



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Escuela Politécnica Superior de Jaén

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

Alumno: Rosa Messía Espinosa de los Monteros

Tutor: D. José Antonio La Cal Herrera

Dpto: Organización de Empresas, Marketing y Sociología

Junio, 2021

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVOS	5
3. LEGISLACIÓN APLICABLE	6
3.1. Código del sector del aceite	6
3.2. Otras leyes	6
4. SITUACIÓN ACTUAL	7
4.1. Compostaje	8
4.2. Secado y valorización energética.....	10
4.3. Extracción de aceite de orujo	12
4.4. Inconvenientes comunes de las alternativas actuales.	16
5. SOLUCIONES ALTERNATIVAS	17
5.1. Cambios en las aplicaciones actuales	17
5.1.1. Secado en almazara	17
5.1.2. Transporte.....	19
5.2. Otras aplicaciones.....	20
5.2.1. Uso de los compuestos presentes en el alperujo	20
5.2.2. Producción de biogás.....	22
5.2.3. Fabricación de material de construcción	24
5.2.4. Alperujo para alimentación animal	25
5.2.5. Investigación	26
5.3. Evaluación de las alternativas viables.....	26
6. CONCLUSIÓN	28
7. BIBLIOGRAFÍA	29
ANEXO I: TRANSPORTE ALPERUJO	33

Índice de tablas

<i>Tabla 1</i>	7
<i>Tabla 2</i>	7
<i>Tabla 3</i>	27
<i>Tabla 4</i>	33

Índice de Ilustraciones

<i>Ilustración 1: Olivos. Fuente: elpais.com</i>	4
<i>Ilustración 2: Compost. Fuente: www.agromatic.es</i>	8
<i>Ilustración 3: Proceso de valorización energética del alperujo. Elaboración propia</i>	10
<i>Ilustración 4: Esquema del proceso de extracción del aceite de orujo. Elaboración propia ..</i>	12
<i>Ilustración 5: camión basculante para alperujo. Fuente: transportesmiguel.es</i>	13
<i>Ilustración 6: Balsa de alperujo. Fuente: municipiosdelolivo.wordpress.com</i>	13
<i>Ilustración 7: Nanopartículas de hierro de Smallops. Fuente: https://smallops.eu/</i>	21
<i>Ilustración 8: Producción de biogás. Fuente: www.renovablesverdes.com</i>	22
<i>Ilustración 9: Orujillo. Fuente: https://innergy-global.com/.....</i>	25

1. INTRODUCCIÓN

En 2020 España pasó a ser el mayor productor de aceite de oliva con el 49% de la producción a nivel mundial (levante-emv, 2020). Esto se debe a que gran parte de la superficie nacional está ocupada por el cultivo del olivo, que, dicho sea de paso, da trabajo a olivareros, así como a muchos otros trabajadores de sectores industriales íntimamente ligados al cultivo de esta especie: almazaras, orujeras, transportistas y envasadoras.

En la comunidad autónoma de Andalucía, sólo el cultivo de esta especie ocupa el 26% de la producción agraria y genera un 32% de empleo en el sector agrario. Además, el olivo forma parte indeleble de la cultura y del paisaje de la comunidad. (Junta de Andalucía)



Ilustración 1: Olivos. Fuente: elpais.com

En la ilustración 1 se observa un campo de olivos de la provincia de Jaén.

El olivar tiene como productos principales el aceite de oliva y la aceituna de mesa, sin embargo, sólo entre un 18 y un 23% del peso total de la aceituna recogida se convierte finalmente en el preciado oro líquido. El resto, hueso y orujo grasoso y húmedo fundamentalmente, suelen ser valorizados, quedando como residuos del proceso el agua residual de limpieza del fruto y de la propia almazara, así como la de lavado del aceite, y, en algunas ocasiones, ramas y hojas del proceso de limpieza de la aceituna.

El alperujo, en concreto, es la fracción de la aceituna que queda tras el proceso de producción del aceite. Se denomina también orujo de dos fases, dado que está formado por una parte líquida, en la que conviven agua y aceite, y una parte sólida, consistente en restos de piel, pulpa y hueso.

Campaña tras campaña, 3.011.462 toneladas de alperujo se producen como consecuencia de la molturación de la aceituna. Esto no sólo supone un problema logístico a la hora de gestionar el recurso, sino también medioambiental, debido a algunos de sus componentes que hacen del alperujo un material altamente contaminante. (La Cal Herrera, 2017)

El gran volumen de este subproducto, sumado a la falta de capacidad de las almazaras para su gestión, plantea la necesidad de encontrar una solución para sacar el máximo provecho a dicho subproducto.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es plantear diferentes alternativas para el aprovechamiento del alperujo como subproducto principal en las almazaras, describiendo ventajas e inconvenientes de cada una y elegir la solución más idónea en base a criterios de rentabilidad, sostenibilidad y competitividad.

3. LEGISLACIÓN APLICABLE

3.1. Código del sector del aceite

En este código se incluyen las normas que rigen la totalidad del sector del aceite de oliva. (J.M. Caballero Lozano, 2021)

En concreto, se destacan las siguientes leyes:

- Ley 5/2011, de 6 de octubre, del olivar de Andalucía.
- Ley 6/2020, de 18 de junio, de protección, conservación y puesta en valor de los olivos y olivares monumentales.
- Ley 12/2013, de 2 de agosto, de medidas para mejorar el funcionamiento de la cadena alimentaria
- Real Decreto 227/2014, de 4 de abril, por el que se aprueba el Estatuto de la Agencia de Información y Control Alimentarios.
- Real Decreto 3000/1979, de 7 de diciembre, sobre regulación de procesos industriales en el sector del aceite de oliva.
- Real Decreto 1882/1978, de 26 de julio, sobre canales de comercialización de productos agropecuarios y pesqueros para la alimentación.
- Real Decreto 2551/1986, de 21 de noviembre, por el que se regula la elaboración y comercialización de “aceite de orujo refinado y de oliva”.
- Real Decreto 1431/2003, de 21 de noviembre, por el que se establecen determinadas medidas de comercialización en el sector de los aceites de oliva y del aceite de orujo de oliva.
- Orden ECO/3235/2002, de 5 de diciembre, por la que se desarrollan las especialidades aplicables a los mercados secundarios oficiales de futuros y opciones sobre el aceite de oliva.

3.2. Otras leyes

- Ley 5/2011, de 6 de octubre, del olivar de Andalucía. (Junta de Andalucía, 2011)
- Decreto 103/2015, de 10 de marzo, por el que se aprueba el Plan Director del Olivar. (Junta de Andalucía, 2015)

4. SITUACIÓN ACTUAL

Hasta ahora, la mayor fuente de beneficio en el sector del alperujo ha ido íntimamente ligada a la obtención del aceite de orujo.

EVOLUCIÓN NACIONAL POR CATEGORIA	Semana 02 de las últimas 5 campañas				
	2016/02	2017/02	2018/02	2019/02	2020/02
Aceite de oliva virgen extra	326,49	350,35	361,98	271,96	218,38
Aceite de oliva virgen	314,66	341,95	352,17	246,07	179,27
Aceite de oliva lampante	299,89	331,13	345,80	226,12	171,82
Aceite de oliva refinado	311,63	340,41	350,98	232,44	181,04
Aceite de orujo de oliva refinado	138,13	186,20	215,50	133,33	103,71

Tabla 1

En la tabla 1 se presenta una tabla comparativa del precio del aceite de orujo en las últimas 5 campañas (€ / 100 kg). (Gobierno de España, 2020)

Aceite de orujo de oliva refinado	138,13	186,20	215,50	133,33	103,71
-----------------------------------	--------	--------	--------	--------	--------

Tabla 2

Como puede observarse en la tabla 2, el precio del aceite de orujo ha ido decreciendo desde la campaña de 2018, cuando llegó a valer 2,155 €/kg, pasando a valer menos de la mitad en cuestión de dos años.

Teniendo en cuenta que el mercado se autorregula en función de la demanda del producto, se deduce que el aceite de orujo pierde rentabilidad año tras año. Esto ocurre siempre que los gastos de operación superan el margen de beneficio que se obtiene por el producto manufacturado.

La decreciente popularidad del aceite de orujo podría plantearse como un aliciente en la búsqueda de otras aplicaciones para el aprovechamiento del alperujo. Además de la extracción del aceite de orujo, hoy en día el alperujo se emplea en:

- Compostaje, junto con otros sustratos como estiércol animal.
- Secado y obtención de energía eléctrica y térmica

A continuación, se desarrollará en profundidad cada una de las opciones descritas.

4.1. Compostaje

El compost es un producto obtenido a partir de diferentes materiales de origen orgánico, los cuales son sometidos a un proceso biológico controlado de oxidación denominado compostaje. Este se utiliza como abono orgánico e incluso como sustituto de fertilizantes químicos. En la ilustración 2 se puede observar una muestra de compost. (Wikipedia, s.f.)



Ilustración 2: Compost. Fuente: www.agromaticas.es

El alperujo se puede mezclar con otras sustancias para producir compost. Esta opción es recurrente en sitios cercanos a las almazaras, y tiene las ventajas de que no implica grandes inversiones en transporte ni es necesario acondicionar el alperujo para obtener el resultado final.

Las sustancias que se mezclan con el alperujo deben mejorar dos de sus principales características: su manejabilidad o manipulación, de manera que se favorezca el secado y la aireación del producto, y su contenido en Nitrógeno. (Puente, 2006)

Se puede mezclar el alperujo con: hojín de limpia de almazara, estiércoles, purines y lisieres, gallinaza, vinaza de remolacha, orujo de uva, poda de viñedo triturada, serrín, paja, desmotado de algodón, cáscara de arroz y polvo de corcho.

Como inconveniente se puede señalar el bajo rendimiento económico asociado a esta opción, además de la necesidad de contar con una segunda sustancia para combinarla con el alperujo.

Dependiendo de la sustancia con la que se combine, se usará mayor o menor proporción de alperujo. Se ha estimado que, alrededor de $\frac{3}{4}$ del volumen de compost producido será procedente de alperujo. De aquí se deduce que de cada 100 toneladas de alperujo se puede obtener 133 toneladas de compost.

Por otra parte, el precio de venta del compost de alperujo varía 37 y 50 €/t a granel, por lo que, para hacer un cálculo aproximado, se usará 44 €/t (precio medio entre estos dos valores) (Pérez García, 2017).

En total, por la venta de compost se obtendrían unos ingresos de:

$$133t * \frac{44\text{€}}{t} = 5852\text{€ por cada 100 toneladas de alperujo}$$

A esta cantidad habría que descontarle el gasto producido por transporte, compra de la sustancia complementaria y manipulación del compost.

4.2. Secado y valorización energética

Una alternativa para el aprovechamiento del alperujo es la combustión de este en plantas de generación de energía eléctrica.

Para conseguir un rendimiento aceptable del mismo, este debe pasar por un proceso de secado, que reducirá su nivel de humedad del 70% al 12-15%.

Esta opción está bastante extendida en Andalucía, existiendo varias plantas que utilizan este material seco y extractado como combustible.

El proceso que se sigue en estos casos es el siguiente:



Ilustración 3: Proceso de valorización energética del alperujo. Elaboración propia.

Como se observa en la Ilustración 3, suele utilizarse el propio orujillo como combustible para proporcionar calor al secadero y, de esa forma reducir el índice de humedad del orujo graso de dos fases resultante de la molturación de la aceituna desde el 70% al 12-15%.

En otras ocasiones se utiliza gas natural, en cuyo caso también se aprovecha para obtener energía eléctrica en un proceso de cogeneración.

Además, la obtención del orujillo es ventajosa por varios motivos (aneo):

- Sus cenizas son apropiadas para fertilización por su contenido en K, Mg y Ca. Estas podrían usarse para su aplicación directa al propio cultivo del olivo.
- Fácil transporte hasta su punto de consumo, por su humedad, granulometría y densidad, lo que supone simplicidad a la hora de su valorización.
- Buena reactividad, autoignición, estabilidad de llama y alto tiempo de residencia para una combustión completa, lo que lo convierte en un combustible ideal.
- Alto en Volátiles que favorece una llama viva y una transmisión de calor por radiación alta en el hogar.
- Su densidad permite el P.M.A. (Peso Máximo Autorizado) en el transporte de camiones completos.

En cuanto a rentabilidad económica de esta alternativa, se puede decir que por cada 100 toneladas de alperujo se obtienen 42 toneladas de orujo seco. Siendo el precio de venta del orujo seco a las centrales de biomasa en torno a 30 €/t, (Pellets del sur, s.f.) se obtendría unos ingresos de:

$$42 t * 30 \text{ €/t} = 1260\text{€} / 100 \text{ toneladas de alperujo}$$

Sin tener en cuenta los gastos en los que se incurriría a la hora de secar y transportar el recurso.

4.3. Extracción de aceite de orujo

La opción más recurrente en las almazaras es la extracción del aceite de orujo. El proceso de extracción de aceite de oliva sigue las fases descritas en la figura 4 (infoAgro.com):

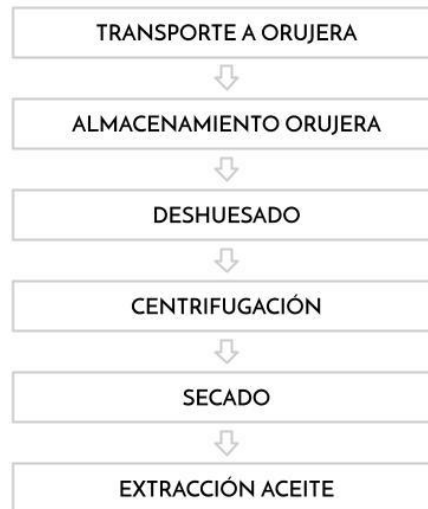


Ilustración 4: Esquema del proceso de extracción del aceite de orujo. Elaboración propia

La principal ventaja de esta opción es el rendimiento económico que se deriva de la venta del aceite de orujo y del orujo seco extractado u orujillo, este último para fines energéticos.

El transporte desde la almazara a la extractora se realiza en camiones basculantes que tienen una abertura en la parte superior. Este tipo de transporte es óptimo para el producto trasladado debido a su consistencia semilíquida. En la ilustración 5 se muestra un camión de este tipo siendo descargado.



Ilustración 5: camión basculante para alperujo. Fuente: transportesmiguel.es

Cuando el alperujo llega a la orujera y tal y como se puede observar en la figura 5, se almacena en balsas de grandes dimensiones. Dichas balsas tienen una capacidad que puede llegar a alcanzar las de unas 10000 t de alperujo, aunque suelen ser de tamaño menor. (A.E. Ramos Hinojosa, 2004)



Ilustración 6: Balsa de alperujo. Fuente: municipiosdelolivo.wordpress.com

Desde estas balsas, el alperujo pasa a ser deshuesado. En esta fase se separa el hueso de la aceituna de los restos de pulpa y piel restantes.

El hueso de la aceituna suele ser consumido, junto con el orujillo producido al final del proceso, por la propia orujera para cubrir sus necesidades térmicas a la hora del secado del alperujo.

Tras el deshuesado se procede a la centrifugación, por medios mecánicos, del alperujo, con objeto de separar aquella fracción del aceite que pueda ser extraída físicamente. Este aceite adquiere el nombre de primer aceite de orujo de oliva.

El secado del alperujo es una fase crucial e imprescindible para la posterior extracción del aceite de orujo. Esta permite la reducción del grado de humedad a niveles cercanos al 15% de su peso. (Oriva)

Con ayuda del uso de un disolvente alimentario denominado hexano, se extrae el aceite de orujo. Tras esta extracción, el aceite se vuelve a separar del disolvente mediante un proceso de desolventización.

El principal subproducto que se obtiene tras la extracción del aceite de orujo es el orujillo: biomasa desengrasada con alto poder calorífico que, como se ha comentado anteriormente, es usado junto con el hueso para fines térmicos.

El problema particular que se presenta con esta alternativa es la baja cantidad de orujeras en relación con el número de almazaras que hay en la comunidad autónoma andaluza. En España 52 plantas de procesamiento de alperujo reciben dicho producto procedente de las 1827 almazaras durante toda la campaña (Villar)

Esta desequilibrada proporción unida al hecho de que la temporada alta de producción es la misma en todas las provincias provoca un exceso de demanda del uso de las orujeras que obliga a las almazaras a una redistribución que no siempre les sale rentable. (Diario Jaén, 2019)

En consonancia con este problema, esta desproporción podría acarrear ruptura de flujo. Una ruptura de flujo se define como una parada del tratamiento del alperujo debida a problemas ocurridos en etapas anteriores; en este caso se podría achacar a la cantidad de alperujo que se transporta puntualmente durante la campaña de recolección a todas las orujeras. (Villar)

Por último, es necesario señalar la existencia de una brecha productiva entre almazaras y extractoras: mientras que la campaña de producción de aceite de oliva suele tardar unos 4 meses, el procesado del alperujo se produce a lo largo de unos 10.

Esto podría derivar en una situación de enlace productivo entre dos campañas.

En cuanto a rentabilidad económica, se podría adicionar el beneficio obtenido de la venta del orujo seco al del aceite de orujo.

Tal y como se ha comentado anteriormente en el apartado 4.2., una vez seco, el alperujo se reduce a unas 42 toneladas. Por otra parte, y teniendo en cuenta que el aceite de orujo de oliva supone alrededor de un 3% del total del alperujo, de un total de 100 toneladas tan sólo 3 serían de aceite de orujo.

Es por esto que se podría contar en total con 3 toneladas de aceite y 39 de orujo seco.

Haciendo un cálculo aproximado de los ingresos que se obtendrían de la venta de estos productos:

$$3 t * 1037,1 \frac{\text{€}}{t} = 3111,3 \text{ € de aceite por cada 100 toneladas de alperujo}$$

$$39 t * \frac{30 \text{ €}}{t} = 1170 \text{ € de orujillo por cada 100 toneladas de alperujo}$$

En total podría contarse con:

$$3111,3 + 1170 = 4281,3 \text{ € por cada 100 toneladas de alperujo}$$

4.4. Inconvenientes comunes de las alternativas actuales.

Tanto para la valorización energética directa como para la extracción del aceite de orujo, la mayor dificultad que presenta el alperujo cuando se origina es su alto contenido en agua.

Este imposibilita el aprovechamiento inmediato de este recurso, puesto que los índices de eficiencia contando con dichos niveles de humedad son ínfimos.

Dado que se transporta gran cantidad de agua que va a eliminarse como primer paso del proceso, se estaría disminuyendo el volumen disponible para el alperujo, ocupando más espacio del necesario, lo que se traduce en mayor número de viajes, incremento tanto del capital empleado como de las emisiones de gases de efecto invernadero producidas.

La solución a este problema sería secar el alperujo antes de transportarlo fuera de la almazara. Esta solución se verá desarrollada en detalle más adelante.

El segundo problema al que se enfrenta el sector es la toxicidad del propio alperujo. Esta característica hace que, en muchos casos, aplicaciones encontradas para valorizarlo tales como aplicación directa al sustrato sean completa y absolutamente inviables, debido a que podrían poner en peligro la buena marcha del cultivo al que se aplica. (La Cal Herrera, 2017)

Este hecho ancla al sector en las alternativas ya conocidas, cuando no siempre son especialmente rentables.

Por último, y en consonancia con esta última afirmación, se puede destacar la baja rentabilidad de las soluciones actuales debido no sólo a factores internos, tales como la gestión de las almazaras, sino también a factores externos, como puede ser el precio del propio aceite de orujo.

5. SOLUCIONES ALTERNATIVAS

Ante los problemas citados en el apartado 4, se plantean algunos cambios en las soluciones actuales de manera que se optimicen las instalaciones y recursos disponibles, así como otras aplicaciones para el alperujo.

Dado que el compostaje es una alternativa que está suficientemente optimizada, se tratarán cambios aplicables a las alternativas que engloban el secado del alperujo.

5.1. Cambios en las aplicaciones actuales

5.1.1. Secado en almazara

El primer problema susceptible de ser solventado es, como se ha comentado anteriormente, el hecho de que el alperujo se transporte largas distancias para luego ser secado y reducir notablemente su volumen.

La solución propuesta estaría basada en un cambio en el orden del transporte y el secado: antes de transportar el alperujo, debería secarse el mismo.

De esta manera, teniendo en cuenta que en el secado se produce una reducción de 55% de la humedad del alperujo, se podría contar con un 55% más de espacio en el camión que transportase el orujo desde el sitio de secado hasta la orujera o la central de biomasa.

Esto repercutiría a su vez en los gastos de transporte, como se ha indicado anteriormente, dado que, contando con la misma cantidad de espacio, tendrían que realizarse aproximadamente la mitad de viajes desde un punto hasta el otro.

Por otra parte, en el caso de la extracción del aceite de orujo, actualmente la orujera cobra a la almazara por gestionar el alperujo. De llevarse a cabo esta práctica, la almazara elevaría el valor del orujo seco, de manera que, estos gastos se reducirían notablemente.

En cuanto al gasto extra que supondría el secado cerca del sitio de origen, habría dos opciones diferentes de la actual, que implicarían un distinto nivel de inversión económica:

1. **Secado en almazara:** presenta la ventaja de que, tanto el transporte como la manipulación del alperujo en las etapas sucesivas, estará optimizado en cuanto a capacidad.

La principal desventaja de esta opción es que supone una inversión en todas las almazaras que quieran aplicarlo, por lo que sería una buena opción para aquellas empresas que estuvieran más alejadas entre sí, tuviesen mayor capacidad adquisitiva o se encontrasen mucho más cerca de una orujera o central de biomasa que de otras almazaras.

2. **Secado en punto medio:** el inconveniente de realizar el secado en cada una de las almazaras quedaría resuelto en caso de realizar una inversión en este equipo por parte de varias almazaras, en función de cercanía geográfica.

De esta manera no se transportaría el alperujo húmedo a lo largo de un gran recorrido, y, además, las empresas no tendrían que hacerse cargo del gasto en maquinaria individualmente.

5.1.2. Transporte

Para transportar el alperujo húmedo desde la almazara hasta el punto donde se seca, en los casos en los que no se realice en la misma almazara, podrían utilizarse los mismos camiones que los utilizados hoy en día.

Para transportar el alperujo seco desde el punto de secado hasta las almazaras, para su valorización energética, se utilizarían camiones de diferente morfología a la utilizada actualmente, debido a la naturaleza, ya sólida, del subproducto transportado.

Para el alperujo seco se podría utilizar:

1. Un camión con la misma capacidad de los que se utilizan actualmente, en cuyo caso se estaría produciendo una reducción del 55% del número de viajes (se reitera que el alperujo seco ocupa un 55% menos de volumen).
2. Un camión con mayor capacidad de los que se utilizan actualmente, en cuyo caso se reduciría (aún más) el número de viajes, y cargar el vehículo o bien con pallets de alperujo compactado para llevarlo a la extractora o bien a granel.

En este caso podría ser rentable para varias almazaras utilizar el mismo servicio, sobre todo si se encuentran en la misma zona geográfica, dado que, al tener mayor capacidad, podría transportar el alperujo de varias empresas a un menor coste.

En el anexo 1 se incluyen las distintas posibilidades de vehículos que estarían disponibles para esta aplicación.

5.2. Otras aplicaciones

Como alternativas a las que se llevan a cabo actualmente destacan las siguientes: extracción de compuestos, producción de biogás, fabricación de material de construcción con alperujo, alimentación animal e investigación.

5.2.1. Uso de los compuestos presentes en el alperujo

A. Extracción de fenoles

El alperujo contiene fenoles, compuestos orgánicos cuyas estructuras moleculares contienen al menos un grupo fenol, un anillo aromático unido a un grupo hidroxilo. (Taiz & Zeiger, 2006).

Estas son sustancias de difícil tratamiento y gran interés por sus aplicaciones en los sectores de la cosmética, nutrición y farmacia.

Además de la rentabilidad económica que podría derivarse de la comercialización de los fenoles y de la sostenibilidad medioambiental derivada de la eliminación de estas sustancias de compleja gestión (S.A. Arenas Nemoga, 2020), la mayor ventaja que presenta esta alternativa es que no excluye una segunda valorización del alperujo.

Tras eliminar los fenoles del alperujo, este podría volver a utilizarse para cualquiera de las alternativas propuestas hasta ahora en el presente trabajo, siempre y cuando las características fisicoquímicas del recurso una vez eliminados los fenoles no afectaran al resultado final de su reutilización.

Una de las sustancias más valiosas que se encuentran en el alperujo dentro del amplio campo de los fenoles es el hidroxitiroso. Existen empresas que, habiendo encontrado una forma de aislarlo del resto del subproducto, han conseguido comercializar con este compuesto (Lama Muñoz, 2011).

Una de ellas es la malagueña Genosa I+D ® (Genosa I+D S.L, s.f.).

B. Creación de nanopartículas de hierro

Como se aprecia en la ilustración 7, la empresa *Smallops*® crea nanopartículas de hierro encapsuladas en carbono a partir de alperujo y alpechín mediante carbonización hidrotérmal (HTC). (Smallops, s.f.)



Ilustración 7: Nanopartículas de hierro de Smallops. Fuente: <https://smallops.eu/>

La carbonización hidrotérmal es un proceso que, a causa de elevadas presiones y temperaturas, convierte compuestos orgánicos a carbonos estructurales. (Wikipedia, s.f.)

Las nanopartículas fruto del proceso (a partir de ahora, OPS) tienen diversas aplicaciones: como fertilizante, y como parte del tratamiento de aguas y producción de biogás, entre otros.

1. **Producción de biogás:** estas partículas suponen una mejora de la eficiencia de la producción del biogás en un porcentaje entre el 10 y el 20%. Además, contribuye al mantenimiento de los motores del digestor, debido a la eliminación de gas sulfhídrico y aumenta la calidad del digestato.
2. **Tratamiento de aguas:** las OPS eliminan metales pesados, pesticidas y compuestos de azufre.
3. **Fertilizante:** aumenta la tasa de crecimiento, la absorción, la producción y la resistencia sin producir sustancias fitotóxicas.

5.2.2. Producción de biogás

La digestión anaeróbica o biometanización, es un proceso biológico que ocurre en ausencia de oxígeno, en el cual, gracias a la acción de varios grupos de bacterias, la materia orgánica se descompone, dando como resultado dos productos principales: biogás y digestato. (E. Marañón Maison, 2009)

Este proceso puede verse reflejado en la ilustración 8.

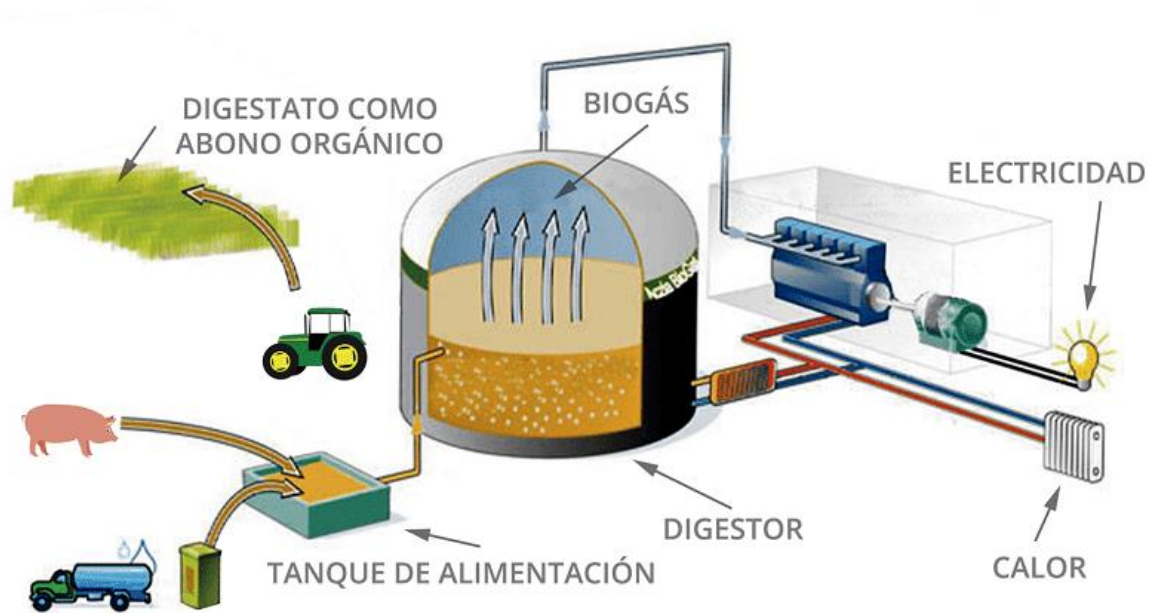


Ilustración 8: Producción de biogás. Fuente: www.renovablesverdes.com

El biogás derivado del proceso se puede utilizar como combustible, dependiendo su poder calorífico de la sustancia que esté siendo procesada, mientras que el digestato es una mezcla de productos minerales y compuestos de difícil degradación que puede ser utilizado como enmienda orgánica al sustrato. (L. Quintana-Gómez, 2021)

Se ha comprobado en diversos estudios que la digestión anaeróbica del alperujo no es rentable utilizando este recurso aisladamente. Sin embargo, la co-digestión anaeróbica de alperujo con otras sustancias orgánicas, tales como microalgas (Rodríguez, 2019) o estiércol bovino (Bernal, 2014), le confieren propiedades que suponen un mayor rendimiento del metano fruto del proceso.

Las ventajas que presenta esta alternativa son múltiples:

1. **Rendimiento financiero:** mediante la venta del biogás por un lado y digestato, por otro, a las entidades interesadas en cada caso se obtendría un beneficio directo, siendo mínimos los gastos en los que se incurre para obtener estos productos.
2. **Simplicidad:** las almazaras no tienen que tratar este subproducto antes de venderlo a las empresas que lo aprovecharán.
3. **Doble funcionalidad:** no sólo se procesa el digestato para usarlo como enmienda orgánica, sino que, además, se obtiene materia prima para fabricar energía eléctrica y calorífica.
4. **Sostenibilidad:** la producción de energía de esta manera implica una reducción en el uso de formas de energía derivadas del petróleo mucho más contaminantes. Además, se enriquece el sustrato con una sustancia que, de no haber sido procesada, resultaría tóxica para los cultivos.

El principal inconveniente de esta alternativa es la baja calidad del biogás fabricado, debido a que el proceso, pese a ser común industrialmente, no está optimizado para el alperujo.

5.2.3. Fabricación de material de construcción

Esta aplicación está todavía en fase de desarrollo. No obstante, se ha probado experimentalmente que el uso de una proporción de hasta el 8% de alperujo como sustituto de la arcilla y agua en la fabricación de ladrillos es viable (Martín-Valenzuela, 2014).

Se ha estudiado que con el 10% de la producción anual de alperujo de la provincia se podría abastecer a la industria, por lo que, en cualquier caso, esta opción no podría tomarse de manera aislada.

La alternativa propuesta sería, al igual que las comentadas anteriormente, interesante tanto a nivel económico como a nivel medioambiental, pues reduciría el impacto del alperujo en la naturaleza.

Como ventaja excepcional con respecto a las demás alternativas planteadas, se presupone que abarataría los costes en el sector de la construcción, dado que el procesado del alperujo para esta aplicación supone un coste menor que la extracción y procesado de la arcilla utilizado actualmente como materia prima.

El único inconveniente de la fabricación de material de construcción con alperujo es que no está implementado industrialmente, debido a encontrarse actualmente en investigación.

Sería necesario continuar en esta línea, realizar todas las pruebas necesarias a nivel estructural y estudiar su viabilidad económica a fin de determinar hasta qué punto la alternativa propuesta es válida o no.

5.2.4. Alperujo para alimentación animal



Ilustración 9: Orujillo. Fuente: <https://innergy-global.com/>

Utilizar una proporción de alperujo en la alimentación ganadera bovina (inferior al 48,43%) podría suponer no sólo un importante ahorro a la hora de la gestión del alperujo sino también una disminución en gastos de suplementación alimentaria del animal. Además, debido al alto contenido en ácido oleico, se obtendría un animal más sano y, por ende, se conseguiría una carne de mayor calidad.

En todo caso habría que tener en cuenta no superar la proporción mencionada, dado que podría tener efectos contraproducentes (Meneses R & Cerda G, 2016)

Así mismo, la incorporación de alperujo en la dieta de corderos (en proporción inferior o igual al 48%) supone la misma consecuencia: mejora en la composición de la carne y decremento en el gasto en alimentación y suplementación animal (Ramos Vilches, 2009)

Tanto para alimentación caprina como en dietas de cordero sería conveniente utilizar alperujo deshidratado, como se observa en la ilustración 9, por lo que, una vez más, se tendría que contar con algún sistema que permitiese secar el alperujo lo más cerca posible del sitio de origen.

5.2.5. Investigación

Actualmente, muchas de las aplicaciones presentadas están en desarrollo o podrían ser objeto de una optimización en su eficiencia. Además, la investigación podría ser partícipe de la creación de otras aplicaciones válidas para el tratamiento del alperujo.

Es por esto que parte del alperujo que se produce anualmente podría destinarse a seguir experimentando vías de aprovechamiento de este, de manera que pueda pasar a considerarse un recurso más a utilizar en sectores tan transversales como el energético, construcción o sanitario, o que siga haciéndolo con una tasa de éxito mayor.

Si bien este último apartado no tendría beneficios plausibles inmediatos, podría comportar una importante fuente de conocimiento y de desarrollo para la región en este ámbito, pudiendo liderar la implementación de mejoras continuas en la gestión de este recurso.

5.3. Evaluación de las alternativas viables

Habiendo analizado tantas opciones, sería conveniente comparar cuáles de ellas serían más viables y en qué medida.

En cuanto a las alternativas propuestas en el apartado 5.2, no se han analizado sus ingresos por diversos motivos, principalmente porque no se tiene una referencia económica.

Aún así es posible confirmar que tanto el uso de los compuestos del alperujo como la producción de biogás están comenzando a desarrollarse industrialmente.

Indudablemente, la primera alternativa es económicamente viable, debido a que no implica grandes gastos y sí podría emplearse en multitud de sectores generando un beneficio económico.

La alternativa del biogás podría ser optimizada mediante las nanopartículas mencionadas en el apartado 5.2.1.B por lo que ambas opciones podrían desarrollarse de manera paralela. (Smallops, s.f.)

La opción de la fabricación de ladrillos está todavía en vías de desarrollo, por lo que primeramente habría que determinar si esta alternativa es o no económica y técnicamente viable. Este sería también el caso de la alimentación animal.

Por último, poner en relieve el valor que tiene la investigación, opción que sin duda será necesaria en todo caso para seguir mejorando las soluciones adoptadas y proponer otras nuevas.

En referencia a las alternativas existentes a nivel industrial, se ha creado la tabla 3 para facilitar la comparación entre alternativas, que contiene los ingresos derivados de las distintas soluciones.

En esta tabla no se han tenido en cuenta los gastos derivados de cada una de las actividades; sin embargo, se ha supuesto que el precio de venta de los productos obtenidos tras la valorización de este recurso será proporcional a la suma del gasto generado para producirlo y un margen de beneficio. En todo caso, se ha considerado la cantidad de cien toneladas de alperujo.

ALTERNATIVA	INGRESO ASOCIADO
COMPOST	5.852 €
VALORIZACIÓN ENERGÉTICA	1.260 €
EXTRACCIÓN ACEITE DE ORUJO	4.281,3 €

Tabla 3

Como puede comprobarse, la opción más rentable actualmente es el compost. No sólo es aquella que más ingresos supone, sino que, además, es la que menor gasto implica.

La opción de la extracción del aceite de orujo es aquella que más gasto supone a nivel logístico, técnico y de mano de obra, y, aun así, no es la que mayor rentabilidad supone. Aplicando los cambios del apartado 5.1., se podría considerar una opción más viable que la valorización energética directa, sin embargo, habría que estudiar si estos cambios merecerían la pena económicamente.

6. CONCLUSIÓN

Debido al gran volumen de alperujo que se produce a lo largo de una campaña y a todos los problemas económicos y medioambientales que provoca, es necesario buscar soluciones alternativas a las que se están usando hasta ahora.

De entre las opciones actuales sólo se podría destacar como verdaderamente rentable el compost, teniendo que ofrecer verdaderos cambios estructurales en el sector orujero para que la extracción de aceite siguiese siendo una opción de peso.

Por otra parte, la opción de la extracción de compuestos es interesante en diversos sectores y además también es rentable, por lo que, en el caso de que pudiese desarrollarse industrialmente, se aconsejaría hacer uso de esta línea de gestión. Además, como se ha esbozado en el apartado 5.3, mejora la eficiencia del biogás producido con alperujo, por lo que esta otra alternativa también se consideraría viable.

Por último, la alternativa de creación de materiales de construcción podría englobarse dentro de la opción destinada a investigación. Para este propósito podría utilizarse una parte mínima de alperujo, debido a que las probetas con las que se realiza la investigación experimental no requieren de grandes cantidades del material en cuestión.

7. BIBLIOGRAFÍA

- A.E. Ramos Hinojosa, M. R. (2004). Orujo de dos fases almacenados en balsas. Obtenido de <https://digital.csic.es/bitstream/10261/2454/1/Orujos.pdf>
- Agrodigital.com. (2019). Grandes problemas en las orujeras por elevada entrada de alperujo. Obtenido de <https://www.agrodigital.com/2019/01/17/%EF%BB%BFgrandes-problemas-en-las-orujeras-por-elevada-entrada-de-alperujo/>
- aneo. (s.f.). BIOMASA. Obtenido de <https://www.aneorujo.es/biomasa/#orujillo>
- Bernal, J. R. (2014). *Co-digestión anaerobia mesofílica de residuos agroganaderos (alperujo y estiércol bovino)*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=51247>
- Diario Jaén. (2019). Las orujeras amenazan con el cierre. Obtenido de <https://www.diariojaen.es/jaen/las-orujeras-amenazan-con-el-cierre-MX5123178>
- E. Marañón Maison, Y. F. (2009). *Manual de Estado del Arte de la Co-digestión Anaerobia de Residuos Ganaderos y Agroindustriales*. Obtenido de [http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/BB168DB006FAEAF1C12575380034D3DC/\\$FILE/Manual de Estado del Arte V2_\(23-11-2009\).pdf](http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/BB168DB006FAEAF1C12575380034D3DC/$FILE/Manual%20de%20Estado%20del%20Arte%20V2_(23-11-2009).pdf)
- Genosa I+D S.L. (s.f.). Obtenido de <https://www.genosa.com/genosa-contacto.html>
- Gobierno de España. (2020). *www.mapa.gob.es*. Obtenido de https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/022020informepreciossemanalaceitedeoliva2019-20conaceitesvegetales_tcm30-524183.pdf
- infoAgro.com. (s.f.). Proceso de elaboración del aceite de orujo de oliva. Obtenido de https://www.infoagro.com/documentos/proceso_elaboracion_del_aceite_orujo_oliva.asp#:~:text=En%20el%20proceso%20de%20extracci%C3%B3n,oliva%20

crudo%20y%20el%20orujillo.&text=Para%20ello%20se%20somete%20al,la%20extracci%C3%B3n%20del%20residuo%20graso.

J.M. Caballero Lozano, J. D. (27 de Abril de 2021). *www.boe.es*. Obtenido de https://www.boe.es/biblioteca_juridica/codigos/abrir_pdf.php?fich=290_Codigo_del_Sector_del_Aceite_.pdf

Junta de Andalucía. (2011). *www.juntadeandalucia.es*. Obtenido de <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2011/205/d1.pdf>

Junta de Andalucía. (2015). *www.juntadeandalucia.es*. Obtenido de <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2015/54/2>

Junta de Andalucía. (s.f.). *Ley del Olivar y Plan Director del Olivar*.

L. Quintana-Gómez, M. L. (2021). *Enzymatic production of biodiesel from alperujo oil in supercritical CO₂*. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0896844621000231?casa_token=RDxl-04kVoYAAAAA:yi_alzb7BQ5tX7iqqm3M7Bfu-5KdG0_WErVivVQMUSAD10PDKNjIwurHiY3vMoALX22H-SBJGw#ack0005

La Cal Herrera, J. (2017). *Valorización energética de subproductos del olivar y sus industrias de transformación*.

Lama Muñoz, A. (2011). *Obtención y caracterización de compuesto y fracciones bioactivas a partir de alperujo tratado térmicamente: Estudio de un poderoso antioxidante natural (3,4-dihidroxifenilglicol, DHFG): Propiedades y purificación industrial*. Sevilla: Universidad de Sevilla. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11441/72762>

levante-emv. (2020). España será el primer productor de aceite de oliva del mundo en 2020. *levante-emv*. Obtenido de <https://www.levante-emv.com/economia/2020/11/26/espana-sera-primer-productor-aceite-25600645.html#:~:text=Espa%C3%B1a%20se%20convertir%C3%A1%2C%20un%20a%C3%B1o,49%25%20de%20la%20producci%C3%B3n%20mundial.>

Martín-Valenzuela, C. (2014). *Recursos naturales: arcillas de uso cerámico*. Jaén: Universidad de Jaén. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10953.1/575>

Meneses R, R., & Cerda G, G. (2016). *Utilización del alperujo en la alimentación caprina*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Intihuasi. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/6505>

Montull. (s.f.). *www.montull.com*. Obtenido de <http://montull.com/2021/04/26/banera-redonda/>

Oriva. (s.f.). ¿Qué es el aceite de orujo de oliva? Obtenido de <https://oriva.es/el-aceite-de-orujo-de-oliva/#:~:text=El%20aceite%20de%20orujo%20de%20oliva%20se%20obtiene%20a%20trav%C3%A9s,que%20resulta%20de%20esta%20extracci%C3%B3n>

Pellets del sur. (s.f.). Obtenido de <https://pelletsdelsur.com/projects/orujillo/>

Pérez García, P. J. (2017). *Viabilidad técnico-económica de la creación de una planta de compostaje de alperujo y caracterización del proceso de producción del compost de alperujo de la provincia de Jaén*. Universidad de Jaén. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10953.1/6150>

Puente, J. Á. (2006). *ESTUDIO SOBRE MEZCLAS ÓPTIMAS DE MATERIAL VEGETAL PARA COMPOSTAJE DE ALPERUJOS EN ALMAZARAS ECOLÓGICAS Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE*. Junta de Andalucía. Obtenido de https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/estudio_compost2.pdf

Ramos Vilches, G. A. (2009). *Efecto de la incorporación de alperujo de aceituna en la dieta de corderos Suffolk Down sobre la calidad de la carne*. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/131170>

Rental Scanner. (s.f.). Obtenido de <https://rentalscanner.cl/product-category/equipos-de-transporte/camion-tolva/>

Rodríguez, M. F. (2019). *Gestión sostenible de la industria oleícola: co-digestión anaerobia del alperujo con microalgas*. Obtenido de <https://rio.upo.es/xmlui/handle/10433/8467>

S.A. Arenas Nemoga, 2. (2020). *Extracción de compuestos fenólicos mediante el uso de disolventes orgánicos a partir del subproducto obtenido en la elaboración de aceite de oliva (alperujo)*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/134096>

Smallops. (s.f.). *Smallops. Nanoparticles for sustainability*. Obtenido de <https://smallops.eu/>

Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Secondary Metabolites and Plant Defense* (4th Edition ed.). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Compuesto_fen%C3%B3lico

Villar, J. (s.f.). *Estudio capacidades sector orujero español, potencial colapso financiero y operativo*. aneo asociación nacional de empresas de aceite de orujo. Obtenido de <https://www.aneorujo.es/download/juan-vilar-aneo-estudio-capacidades-sector-orujero-espan%cc%83ol-potencial-colapso-financiero-y-operativo/>

Wikipedia. (s.f.). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Compost>

ANEXO I: TRANSPORTE ALPERUJO

Actualmente el medio de transporte más utilizado para el transporte del alperujo son camiones con bañera basculante. Estos suelen tener una capacidad que varía entre 43 y 50 m³. (Montull, s.f.).

De utilizar un camión cisterna basculante (que haría la misma función que uno de los que se usan hasta ahora), se podría llegar a capacidades de hasta 62,8 m³, incrementando así en un 25,6% la capacidad actual, como refleja la tabla 3.

MODELO	CAPACIDAD	COTAS (mm)				
	m ³	DE	LT	VC	LSR	H
RT-32CA	32,1	2250	9184	6500	9778	3713
RT-43CA	43,1	2530	9184	7400	9778	3986
RT-45CA	45,1	2530	9594	7800	10178	3986
RT-48CA	48,6	2530	10294	8500	10878	3986
RT-53CA	53,2	2530	11153	9920	11913	3986
RT-58CA	58,5	2530	12294	10500	12878	3986
RT-60CA	60,3	2530	12644	10850	13228	3986
RT-63CA	62,8	2530	13017	11650	13301	3986

Tabla 4

Por otra parte, con respecto al alperujo seco, podría utilizarse un camión tolva, especial para productos a granel, de 15 toneladas (9,71 m³) a 20 toneladas (12,9 m³) de capacidad. (Rental Scanner, s.f.)

La elección de uno u otro modelo podría realizarse en función de la carga que vaya a recibir cada una de las almazaras y de si estas están o no asociadas, en cuyo caso tendrían que utilizar un vehículo con 20 toneladas de capacidad.