información Técnica Económica Agraria.
- Pérez, A., & Morales, J. (2008). Aspectos técnicos en el desarrollo y control del proceso de compostaje. *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa, 141-164.
- Raviv, M. (2005). Production of high-quality composts for horticultural purposes: A mini-review. *HortTechnology*, 15(1), 52-57.
- Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-7540>
- Rueda, M. P., Comino, F., Aranda, V., Domínguez-Vidal, A., & Ayora-Cañada, M. J. (2022). Analytical pyrolysis (Py-GC-MS) for the assessment of olive mill pomace composting efficiency and the effects of compost thermal treatment. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 168, 105711.
- Saña, J., & Soliva, M. (1987). *El compostatge: procés, sistemes i aplicacions*. Diputació, Servei del Medi Ambient.
- Soliva, M. (2001). *Compostatge i gestió de residus orgànics*. Diputació Barcelona, Àrea de Medi Ambient.
- García-Ortiz-Civantos, C. (2016). Aprovechamiento del alperujo como enmienda orgánica en el olivar.
- Fernández Hernández, A, Vega Humanes, M., García-Ortiz Civantos, C. (2015). Diez Años de Aplicación de "Compost de Alperujo" en Olivar, Córdoba, Andalucía: junta de Andalucía. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (1-15).
- Lozano, D., Ayuso, J., & López, M. (2017). Proyecto de ejecución de planta de compostaje de alperujo en Campillos (Malaga). *Universidad de Cordoba, Cordoba, España*.
- Vega M. (2011). Viabilidad de plantas de compostaje, y potencial uso agrícola del compost de alperujo producido, en almazaras del grupo Oleoestepa. *Aplicación al caso de Arbequissur S.C.A*. Universidad de Sevilla, Sevilla, España. 140 pp.