

MEDITERRANEO

Prevención de la contaminación en la
Producción de aceite de oliva

producir
LIMPIA

Centro de Actividades Regionales para la Producción Limpia (CAR/PL)
Plan de Acción para el Mediterráneo



Ministerio de Medio Ambiente
España



Generalitat de Catalunya
Departamento de Medio Ambiente
Centro de Iniciativas para la Producción Limpia

Nota: Esta publicación puede ser reproducida total o parcialmente, con fines educativos y no lucrativos sin permiso específico del Centro de Actividades Regionales para la Producción Limpia (CAR/PL), siempre y cuando se mencione el origen de la información. El CAR/PL agradecería recibir una copia de cualquier publicación donde este material sea usado como fuente.

No está permitido en uso de esta información con fines comerciales o de venta sin permiso escrito del CAR/PL.

Si considera que algún punto del estudio puede mejorarse o existe alguna imprecisión, le agradeceríamos nos lo comunicase.

Estudio terminado en Enero 2000

Estudio publicado en Noviembre 2000

Si desea solicitar copias adicionales o para cualquier información adicional, póngase en contacto con:

Centro de Actividades Regionales para la Producción Limpia (CAR/PL)

C/ París, 184 – 3ª planta

08036 Barcelona (España)

Tf. +34 93 415 11 12 - Fax. +34 93 237 02 86 - e-mail: cleanpro@cipn.es

Web page: <http://www.cipn.es>

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	4
METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	5
PLAN DE EXPOSICIÓN.....	5
CAPITULO I: CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR DEL ACEITE DE OLIVA.....	7
1.1. LA PRODUCCIÓN.....	7
1.1.1. <i>Concentración</i>	9
1.1.2. <i>Dimensión media</i>	10
1.2. EL CONSUMO	10
1.3. LOS INTERCAMBIOS MUNDIALES.....	11
1.4. LA CADENA INDUSTRIAL Y COMERCIAL DEL ACEITE DE OLIVA.....	12
1.4.1. <i>Los productos</i>	12
1.4.2. <i>Los agentes del sector</i>	13
CAPÍTULO II: LOS PROCESOS INDUSTRIALES DE ELABORACIÓN DE ACEITE Y LOS RESIDUOS Y SUBPRODUCTOS GENERADOS.....	15
2.1. VISIÓN GENERAL DE LA INDUSTRIA DEL ACEITE DE OLIVA	15
2.1.1. <i>Procesado en almazara</i>	15
2.1.2. <i>Procesado de orujos</i>	16
2.1.3. <i>El proceso de refinación</i>	17
2.2. DESCRIPCIÓN GENERAL Y OPERACIONES BÁSICAS DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN EN ALMAZARA	19
2.2.1. <i>Operaciones de recepción</i>	19
2.2.2. <i>Operaciones de molienda y extracción</i>	19
2.3. SISTEMA TRADICIONAL.....	21
2.4. SISTEMA CONTINUO DE TRES FASES.....	24
2.5. SISTEMA CONTINUO DE DOS FASES	27
2.6. COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DOS Y TRES FASES	29
2.7. COMPARACIÓN ENTRE LOS TRES SISTEMAS UTILIZADOS.....	29
CAPITULO III: CARACTERIZACIÓN Y PROBLEMÁTICA GENERADA POR LOS RESIDUOS DE ALMAZARA	31
3.1. INTRODUCCIÓN.....	31
3.2. RESIDUOS LÍQUIDOS PRINCIPALES: ALPECHINES	32
3.2.1. <i>Composición</i>	32
3.2.2. <i>Producción</i>	34
3.2.3. <i>Poder contaminante</i>	36
3.2.4. <i>Valor fertilizante</i>	37
3.3. OTROS RESIDUOS LÍQUIDOS	39
3.3.1. <i>Aguas de lavado de aceituna</i>	39
3.3.2. <i>Aguas de lavado de aceite</i>	40
3.3.3. <i>Los alpechines del sistema de 2 fases</i>	41
3.4. RESIDUOS SÓLIDOS: ORUJO.....	41
3.4.1. <i>Caracterización</i>	41
3.4.2. <i>Poder calorífico</i>	42
3.4.3. <i>Valor alimenticio para el ganado</i>	43
3.5. RESIDUOS PASTOSOS: EL ALPERUJO U ORUJO DE DOS FASES.....	45
3.6. RESTOS ORGÁNICOS PROCEDENTES DE LIMPIEZA	46
CAPITULO IV: TRATAMIENTO Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS Y SUBPRODUCTOS DE ALMAZARA	48
4.1. INTRODUCCIÓN.....	48
4.2. LOS EFLUENTES LÍQUIDOS: ALPECHINES	50

4.2.1. Introducción	50
4.2.2. Sistemas utilizables.....	51
4.2.3. Uso de alpechines como riego fertilizante	52
4.2.4. Evaporación natural: lagunaje.....	56
4.2.5. Concentración - evaporación térmica.....	60
4.2.6. Depuración	64
4.2.7. Sistemas combinados y otros.....	74
4.3. TRATAMIENTO DE SÓLIDOS: ORUJOS.....	83
4.3.1. Introducción	83
4.3.2. Utilización para extracción de aceite residual.	84
4.3.3. Otras utilizaciones	85
4.4. TRATAMIENTO DE SÓLIDOS: ALPEORUJO.....	87
4.4.1. Introducción	87
4.4.2. Compostaje de alpeorujo	89
4.4.3. Secado y extracción de aceite de orujo.....	90
4.4.4. Incineración de alpeorujo y cogeneración eléctrica.	92
4.4.5. Gasificación de orujillo: método de la Universidad Complutense de Madrid (UCM, España).....	93
4.4.6. Gasificación: Proceso GASBI-Senerkhet.....	97
4.4.7. Plantas de aprovechamiento integral de alperujo.....	98
4.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
RESUMEN Y CONCLUSIONES	107
APÉNDICE I : REFERENCIAS	111
I. CENTROS Y ENTIDADES DEDICADOS AL TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE ALMAZARAS.....	112
II.- PROYECTOS DE I+D DEL PROGRAMA MARCO DE LA UE RELACIONADOS CON LOS RESIDUOS GENERADOS EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE OLIVA	116
III: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
IV.- PATENTES	121
APÉNDICE II: FOTOGRAFÍAS.....	123

INTRODUCCIÓN

La producción de aceituna para obtención de aceite de oliva se concentra esencialmente en los países de la cuenca mediterránea. El proceso de extracción del aceite en almazara genera gran cantidad de subproductos y residuos (orujos y alpechines) que exigen una gestión específica con objetivos de minimización, valorización o atenuación de su potencial impacto ambiental negativo.

En años recientes, se han producido fenómenos de concentración de las almazaras con el consiguiente aumento de su dimensión y, por tanto, de las exigencias de gestión de residuos y subproductos. Por otra parte, ha tenido lugar una evolución tecnológica en el sector, particularmente centrada en la aparición de los sistemas continuos de extracción, que han obligado al diseño de nuevas estrategias de gestión en este ámbito. La demanda de soluciones técnica y económicamente viables es patente en el sector en toda el área mediterránea.

Por estas razones, el Centro de Actividades Regionales para la Producción Limpia (CAR/PL) del Plan de Acción para el Mediterráneo ha realizado este Estudio sobre la Prevención de la Contaminación en la Producción de Aceite de Oliva con los siguientes objetivos:

- a) Conocer con detalle la problemática de la generación y gestión de los residuos y subproductos de almazara a la luz de la situación actual del sector almazarero en los países mediterráneos.
- b) Identificar las estrategias tecnológicas apropiadas que pueden ser propuestas a las distintas situaciones productivas existentes con objeto de minimizar la producción de efluentes contaminantes, valorizar adecuadamente subproductos y residuos o atenuar o eliminar su posible impacto ambiental
- c) Cabe mencionar que el estudio se centra en los principales países productores de aceite de oliva y con la tecnología más avanzada, especialmente en España, Italia, Grecia, Túnez y Turquía, y la aplicación de los sistemas y tecnologías disponibles para la gestión o tratamiento de los efluentes líquidos y sólidos de almazara debe estudiarse en cada caso y contexto, y por lo tanto recomendamos la realización de un análisis de viabilidad técnica y económica previo a la implantación de las tecnologías mencionadas.

Metodología del estudio

El estudio se ha realizado de conformidad con la siguiente metodología.

- a) Revisión bibliográfica sobre sistemas y técnicas existentes para el tratamiento y valorización de residuos y subproductos de almazara, incluyendo la exploración de la base de datos de la Oficina Europea de Patentes.
- b) Investigación sobre el “estado de la técnica” sobre el tema, elaborado con la colaboración del equipo dirigido por el Profesor J.M. Aragón, del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Complutense de Madrid (España), que a la vez ha sido coordinador del proyecto europeo IMPROLIVE. Este proyecto, con participación de grupos investigadores de España, Italia, Grecia, Alemania y Reino Unido tenía precisamente por objeto revisar y proponer soluciones al tratamiento de residuos de almazara, con particular referencia al orujo de 2 fases. Esta acción concertada con este grupo universitario ha permitido obtener información de buena parte de los agentes interesados en el tema a escala española e internacional.
- c) Contacto directo con numerosas almazaras y plantas orujeras de las regiones de Cataluña, Castilla –La Mancha y Andalucía (España), con objeto de conocer y evaluar las soluciones técnicas más modernas en curso de aplicación. Mención especial merece la información obtenida de la empresa OLEÍCOLA EL TEJAR, probablemente la más importante del mundo en el tratamiento y valorización de residuos y subproductos de almazara.
- d) Contactos con empresas suministradoras de productos, tecnologías y equipos utilizables en el tratamiento de este tipo de residuos y subproductos.
- e) Asistencia al seminario conclusivo del proyecto IMPROLIVE ya mencionado (Sevilla, abril de 2000, Instituto de la Grasa del CSIC), en donde se tuvo ocasión de contrastar con expertos internacionales el estado de la técnica y las vías de futuro.

Plan de exposición

Como resultado de la información disponible y recabada en aplicación de la metodología anterior, se ha elaborado el presente estudio con la siguiente pauta expositiva:

- a) El Capítulo I ofrece una panorámica general sobre el sector de la producción de aceituna y aceite de oliva, en términos geográficos y económicos.
- b) El Capítulo II se refiere a los procesos industriales para obtención de aceite de oliva así como de las actividades industriales conexas o derivadas. Se analizan con detenimiento y se cuantifican los subproductos y residuos generados en los distintos procesos o sistemas utilizables.
- c) El Capítulo III se describen y caracterizan con detalle estos residuos y subproductos. Se trata de ofrecer una evaluación tanto de los problemas que pueden generar como de los atributos que pueden justificar estrategias de valorización.
- d) Finalmente, el Capítulo IV entra de lleno en una descripción y, en su caso, evaluación técnica y económica de los sistemas y tecnologías disponibles para la gestión o tratamiento de los efluentes líquidos y sólidos de almazara.

Evidentemente, se pone mayor énfasis en aquellos procedimientos que se han mostrado más eficientes o que generan mayores expectativas de aplicación potencial. El Capítulo incluye, al final, una descripción de tres ejemplos de plantas con vocación de “procesado y aprovechamiento integral” de gran dimensión en España que son o han sido objeto de recientes desarrollos para hacer frente a la gestión del orujo de dos fases. Se incluye, asimismo, una recopilación a modo de recomendaciones en la toma de decisiones al nivel de almazara o de zona productora.

Un Apéndice I recoge las referencias que se han considerado más relevantes al objeto del estudio y, en otro Apéndice II, se incluye un breve reportaje fotográfico.

A modo de síntesis, se ha elaborado un apartado de RESUMEN Y CONCLUSIONES que se aporta al final del estudio.

CAPITULO I: CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR DEL ACEITE DE OLIVA

1.1. La Producción

La tabla 1.1 recoge los datos de producción mundial y europea de aceite de oliva durante las campañas 1992/93 a 1998/99.

Tabla 1.1. Producción mundial de aceite de oliva (x 1.000 Tm)

Campaña	Total mundial	Total U.E	Total España
1992/93	1.811,7	1.391,7	623,1
1993/94	1.722,8	1.257,3	550,9
1994/95	1.871,0	1.399,0	538,8
1995/96	1.746,5	1.414,0	323,0
1996/97	2.601,8	1.801,8	947,4
1997/98 (prev.)	2.503,5	2.162,0	1.088,3
1998/99 (prev.)	2.307,5	1.680,5	738,0
Media	2.080,7	1.586,6	687,1
%	100,0	76,2	33,0

La importancia socioeconómica del sector olivarero se aprecia considerando que en la Unión Europea existe, aproximadamente 2.000.000 de empresas olivareras, que la producción de aceite de oliva de la U.E. representa el 80% de la producción mundial y que se generan 750.000 empleos a tiempo completo.

La producción mundial de aceituna es variable y está sometida a multitud de factores entre los cuales destacan los meteorológicos. En efecto, la mayoría de las plantaciones mundiales se encuentran en condiciones de secano, por lo que el régimen de precipitaciones anuales, asociado a los fenómenos de vecería de la especie, condicionan fuertemente las cosechas. Una estimación media de la producción de aceituna y de aceite de oliva se recoge en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. Datos medios de cultivo y producción

	Unión Europea	Otros Países	España	Total
Olivas recogidas (t/año)	7.700.000	2.000.000	3.450.000	9.700.000
Aceite producido (t/año)	1.450.000	375.000	650.000	1.825.000

España, con aproximadamente el 35% de la producción mundial y el 44% de la producción de la U.E, es el principal productor de aceite de oliva, seguido de **Italia** (460.000 Tm) **Grecia** (280.000 Tm), **Túnez y Turquía**. La distribución de la producción por países de la cuenca mediterránea (1988-89) se recoge en la tabla 1.3 (Datos del C.O.I)

Tabla 1.3. Producción, importación y exportación por países de la cuenca mediterránea (1998-99) (Tm)

	Producción	Import.	Export.
Unión Europea	1.615.000	150.000	230.000
Túnez	150.000	-	95.000
Turquía	170.000	-	60.000
Siria	115.000	-	5.000
Marruecos	65.000	-	20.000
Argelia	23.000	-	-
Jordania	18.000	2.000	-
Libia	8.000	500	-
Líbano	7.000	3.500	500
Israel	4.000	3.000	-
Palestina	3.500		1.000
Croacia	3.000	-	-
Chipre	1.500	500	-
Yugoslavia	1,0	-	-

Otros países productores mediterráneos son:

- **Albania**, con unas 45.000 Ha de olivo y una producción de aceite estimada en unas 7.000 Tm (datos de la Universidad de Tirana)
- **Chipre**, con 5.800 Ha y una producción estimada en 2.500 Tm de aceite de oliva.

La extracción de aceite de oliva tiene lugar en las denominadas “almazaras”, siempre situadas en las propias zonas de producción. El número de estas industrias en los principales países productores se indica en la tabla 1.4.

Tabla 1.4. Número de almazaras y producción media de los principales países productores

	Nº de Almazaras	Producción media (t/año)
España	1.920	650.000
Italia	7.500	462.000
Grecia	2.800	281.000
Túnez	1.209	168.750
Turquía	1.141	75.000

Dos aspectos conviene señalar en relación con la **localización** y la **dimensión** de las almazaras:

1.1.1. Concentración

De las aproximadamente 1.900 almazaras existentes en España, más de la mitad se encuentran en Andalucía, que con más del 60% de la superficie olivarera española produce el 80% del aceite de oliva nacional.

En Italia, el 60% de las almazaras se encuentran en las regiones del Sur, principalmente en Puglia, Calabria y Sicilia. En Túnez, existe una gran concentración en la región de Sfax. En Grecia se sitúan en las regiones de Peloponeso, Creta y las islas Aegea y Ionia.

El número de almazaras en algunos otros países productores es el siguiente:

- Albania: 27
- Chipre: 32
- Israel: 105
- Líbano: 650
- Portugal: 900

1.1.2. Dimensión media

En casi todos los países y regiones productoras, la dimensión media de las almazaras en términos de volumen de aceituna molturada por año, es realmente pequeña, con cifras que oscilan entre menos de 100 y 1.500 Tm/año.

Debe exceptuarse el caso de España donde en Andalucía existen numerosas almazaras con volúmenes de 20.000-50.000 Tm/año. En Cataluña, sólo en la región del Ebro se pueden encontrar almazaras con volúmenes del orden de 10.000 Tm/año.

1.2. El consumo

El consumo mundial de aceite de oliva se halla bastante equilibrado con la producción, alcanzando, por tanto, unos 2 millones de Tm/año en las últimas campañas.

Sin embargo, en términos relativos supone únicamente el 3% del consumo mundial aceites vegetales y ocupa el octavo lugar en el ranking de consumo de estos productos (Tabla 1.5)

Tabla 1.5. Consumo mundial de aceites vegetales (millones de Tm)

Tipos de aceite	Campañas			
	1987/88	1989/90	1991/92	1993/94
Soja	15,20	16,11	16,42	18,19
Palma	8,57	10,99	12,24	14,41
Colza	7,48	7,96	9,62	9,38
Girasol	7,22	7,72	8,15	7,68
Cacahuete	3,56	4,06	3,85	4,16
Algodón	3,64	3,78	4,45	3,63
Coco	2,91	3,04	2,82	2,94
Oliva	1,89	1,86	1,97	2,11
Palmiste	1,17	1,39	1,54	1,86
Maíz	1,32	1,40	1,50	1,68
Otros (sésamo, linaza, ricino)	1,81	1,66	1,77	1,71
Totales	54,77	59,97	64,33	67,76

En cualquier caso, las cifras de la tabla anterior reflejan una ligera tendencia al incremento del consumo de aceite de oliva, que se ve notablemente aumentada en países como EE.UU.

1.3. Los intercambios mundiales

Las exportaciones e importaciones mundiales de aceites de oliva, incluyendo las exportaciones intracomunitarias, se reflejan en las tablas 1.6 y 1.7.

Los datos reseñados permiten constatar:

- a) Enorme peso de Italia en el comercio mundial de aceite de oliva, a pesar de la gran diferencia de producción en relación con España, tanto como país exportador como importador, lo que refleja también su papel como re-exportador.
- b) La importancia de España, Grecia y Túnez como países exportadores.
- c) El creciente papel de EE.UU., como principal país importador después de Italia. Puede, en efecto, añadirse que las importaciones de EE.UU. han pasado de ser del orden de 25.000 Tm/año a comienzos de los años noventa hasta aproximarse a las 200.000 Tm en la última campaña.

Tabla 1.6. Exportaciones mundiales de aceite de oliva (medias de los años 90)

Países	Volumen (x 1.000 Tm)	Porcentaje
España	250,2	35,4
Italia	145,6	20,6
Grecia	117,4	16,6
Portugal	11,3	1,6
Otros países U.E	16,8	2,4
Total U.E	541,3	76,6
Túnez	113,8	16,1
Turquía	21,4	3,0
Otros países	29,9	4,2
Total mundial	706,4	100,0

Tabla 1.7. Importaciones de aceite de oliva (medias de los años 90)

Países	Volumen (x 1.000 Tm)	Porcentaje
Italia	301,7	42,0
España	55,9	7,8
Francia	51,8	7,2
Portugal	26,5	3,7
Reino Unido	16,3	2,2
Alemania	12,8	1,8
Otros U.E	21,6	3,0
Total U.E.	486,6	67,8
EE.UU.	109,9	15,3
Brasil	18,9	2,6
Canadá	13,4	2,3
Australia	16,0	2,2
Japón	10,0	1,4
Resto del mundo	62,7	8,3
Total mundial	717,5	100,0

1.4. La cadena industrial y comercial del aceite de oliva

1.4.1. Los productos

De conformidad con la norma COI/T.15/NC núm. 2 Rev., del Consejo Oleícola Internacional, de 20 de noviembre de 1997, los aceites de oliva se clasifican del modo siguiente:

1. **Aceite de oliva virgen apto para el consumo o "natural"**, definido como el producto obtenido de la aceituna por medios físicos y en condiciones térmicas que no produzcan alteraciones, sin más tratamiento que el lavado, la decantación, la centrifugación y el filtrado. Se distinguen los siguientes tipos:
 - **Aceite de oliva virgen extra**, cuya acidez libre expresada en ácido oleico no debe superar 1% en peso y con características organolépticas fijadas en la norma.

- **Aceite de oliva virgen o “fino”**, con acidez inferior a 2% y características organolépticas fijadas en la norma.
 - **Aceite de oliva virgen corriente**, con acidez máxima de 3,3 %, con limitaciones organolépticas fijadas en la norma.
 - **Aceite de oliva virgen no apto para el consumo en la forma en que se obtiene**, también denominado **“lampante”**: Acidez superior a 3,3% y con limitaciones organolépticas fijadas en la norma. Se destina a refinación o a usos no alimentarios.
2. **Aceite de oliva virgen no apto para el consumo en la forma en que se obtiene**, también denominado **“lampante”**: Acidez superior a 3,3% y con limitaciones organolépticas fijadas en la norma. Se destina a refinación o a usos no alimentarios.
 3. **Aceite de oliva refinado**, que proviene de la refinación del aceite de oliva virgen lampante, mediante técnicas de refinación que no provocan modificaciones en la estructura glicéridica inicial.
 4. **Aceite de oliva**, constituido por una mezcla de aceite de oliva refinado y aceite de oliva virgen apto para el consumo (tipos 1 mezclados con tipo 3).
 5. **Aceite de orujo de oliva**, que es el obtenido por extracción con disolventes a partir de los orujos de almazara. Se comercializa bajo la tipología siguiente:
 - **Aceite de orujo de oliva crudo**, que es el destinado a refinado o a usos no alimentarios.
 - **Aceite de orujo de oliva refinado**, obtenido por refinación del aceite de orujo crudo.
 - **Aceite de orujo de oliva** que es el obtenido como mezcla de los tipos 5.3 y 1

1.4.2. Los agentes del sector

Intervienen en la industria y el mercado del aceite de oliva los siguientes tipos de operadores o “funciones” básicos:

- a) **Almazaras**, normalmente vinculadas a la producción y, por ello y en muchos casos, con estructura cooperativa.
- b) **Extractoras** (comúnmente denominadas “orujeiras”), que proceden a la extracción de aceite del orujo.
- c) **Refinadores**, con instalaciones dedicadas a la refinación de aceites de diversos tipos, entre ellos el de oliva no apto para el consumo. Obtienen aceite refinado.
- d) **Envasadores**, cuya actividad consiste en el embotellado del aceite de oliva adquirido a almazaras o de otras procedencias. Suelen disponer de instalaciones de almacenaje de aceite y suelen actuar como mayoristas en la distribución comercial. Mediante operaciones de mezcla, obtienen los distintos aceites de oliva comerciales, con marcas propias o trabajando con marcas “blancas”.
- e) **Mayoristas**, en el mercado nacional o de exportación. Llevan a cabo actividades de intermediación comercial a escala interior o en el mercado internacional.
- f) **Detallistas**, que son los vendedores finales al consumidor. Incluyen desde las pequeñas tiendas hasta las grandes cadenas de distribución alimentaria.

En realidad, se trata de un conjunto de funciones algunas de las cuales son realizadas por un mismo operador. Los casos más frecuentes de integración funcional son los de “almazara - envasadora”, “extractora - refinadora”, “almazara - detallista”, “envasador - mayorista”, etc.

En los últimos años, y a raíz de la aparición del sistema de extracción por centrifugación a dos fases (ver Cap. II del estudio), ha aparecido una “nueva función” consistente en el **procesado de alperujos** (en general, secado) que se sitúa entre la almazara y la extractora.

CAPÍTULO II: LOS PROCESOS INDUSTRIALES DE ELABORACIÓN DE ACEITE Y LOS RESIDUOS Y SUBPRODUCTOS GENERADOS

2.1. Visión general de la industria del aceite de oliva

En la figura 2.1 se ilustra un esquema general del proceso de obtención del aceite de oliva, los operadores más relevantes y los productos, subproductos y residuos que se generan, con sus utilidades más comunes. Este proceso se describe en los epígrafes siguientes.

2.1.1. Procesado en almazara

Empezando por la materia prima, **la aceituna**, el primer y básico proceso de extracción tiene lugar en la **almazara** o “molino” extractor. Mediante procedimientos físicos o mecánicos de molienda, extracción y separación, se obtienen los siguientes productos:

- a) **Aceite de oliva virgen** y, a veces, **aceites lampantes**, cuya clasificación y descripción se ha expuesto en el epígrafe 1.4.1 anterior
- b) **Alpechines** o residuo líquido, constituido por las aguas de vegetación de la aceituna, con frecuencia mezclado con agua añadida en el proceso. Presentan elevado, aunque variable, poder contaminante y, por ello, deben ser objeto de tratamiento o gestión específica para evitar impactos ambientales negativos. En función del sistema de separación utilizado en el proceso de extracción de aceite, así como de las estrategias de manejo de los efluentes líquidos en general, se obtienen alpechines en cantidad y composición diversa.
- c) **Orujos** o residuo sólido conteniendo la pulpa, el hueso y el tegumento de la aceituna, con un nivel de humedad que oscila entre el 25% y el 40% y con un contenido graso del orden del 3-7%, según el proceso de extracción empleado.

El orujo puede ser objeto de diversas utilidades:

- Segunda extracción del aceite residual en industria extractora para producción del aceite de orujo.
- alimentación de ganado en especies rumiantes (ovino, vacuno, camélidos)
- Combustible sólido

- d) **Orujo húmedo o “alperujo”**, residuo de consistencia pastosa con humedad superior al 60%, que se produce cuando se utiliza el sistema de extracción a dos fases (ver más adelante, epígrafe 2.2.2) Se trata, en realidad, de una mezcla de orujo y alpechín que requiere un secado previo para poder ser utilizado por la industria de segunda extracción, o bien sistemas de gestión específicos.
- e) **Orujo deshuesado graso**, obtenido en ocasiones por separación del hueso y la pulpa del orujo. El hueso resulta ser un excelente combustible.
- f) **Restos vegetales y térreos**, procedentes del lavado de la aceituna procedente de recolección. Normalmente, se reincorporan al suelo como fertilizante orgánico, con o sin compostaje previo.

Como media, el procesado de 100 Kg de aceituna proporciona unos 20 Kg de aceite y, dependiendo de los casos y de los sistemas de extracción, los siguientes efluentes y subproductos:

- 40 Kg de orujo con una humedad el orden del 35% más 40 Kg de aguas residuales, cuando se utiliza el sistema tradicional.
- 55 Kg de orujo con humedad del 50% más 100 Kg de aguas residuales, cuando se utiliza el sistema continuo a tres fases.
- 70 Kg de orujo con más del 60% de humedad más 10 Kg de aguas residuales, cuando se usa el sistema continuo a 2 fases.

El vertido o la eliminación de las aguas residuales ha significado siempre un problema ecológico de considerable importancia. Por otra parte, el aprovechamiento o valorización de los subproductos y residuos de almazara presenta aspectos positivos que se ha pretendido siempre aprovechar. La cantidad y calidad o tipo de estos productos depende, básicamente, del sistema de extracción de aceite utilizado, tal como se analiza en epígrafes posteriores.

2.1.2. Procesado de orujos

En las plantas extractoras u “orujeiras” tiene lugar un secado hasta humedad de proceso (8-10%) y la extracción química utilizando el hexano como disolvente de la fracción grasa. El proceso da lugar a:

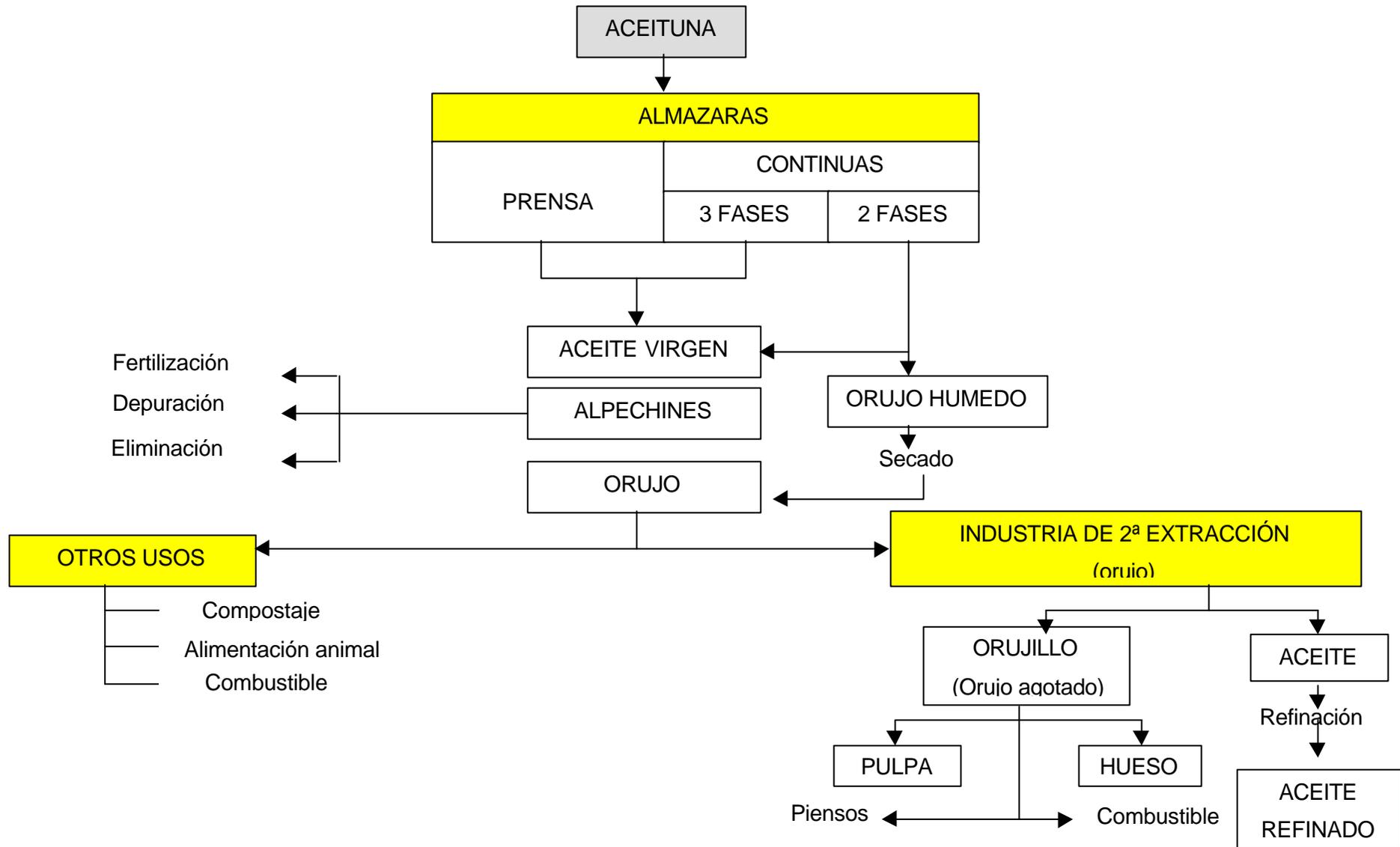
- a) **Aceite de orujo**, cuya descripción y clasificación se ha expuesto en el epígrafe 1.4.1 anterior.
- b) **Orujillo** u “orujo agotado”, compuesto por pulpa y hueso de la aceituna ya muy seco y prácticamente exento de grasa.
- c) **Orujillo tamizado**, que es el producto que resulta de la separación más o menos total del hueso del orujillo por sistemas neumáticos o de cribado.

2.1.3. El proceso de refinación

Tiene por objeto la recuperación para uso alimentario de aceites inicialmente no aptos debido esencialmente a la elevada acidez y a los defectos de sabor y aroma.

Del proceso se obtiene el aceite refinado y las denominadas “**pastas de neutralización**”, que suelen destinarse a industrias de formulación de grasas para su inclusión a piensos compuestos para el ganado o para usos técnicos no alimentarios.

Fig. 2.1. Visión general sobre productos, subproductos y residuos en la industria de aceite de oliva



2.2. Descripción general y operaciones básicas del proceso de extracción en almazara

En la figura 2.1 se ilustra el proceso general de trabajo al nivel de almazara, es decir, para obtención de aceite de oliva virgen. Las operaciones básicas y sus variantes se describen a continuación.

2.2.1. Operaciones de recepción

Consisten en la preparación de la aceituna para su posterior molienda. Se trata de operaciones comunes a todas las almazaras, variando únicamente el grado de perfección y automatización con que son realizadas. Se trata, esencialmente, de:

- Limpieza y lavado
- Control de peso y de calidad: aspecto, acidez, rendimiento graso.
- Almacenaje o “atrojado”.

2.2.2. Operaciones de molienda y extracción

Estas operaciones son:

- a) **La molienda** se realiza mediante molinos de piedras (tradicionales) o de martillos o discos (instalaciones modernas) Existen variantes de tipo mixto, con molienda previa en empiedro y posterior paso por molino - homogeneizador de cuchillas o dientes.
- b) Un posterior **batido** a temperatura adecuada prepara la **pasta o masa** para favorecer la separación del aceite.
- c) La **extracción o separación** de las fases grasa (aceite) sólida (orujo) y acuosa (aguas de vegetación) Los sistemas utilizados pueden responder a tres tipos:
 - SISTEMA DE PRENSAS o tradicional, consistente en el prensado de la pasta mediante prensas hidráulicas. Se trata de un sistema “discontinuo” por la necesidad de proceder según “cargas” o ciclos de prensa secuenciales.

Fig. 2.2. Esquema general del proceso industrial en almazara

ZONA/ENTRADAS	OPERACIONES	EQUIPOS	SALIDAS	
1. – AREA DE RECEPCION Aceituna de cosecha →	DESCARGA	Tolvas, cintas		
	-			
	-			
	LIMPIEZA	Neumática, criba	Hojas, tierra,	
	-		Brotos,...	
	-			
	CONTROL	Báscula, laboratorio		
	-			
	-			
	ALMACENAJE	Tolvas		
-				
-				
LAVADO	Lavadora agua	Aguas de lavado		
-				
2. - AREA EXTRACCION ACEITE Agua, sistema 1 →	-			
	-			
	MOLIDO	1. Molino piedra		
	-	2. Molino martillos		
	-	3. Tipos mixtos		
	-			
	BATIDO	Batidora		
	-			
	Agua, sistemas 1 y 2 →	SEPARACIÓN	1. - Prensa	Aceite +
	-	2. - Decanter 3 F	Alpechín + orujo	
-	3. - Decanter 2 F	Aceite + alperujo		
-				
Agua →	LIMPIEZA	Centrifuga y pozos decantación	Aceite Alpechín	
-				
3. – BODEGA	-			
	ALMACENAJE	Depósitos inox		
	-			
4. – AREA EMBOTELLADO Envases, materiales auxiliares →	FILTRADO			
	-			
	EMBOTELLADO	Línea embot.	Aceite envasado	
	-			
	EXPEDICION			

- SISTEMA CONTINUO DE TRES FASES, en el cual la separación del aceite de la masa se realiza por centrifugación, utilizando una centrífuga horizontal denominada “decanter” que trabaja en continuo. Al igual que en el caso anterior, el resultado del proceso es el **aceite**, el **alpechín** y el **orujo** o residuo sólido.
- SISTEMA CONTINUO DE DOS FASES, que constituye una variante del anterior, en el cual el decanter separa el aceite y mezcla el orujo y las aguas de vegetación en una sola fase de consistencia pastosa denominada **orujo húmedo**, **orujo de 2 fases** o **alperujo**.

El sistema tradicional de prensado se ha venido utilizando hasta hace tan solo 20 ó 30 años, cuando empezó a sustituirse por el método continuo de extracción por centrifugación. En España aproximadamente el 90% de las almazaras utilizan el sistema de 2 fases, pero en Italia todavía la mitad de la producción se obtiene por el método tradicional de prensado. En Grecia en la actualidad el 85% de la producción se hace por el método continuo de la centrifugación, especialmente por el método de las 3 fases.

- d) La **limpieza del aceite** o separación de los restos de residuo sólido (finos) y acuoso procedente de la operación anterior. Se realiza por filtrado (filtro de malla, separación parcial de sólidos de mayor tamaño de partícula), decantación en pozuelos apropiados y/o por centrifugación en centrifugadora vertical de alta velocidad. El proceso de centrifugación requiere la adición de agua caliente.

2.3. Sistema Tradicional

Tradicionalmente y, hasta la aparición de los modernos métodos de extracción por centrifugación, el método de la extracción por presión ha sido el único procedimiento existente para la obtención del aceite de oliva. En este método, la oliva, atrojada y lavada en el patio de la almazara, se muele en un molino de piedras. La pasta sólida resultante se dispone extendida en finas capas sobre discos de material filtrante (tela o más recientemente fibra plástica), denominados capachos. Los capachos se apilan unos encima de otros en una vagoneta y van guiados por una aguja central. El conjunto que forman la vagoneta, la aguja y los capachos apilados con la pasta reciben el nombre de **cargo**. Éstos se someten a prensado mediante una prensa hidráulica. La presión que recibe el cargo es generada por un grupo de bombas hidráulicas alojadas en la llamada **caja de bombas**.

La operación descrita es discontinua y consta de 3 etapas:

- La etapa de formación del cargo
- Prensado
- Descapachado

Una vez se ha confeccionado el cargo se comienza a aplicar presión obteniéndose un líquido que fluye sobre la vagoneta. El líquido que se obtiene al principio es un mosto rico en aceite, cuya calidad va disminuyendo a medida que aumenta la presión de extracción. Concluido el prensado, la fase líquida se lleva a depósitos (pozuelos o alberquillas), donde se produce la decantación natural, separándose la fase acuosa de la oleosa, obteniéndose aceite de oliva virgen y alpechín (aproximadamente 40-60 l de alpechín por cada 100 Kg de aceituna.) Con el fin de acelerar y mejorar la eficiencia del proceso de decantación, puede utilizarse una centrífuga vertical para separar el aceite del alpechín.

Concluida la etapa de prensado, se procede con la operación de descapachado. Una vez que se ha retirado el residuo sólido, que presenta una humedad en torno al 26%-30% y un contenido graso en torno al 8%, se procede al lavado y limpieza de los capachos que debe realizarse con sumo cuidado para asegurar la completa eliminación de partículas que hubieran podido quedar atrapadas en el tejido y que dado las condiciones de humedad y temperatura, comienzan a desarrollar pronto procesos hidrolíticos y oxidativos, que pueden transmitir al aceite mal sabor y alta acidez.

El residuo sólido que queda en los capachos, orujo, es un subproducto que previamente secado se utiliza para la extracción, con disolventes orgánicos, de aceite de orujo en las orujeras.

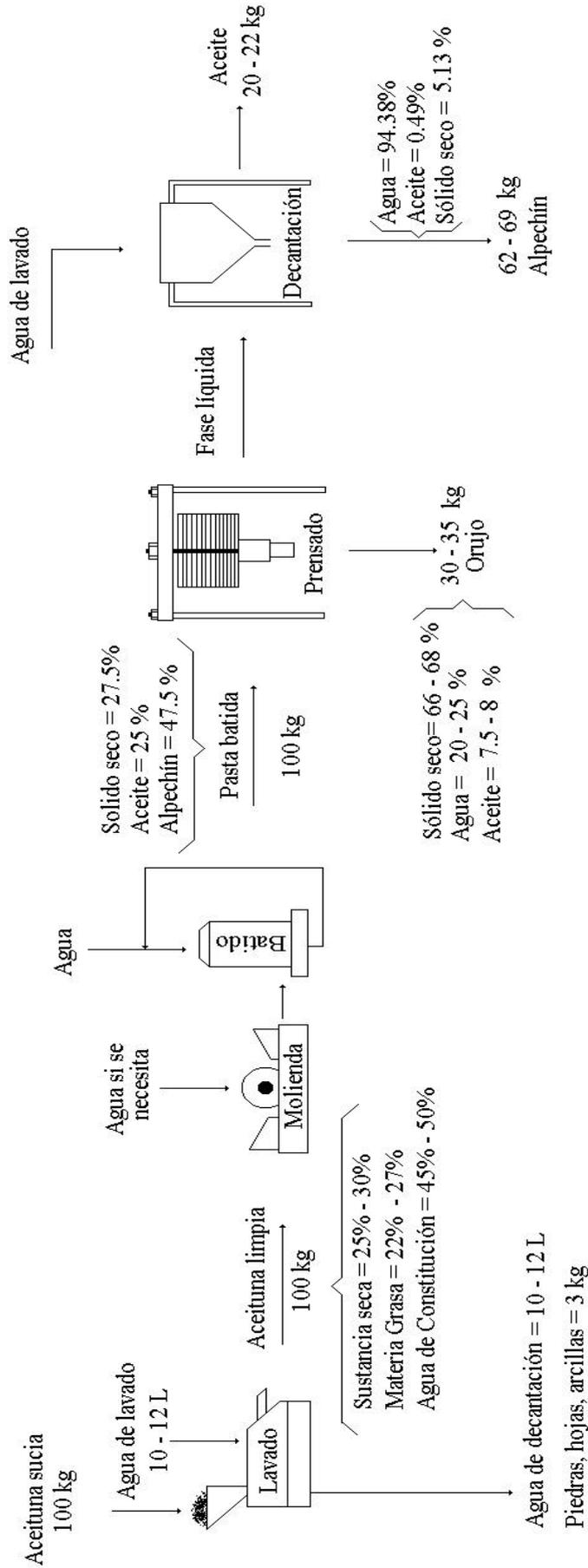


Figura 2.3. - Diagrama de elaboración de aceite de oliva y balance de materia aproximado del sistema tradicional

2.4. Sistema continuo de tres fases

El sistema continuo se empezó a implantar en los años 70 cuando se comenzaron a aplicar las nuevas tecnologías a la extracción del aceite de oliva. La moderna concepción de la extracción sustituía la tradicional prensa por **centrífugas horizontales**, denominadas "**decanters**", lo que mejoró considerablemente los rendimientos y la productividad de las almazaras.

El nuevo método presentaba las siguientes ventajas con respecto al método tradicional:

- Simplificación mecánica
- Eliminación de los capachos
- Elaboración en continuo
- Menor necesidad de mano de obra
- Menor superficie ocupada por la instalación

El método de extracción continua precisa, al igual que el tradicional, de una molienda previa que se realiza en molinos de martillo o de discos. Finalizada la molienda la pasta se envía por medio de una bomba dosificadora de velocidad variable a una centrífuga horizontal. En la centrífuga se separan 3 fases; el orujo, el aceite y el alpechín.

La fase sólida, llamada orujo u **orujo de tres fases**, contiene la mayor parte de los sólidos que se encuentran en la aceituna; piel, pulpa, hueso, y una pequeña porción de aceite. El orujo se envía a las orujeras para proceder a la extracción del aceite restante obteniéndose el denominado aceite de orujo.

El residuo acuoso denominado alpechín o jamila, es inicialmente un líquido oscuro, de color rojizo, que rápidamente debido a una serie de procesos enzimáticos se degrada, convirtiéndose en el alpechín. Éste es un líquido maloliente de color negro fuertemente contaminante. La cantidad y calidad del alpechín producido es variable, dependiendo del sistema, tipo de aceituna, agua utilizada, etc. La fase acuosa contiene una pequeña cantidad de aceite, que se separa sometiendo al alpechín a una nueva centrifugación en una centrífuga vertical. Como término medio, se genera

1 m³ de alpechín por tonelada de aceituna, con una carga contaminante media de 70 Kg DQO/t de aceituna.

La fase líquida oleosa, que contiene una pequeña cantidad de alpechín, debe ser purificada mediante una centrifugación, más energética, en una centrifuga vertical.

El consumo de agua en el sistema de tres fases es notablemente superior al del sistema tradicional, cifrándose en un total aproximado de 100 –130 L por cada 100 Kg de aceituna. La distribución del consumo de agua en las almazaras es el siguiente:

- En el lavado, que suele ser en ciclo cerrado, el consumo es del orden de 10-12 l/100 Kg de aceituna.
- En la molienda, en ocasiones, se debe añadir agua caliente para evitar la adhesión de la pasta a la superficie, con un consumo medio de aproximadamente 25 l/Kg de aceituna.
- En el batido se utiliza agua caliente en circuito cerrado.
- En la etapa de separación o centrifugado en decanter es donde se utiliza la mayor cantidad de agua, que debe ser caliente para facilitar el transporte. El gasto se produce en dos etapas en una etapa previa a la centrifugación con un gasto alrededor de 80-100 l/Kg. de aceituna. Para la propia centrifugación se añaden aproximadamente 20 l agua /100 Kg. de aceituna con el propósito de mejorar la separación.

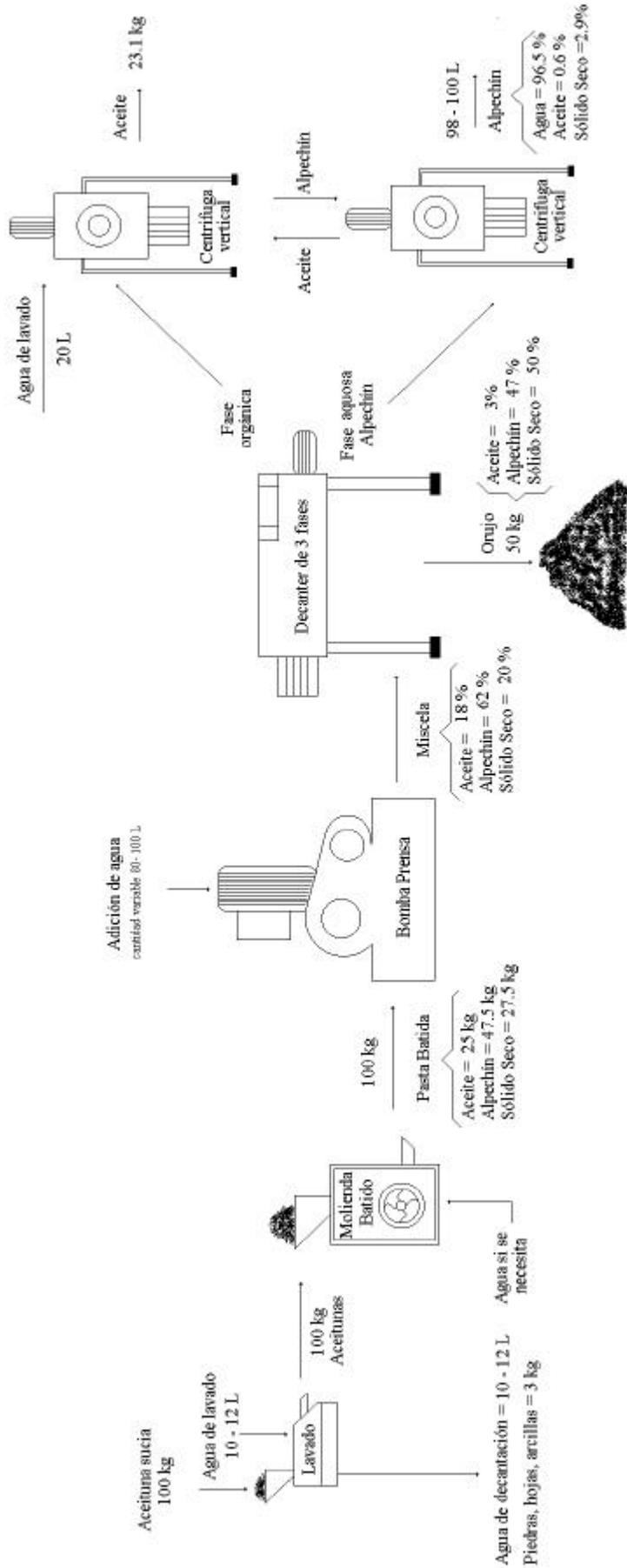


Figura 2.4. - Diagrama de elaboración de aceite de oliva y balance de materia aproximado del sistema de extracción de tres fases.

2.5. Sistema continuo de dos fases

La gran cantidad de residuos generados en el proceso de extracción del aceite de oliva por el método de las tres fases, junto con la cada vez más exigente legislación respecto al tratamiento y gestión de los residuos de almazara en algunos países, potenciaron el desarrollo de nuevas tecnologías y el nuevo sistema que se denominó “ecológico” de **dos fases**¹.

La principal novedad que aporta el sistema de dos fases es la de permitir la elaboración de aceite de oliva virgen sin necesidad de adicionar agua al “decanter”; razón por la cual prácticamente no se producen alpechines. Esta tecnología extractiva presenta la ventaja de un importante ahorro de agua, energía e impacto ambiental.

El sistema de dos fases modifica las condiciones de operación al eliminar la necesidad de añadir agua caliente en el proceso. Además, es necesario modificar el “decanter”. En el proceso se generan dos corrientes, una que contienen el aceite y otra que contiene la mayor parte de los sólidos y casi toda el agua de constitución, que recibe el nombre de *alpeorujo*, aunque a veces por analogía con el sistema de las tres fases también se la denomina **orujo de dos fases**.

El aceite directamente obtenido en el “decanter” necesita ser sometido a un proceso de centrifugación más enérgico en una centrifuga vertical para limpiar el aceite.

¹ A modo de ejemplo, el sistema de dos fases se introdujo en España en la campaña 1991-1992.

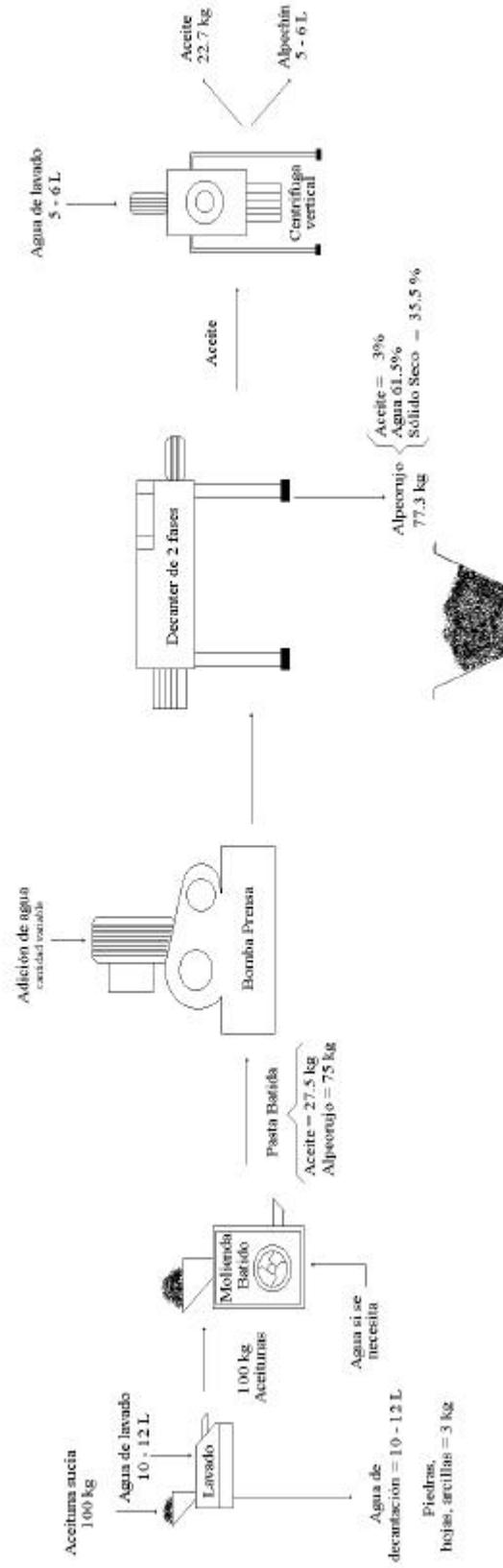


Figura 2.5. - Diagrama de elaboración de aceite de oliva y balance de materia aproximado del sistema de dos fases

2.6. Comparación de los sistemas de dos y tres fases

La fuerte implantación que ha tenido el sistema de dos fases no se ha debido únicamente al ahorro de agua y a la muy sustancial eliminación de los alpechines, sino que han influido también otros factores. Los principales se enuncian a continuación.

- La construcción del “decanter” de dos fases es más sencilla que la del “decanter” de tres fases lo que abarata el precio de adquisición considerablemente.
- El rendimiento en aceite del sistema de dos fases es algo mayor que el obtenido con el sistema de tres fases, debido a que queda más aceite retenido en el sólido.
- La capacidad de procesado de las centrifugas de dos fases es superior que la de las centrifugas de tres fases al no necesitar adición de agua en el proceso de extracción.
- La calidad del aceite producido por el sistema de dos fases es algo superior o “diferente”, especialmente en lo que se refiere a la resistencia a la oxidación y el carácter más amargo.
- El coste de operación es menor.

2.7. Comparación entre los tres sistemas utilizados

A modo de recopilación, en la tabla 2.1 que se acompaña se indica el balance “input-output” de materia y energía en los tres sistemas descritos.

Tabla 2.1. Análisis “input-output” de materias y energía en los tres sistemas de elaboración de aceite de oliva

SISTEMA	ENTRADAS	CANTIDAD	SALIDAS	CANTIDAD
Prensa	Aceituna	1 Tm	Aceite	200 Kg
	Agua lavado	100-120 l	Orujo (26% agua, 7% aceite)	400-600 Kg
	Energía	40-60 Kw/h	Alpechines (88% agua)	400-600 l
3 Fases	Aceituna	1 Tm	Aceite	200 Kg
	Agua lavado	100-120 l	Orujo (40% agua, 4% aceite)	500-600 Kg
	Agua añadida	700-1.000 l	Alpechines (94% agua, 1% aceite)	1.000-1.200 l
	Energía	90-117 Kw/h		
2 Fases	Aceituna	1 Tm	Aceite	200 Kg
	Agua lavado	100-120 l	Alperujo (60% agua, 3% aceite)	800 Kg
	Energía	< 90-117 kw/h	Agua limpieza aceite	100-150 l

Para tener una visión completa de los tres sistemas, debería añadirse que:

- Los costes de mano de obra son superiores en el sistema de prensa.
- La calidad del aceite en lo que se refiere a su estabilidad es algo superior en el sistema de 2 fases.
- La inversión por Tm procesada es menor en los sistemas continuos y, dentro de estos, en el sistema de 2 fases.

CAPITULO III: CARACTERIZACIÓN Y PROBLEMÁTICA GENERADA POR LOS RESIDUOS DE ALMAZARA

3.1. Introducción

La estandarización de la terminología utilizada para denominar los residuos generados en la elaboración de aceite de oliva no se ha conseguido y depende de multitud de factores, siendo el principal de ellos el geográfico. En la tabla 3.1 se muestra un resumen de los principales términos acuñados en los países mediterráneos para referirse a estos residuos.

Tabla 3.1. Terminología utilizada para designar los residuos generados en las almazaras

	Sistema tradicional y continuo de 3 fases²	Sistema de 2 fases
Residuos sólidos	Orujo (Sp) Pirina (Gr/Tk) Husk (En) Pomace (It) Cake (En) Sansa (It) Grignon (Fr)	Alpeorujo (Sp) Orujo de 2 fases (Sp) Sansa humida (It)
Residuos líquidos	Alpechín (Sp) Margine (Fr) Katsigaros (Gr) Jamila (Sp) Aque di vegetazione (It) Olive-mill wastewater (En) Olive vegetation water (En)	

Los principales subproductos y residuos generados en el proceso de extracción del aceite de oliva son los siguientes:

² En: Inglés; Gr: Griego; It: Italia; Sp: Español; Tk: Turco; Fr: Francés

a) Residuos líquidos:

- Generados en el proceso de preparación de la aceituna para su molturación:
 - aguas de lavado del fruto
 - aguas de escurrido de las tolvas de almacenaje
- Generados en el proceso de extracción:
 - aguas de vegetación de la propia aceituna
 - aguas de limpieza del aceite
 - agua añadida en el proceso

Cuyo conjunto constituye los genuinamente denominados “alpechines”.

b) Residuos sólidos

- Orujo convencional, procedente de los sistemas de prensa o continuo a tres fases.
- Alpeorujo, orujo húmedo o de dos fases
- Restos vegetales y terrosos y piedras generados en el proceso de limpieza de aceituna de cosecha.

Cada uno de los residuos o subproductos mencionados presentan características y utilidades que exigen una gestión apropiada. En los puntos siguientes se profundiza sobre estos aspectos.

3.2. Residuos líquidos principales: Alpechines

3.2.1. Composición

La composición de los alpechines es muy variable y depende de multitud de factores entre los que hay que destacar el tipo de aceituna y el proceso de elaboración del aceite. En la tabla 3.2 se muestran la composición media de los alpechines según datos recogidos en la bibliografía y en la tabla 3.3 una comparación entre la composición de los alpechines obtenidos por el sistema tradicional y el sistema continuo de tres fases.

Tabla 3.2. Resumen composición media de alpechines según distintos autores

	Unit	Pompei (1974)	Fiestas (1981)	Stegmans (1992)	Hamadi (1993)	Andreozzi (1998)
pH	g/L	-	4,7	5,3	3-5,9	5,1
DQO	g/L	195	-	108,6	40-220	121,8
DBO₅	g/L	38,44	-	41,3	23-100	-
Sólidos totales	g/L	-	1-3	19,2	1-20	102,5
Sólidos orgánicos totales	g/L	-	-	16,7	-	81,6
Grasas	g/L	-	-	2,33	1-23	9,8
Polifenoles	g/L	17,5	3-8	0,002	5-80	6,2
Ac. Orgánicos	g/L	-	5-10	0,78	0,8-10	0,96
Nitrógeno total	g/L	0,81	0,3-0,6	0,6	0,3-1,2	0,95

Tabla 3.3. Datos comparativos composición de los alpechines en función del sistema de elaboración de aceite de oliva

	Unidades	Sistema tradicional	Sistema continuo
pH	g/L	4,5-5	4,7-5,2
DBO₅	g/L	120-130	45-60
DQO	g/L	90-100	35-41
Sólidos suspensión	g/L	1	9
Sólidos totales	g/L	120	60
Sales minerales	g/L	15	5
Sustancias volátiles	g/L	105	55
Grasa	g/L	0,5-1	3-10

En las tablas 3.4 y 3.5 se muestra un resumen de la composición mineral y orgánica de los alpechines generados por el sistema tradicional, o de prensas, y los producidos al utilizar el sistema de tres fases. La composición corresponde a valores medios y deben tomarse con limitaciones ya éstos pueden variar dependiendo de la campaña y del tipo de aceituna.

Tabla 3.4 Composición media de la materia orgánica del alpechín

	Prensas	Sistema de 3 fases
Azúcares totales (p.p.m.)	20.000 – 80.000	5.000 – 26.000
Sustancias nitrogenadas (p.p.m.)	5.000 – 20.000	1.700 – 4.000
Ac. Orgánicos (p.p.m.)	5.000 – 10.000	2.000 – 4.000
Polialcoholes (p.p.m.)	1.000 – 1.500	3.000 – 5.000
Pectinas, mucílago (p.p.m.)	1.000 – 1.500	2.000 – 5.000
Polifenoles (p.p.m.)	1.000 – 2.400	3.000 – 2.300
Grasas (p.p.m.)	300 – 1.000	5.000 – 23.000

Se observa que los valores de composición de los alpechines generados en el proceso continuo de 3 fases son casi siempre inferiores a los del sistema de prensas. Ello es debido a su mayor dilución (mayor agua añadida en el sistema continuo)

Tabla 3.5 Composición mineral media del alpechín

	Prensas	Sistema de 3 fases
Fósforo	500	96
Potasio	3.000	1.200
Calcio	350	120
Magnesio	200	48
Sodio	450	245
Hierro	35	16

3.2.2. Producción

Lógicamente, en todos los países productores de aceite de oliva se generan alpechines. En la mayoría de estos países se producen fenómenos de concentración de almazaras en zonas productoras. Por ello, de un modo más o menos general o localizado, la gestión de residuos y subproductos afecta en mayor o menor grado a casi todas las situaciones productivas.

La producción estimada de alpechines en todo en los principales países productores de aceituna se muestra en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Producción estimada de alpechines y orujos en los principales países productores de aceituna.

		Alpechín (t/año)	Orujo (t/año)	Alpeorujo(t/año)
		Prensa/3 f/2 f	Prensa/3f	2 fases
ESPAÑA	Andalucía	85.938 357.618 97.583	42.969 182.967	1.441.570
	Cataluña	2.821 11.739 3.494	1.365 6.006	46.592
	Castilla	7.254 30.186 8.985	3.510 15.444	119.808
	Extremadura	4.733 19.706 5.865	2.290 10.082	80.652
	GRECIA	130.897 1.028.882 -	63.337 526.405	-
ITALIA	Norte	3.075 4.265 -	1.488 2.182	-
	Centro	70.283 97.489 -	34.008 49.878	-
	Sur	572.880 794.640 -	277.200 406.560	-
	TÚNEZ	78.120 617.265 -	37.800 315.810	-
	TURQUÍA	34.875 274.125 -	16.875 34.875	-

Como información adicional, la producción de alpechines se estima en 210.000 Tm en Marruecos, 32.000 Tm en Albania, etc.

En España se elabora más del 30% de la producción mundial de aceite de oliva, de la cual la mayor cantidad se produce en Andalucía, más concretamente en Córdoba y Jaén que generan más del 80% de los alpechines de Andalucía. En la tabla 3.7 se muestra el número de almazaras y la tecnología de extracción en la campaña de 1997.

Tabla 3.7. Número de almazaras (1997) Jaén y Córdoba

	Jaén		Córdoba	
Almazaras con prensas	71	24%	31	19%
Almazaras de 2 fases	115	38%	98	59%
Almazaras de 3 fases	15	38%	30	18%
Almazaras mixtas	-	-	7	4%
Total	301	100%	166	100%

En la campaña indicada se generaron los residuos líquidos (alpechines) que se indican en la tabla 3.8.

Tabla 3.8. Volumen generado de alpechín en m³ en la campaña de 1997

	Jaén		Córdoba	
Almazaras tradicionales	189.000	17%	30.345	10%
Almazaras de dos fases	225.750	20%	147.560	46%
Almazaras de 3 fases	702.000	63%	140.100	44%
Total	1.116.750	100%	318.005	100%

3.2.3. Poder contaminante

El poder contaminante de los alpechines tiene su origen en diversas causas (H. Fernández 1991), entre las que deben destacarse como principales las siguientes:

- El pH, que es causante principal y directo de la muerte de los peces, cuando el alpechín es vertido al cauce de los ríos.
- El contenido graso, que provoca la formación de una capa en la superficie del agua que impide su correcta oxigenación y el paso de la luz solar, impidiendo el desarrollo normal de la fauna y flora en el seno de ríos.
- El contenido orgánico, que contribuye al consumo del oxígeno disuelto.

El poder contaminante relativo del alpechín se puede evaluar, en términos de DBO₅, al observar la tabla 3.9 donde se muestran los valores típicos de otras industrias. De los datos que se muestran en la tabla se puede deducir que, considerando un valor medio por habitante y día de 60 g de DBO₅, la contaminación del alpechín equivaldría aproximadamente a contaminación generada por una población de 6 millones de personas durante todo un año.

Tabla 3.9. Valores típicos referidos a DBO₅ de diversas industrias

Industria	DBO5 (mg/L)
Almazaras	60.000
Alcoholeras	20.000
Lácteas	3.000
Mataderos	2.000
Azucareras	2.000
Curtidos	2.000

3.2.4. Valor fertilizante

Los contenidos en elementos orgánicos y minerales de los alpechines son, como ya se ha indicado, muy variables. Para su utilización como fertilizantes deben, en todo caso, caracterizarse debidamente al nivel de cada almazara.

A pesar de ello, y basándonos en contenidos medios aportados por la literatura técnica al respecto, se señalan a continuación los elementos de interés y las principales restricciones para el uso fertilizante de esta agua residual:

a) La composición media más frecuente se ajusta a los siguientes contenidos:

- Nitrógeno: 3-4%
- Potasio: 6-8%
- Fósforo: 0,2-0,3%

Información complementaria sobre esta composición la aporta el profesor Fiestas con los siguientes datos:

Contenidos en Kg/m³ de alpechín

	Sistema de prensas	Sistema continuo 3 fases
M. orgánica	105,00	26,00
N	2,00	0,60
P	0,50	0,10
K	3,60	1,20
Mg	0,20	0,04

b) Así, una dosis de 20 m³/ha aportaría:

- 80 UF de Nitrógeno orgánico
- 140 UF de potasa (K₂O)
- 4-6 UF de fósforo (P₂O₅) y de magnesio (MgO)

c) De este modo, bajo forma líquida el producto responde a la composición 1-0,1-1,5 en N – P - K.

d) La tasa de materia orgánica varía del 5% al 10%. A una dosis de 50 m³/Ha y un contenido en MO del 5%, la aportación de materia orgánica por Ha sería de 2.500 Kg, equivalente a unas 10 T/Ha de estiércol. La relación C/N del producto se halla normalmente comprendida entre 9 y 10, lo que es normal en enmiendas orgánicas para agricultura. Por ello, las aportaciones de alpechín no deberían modificar el equilibrio nutricional microbiológico del suelo.

- e) El pH es ácido, con valores normalmente inferiores a 5,5. Por ello, no deben aparecer problemas en suelos alcalinos y calcáreos, tan frecuentes en la cuenca mediterránea, pero debe tenerse este factor muy presente cuando se trata de fertilizar suelos ácidos. En estos casos, la corrección del pH mediante lechada de cal resulta conveniente.
- f) La conductividad eléctrica es elevada, del orden de 8 a 16 mmho/cm. Por ello debe prestarse especial atención a los riesgos de salinización del suelo.
- g) El contenido en compuestos orgánicos fitotóxicos es también apreciable, en particular en relación con los fenoles, glucósidos fenólicos, flavonoides y taninos. Por esta razón, las cantidades y las estrategias de aplicación deben ser cuidadosamente estudiadas en función de los cultivos.

3.3. Otros residuos líquidos

3.3.1. Aguas de lavado de aceituna

Se trata del agua utilizada en las lavadoras de aceituna, con un consumo muy variable y dependiente del tipo de producto procedente del campo (presencia mayor o menor de aceituna recogida del suelo) y que puede situarse alrededor de 80-120 litros de agua por Tm de oliva.

Esta agua arrastra básicamente partículas de polvo o tierra, así como pequeñas cantidades de materia grasa procedente de frutos más o menos dañados físicamente. Su contenido orgánico es de bajo valor y suelen ser fácilmente reciclables mediante simples operaciones de decantación y/o filtrado. Una composición orientativa de este tipo de efluente se recoge en la Tabla 3.10 (Alba, 1997):

Tabla 3.10. Composición de las aguas de lavado de aceituna.

	Valores
Sólidos (%)	0,50-0,67
Cont. Aceite s/mat. húmeda(%)	0,10-0,16
DQO (g/Kg)	7,87-10,35

3.3.2. Aguas de lavado de aceite

Se trata de las aguas procedentes de la última centrifugación del aceite, en cuya operación se añade al aceite una proporción de agua caliente que oscila entre el 15 y el 50% del volumen de aquél elemento.

Las aguas resultantes son, pues, una mezcla del propio residuo acuoso contenido en el aceite procedente de extracción y el agua caliente añadida. En realidad, este residuo se incorpora tradicionalmente al residuo líquido generado en la extracción en prensa o decanter, constituyendo su conjunto el “alpechín”.

No obstante, en las almazaras funcionando bajo el sistema continuo a dos fases, esta agua constituiría prácticamente el único residuo líquido existente, dado que no existe producción de alpechín en el proceso de extracción.

Ensayos efectuados por el Instituto de la Grasa (Borja R. et al. , 1993) dan para estos efluentes la siguiente composición (Tabla 3.11):

Tabla 3.11. Composición de las aguas de lavado de aceite
(adición de 13,3% de agua caliente antes de la centrifugación)

	Sistema de 2 fases
pH	5,0
DQO (g/l)	3,5
Sólidos totales (g/l)	1,69
Sólidos minerales (g/l)	0,24
Sólidos volátiles (g/l)	1,45
Sólidos en suspensión totales (g/l)	0,52
Acidez volátil (g/l) (acético)	0,25
Fenoles totales (g/l) (ac. Cafeico)	0,08
Alcalinidad (CO₃Ca) (g/l)	0,12

En relación con la DQO de estas aguas, estudios efectuados en instalaciones industriales (Alba, 1997) aportan valores situados entre 11,70 g/Kg (sistema de 2 fases) a 12,91 g/Kg (sistema de prensas)

3.3.3. Los alpechines del sistema de 2 fases

Tal y como se ha indicado anteriormente (tabla 2.1) la elaboración del aceite de oliva por el sistema de las dos fases también genera un residuo líquido asimilable al alpechín pero en una cantidad sensiblemente menor tal y como se desprende de los balances de materia de las figuras 1.2 y 1.3. En el proceso de dos fases el alpechín se genera fundamentalmente en el lavado del aceite y de las aguas de escurrido de tolvas de almacenamiento.

Los alpechines de dos fases contienen aproximadamente un 95,95 % de agua, un 3,25% de residuo seco y un 0,8 % de aceite, mientras que los alpechines procedentes del proceso de elaboración de tres fases (92,86%, 6,22%, 0,93%) esta similitud también se refleja en análisis más exhaustivos tal y como se desprende del análisis que se muestra en la tabla 3.12

Tabla 3.12. Composición orientativa del alpechín de dos fases

	Valores
Azúcares totales (p.p.m.)	15.500
Sustancias nitrogenadas (p.p.m.)	2.500
Ac. Orgánicos (p.p.m.)	3.000
Polialcoholes (p.p.m.)	4.000
Polifenoles (p.p.m.)	5.500
Grasas (p.p.m.)	5.200

3.4. Residuos sólidos: Orujo

3.4.1. Caracterización

El principal residuo sólido generado en la elaboración de aceite de oliva es el orujo. Tal y como se ha indicado anteriormente, este residuo contienen una determinada cantidad de aceite residual que no es posible extraer por medios físicos y que es extractado en las extractoras de aceite de orujo.

Resulta evidente que la composición del orujo depende del sistema empleado en la elaboración del aceite de oliva. En la tabla 3.13 se muestra un análisis de los orujos de obtenidos en la elaboración del aceite de oliva por los tres métodos. Conviene

aclarar en este punto que el orujo procedente del sistema de dos fases se conoce como “alpeorujo”, o también “orujo de dos fases” o simplemente orujo.

Tabla 3.13. Composición y características de los orujos según el sistema de procedencia
(Cal, 1998)

Orujo de Prensa ³			Orujo de 3 fases			Alpeorujo		
H (%)	RG seco	Rg Hdo.	H (%)	RG seco	Rg Hdo.	H (%)	RG seco	Rg Hdo.
28,2	7,2	5,2	48,3	5,1	2,6	59,5	6,3	2,9

Se aprecia una clara diferencia entre el rendimiento graso de los orujos de prensa y los orujos de los sistemas continuos. La diferencia se debe fundamentalmente a la eficacia de extracción de los sistemas continuos con respecto a los sistemas tradicionales. Las disminuciones del rendimiento graso de los orujos han colocado al sector de extracción de aceite de orujo en dificultades, ya que el sector estaba estructurado para procesar orujos con humedades entre el 25% y el 30%. Al implantarse el proceso continuo de las tres fases los orujos llegaban a las orujeras con humedades del 35-45%, lo que exigía fuertes incrementos en los costes de secado y dificultades técnicas adicionales (fenómenos de caramelización)

Sin embargo, el problema más grave apareció con el sistema continuo de dos fases. El subproducto que llega a las orujeras presenta humedades que se sitúan entre el 60% y el 70%.

Algunas orujeras que reciben los tres tipos de orujos han optado por homogeneizar el contenido de humedad del orujo a extraer, mezclando los tres tipos de orujo en la proporción adecuada hasta alcanzar humedades de mezcla del orden del 48% - 50%, muy similares a las del orujo de tres fases, cuyo problema de secado había sido solucionado con anterioridad a la aparición del alpeorujo.

3.4.2. Poder calorífico

Una utilización tradicional de los orujos ha sido como combustible, a escala doméstica o en las propias almazaras para producción del calor necesario en el

³ H = humedad; RG seco: Rendimiento graso sobre muestra seca; RG Hdo. : rendimiento graso sobre base húmeda

proceso de extracción (agua caliente, calefacción de locales) El poder calórico de los distintos subproductos relacionados con el orujo se indica en la tabla 3.14.

Tabla 3.14. Poder calórico de orujo y derivados

	Valor (kcal/Kg)
Orujo de prensa	2.800-3.000
Orujo de 3 fases	2.500-2.800
Orujillo (orujo desengrasado)	3.500
Hueso	4.000

3.4.3. Valor alimenticio para el ganado

El orujo y derivados han venido teniendo cierta aplicación en alimentación de rumiantes, en particular ovino, caprino y camélidos. Los datos que siguen en relación con el valor nutricional corresponden a diversos estudios efectuados por NEFZAOU, A (1991)

Composición

Tabla 3.15. Composición en % de materia seca

	Orujo bruto	Orujillo	Orujillo tamizado
Materia seca	69,8-90,3	86,0-95,0	88,2-90,5
Cenizas totales	3,1-14,7	5,8-9,3	11,0-22,3
M. nitrog. totales	5,0-10,3	12,4-16,2	9,6-11,3
Materia grasa	5,3-12,5	1,1-7,4	2,0-6,5
Celulosa bruta	32,0-47,5	32,6-53,3	14,5-26,3

Deben aportarse los comentarios siguientes:

- Los contenidos en **materias nitrogenadas** son del orden del 10%, si bien la mayor parte se halla ligada a la fracción parietal y, por ello, menos disponible para el animal. La composición en aminoácidos es similar a la de la cebada, con excepción de un gran déficit en ácido glutámico, prolina y lisina.

- Contenido elevado en **materias grasas**, básicamente en ácido oleico (65%), linoleico (12%) y palmítico (10,5%)
- Contenido muy bajo en **sustancias fenólicas**, que durante mucho tiempo se creían responsables del limitado valor nutricional de los orujos.
- Elevados contenidos en **fibra**, pero con importante presencia de fracciones parietales como la lignina, no digerible. El tamizado reduce el contenido de estas fracciones.

Valor alimenticio

Digestibilidad y degradabilidad

Como promedio, los coeficientes de digestibilidad aparente son los que se indican en la Tabla 3.16.

Tabla 3.16. Coeficientes de digestibilidad aparente (%)

	M.O	Mat. Nitrog.	Celulosa Bruta
Orujo Bruto	26-31	6-10	0-30
Orujillo tamizado	32-40	29-38	21-47

La degradabilidad en la panza es muy lenta, del orden del 32% como máximo a las 72 horas, debido al carácter lignocelulósico. También es muy reducida la degradabilidad de las materias nitrogenadas.

Ingestión

La información disponible se refiere a orujillo tamizado, el cual es ingerido en gran cantidad, sobre todo si puede ser previamente melazado. Tránsito rápido, por lo que no suele disponerse de tiempo suficiente para explotar toda la degradabilidad potencial.

Comportamiento alimentario

En el caso del orujillo tamizado es similar a la del heno picado, asegurándose una rumia normal. Puede sustituir sin problemas a otros alimentos de volumen o groseros (henos, pajas,...)

Valor forrajero

Valor energético reducido de 0,32 a 0,49 UF “leche” y 0,21 a 0,35 UF “carne”. Contenido en materias nitrogenadas digeribles también pequeño (15-25 g/Kg de materia seca de producto)

Se constata que el tamizado (eliminación de hueso) resulta ser una operación indispensable para mejorar el valor alimentario de los orujos o sus derivados.

En relación con el orujo crudo o fresco debe señalarse su rápido deterioro cuando se amontona. Experiencias llevadas a cabo en Chipre (HADJIPANAYIOTOU, 1999) muestran que la ingestión voluntaria de orujos guardados en montones no cubiertos de 1,5 m de altura, decrece con el tiempo de almacenaje hasta ser prácticamente nula a los 10 días. Ello se asocia a la presencia de mohos y al enranciamiento rápido de la fracción grasa. El citado autor propone y describe una técnica de ensilado como sistema eficaz y poco costosa para preservar los orujos como pienso para animales.

3.5. Residuos pastosos: el alperujo u orujo de dos fases

La progresiva implantación de los sistemas continuos de dos fases para evitar la generación de alpechines ha originado, a su vez, la creciente aparición de alperujo, como subproducto de consistencia pastosa por su elevada humedad⁴.

A título de ejemplo, puede indicarse que a mediados de los años 80 la producción de orujos en relación con la de aceituna era en España del orden del 40-42%, mientras que actualmente esta proporción ha pasado a ser de más del 65%.

La transformación a dos fases no es tan rápida en otros países productores con almazaras de pequeña dimensión. Pero en países como Túnez, Grecia y en menor medida en Italia, se está también asistiendo a este tipo de cambio. De ahí que el problema de la gestión/reutilización del alperujo se esté planteando como uno de los mayores cuellos de botella del sector almazarero a escala de cualquier región productora.

⁴ Ello es particularmente cierto en España debido a la gran generalización de la transformación de almazaras clásicas y de 3 fases a este nuevo sistema.

Se ha hablado ya de su composición y de los problemas que genera el alperujo al nivel de industria extractora, esencialmente por las exigencias de secado mucho mayores que para los orujos convencionales. También la manipulación y el transporte resulta ser más dificultoso por la consistencia pastosa del producto, que obliga al uso de camiones del tipo “bañera” con protecciones especiales “rompeolas” para evitar vertidos accidentales.

Como complemento de lo que se ha indicado en el epígrafe 3.4.1, se aporta a continuación la Tabla 3.17 con las características medias de un alperujo “típico”.

Tabla 3.17. Composición “típica” del alperujo

	Valores (%)
Grasa	3-4
Proteína	5-6
Azúcares	13-14
Fibra bruta	14-15
Cenizas	2-3
Acidos orgánicos	0,5-1,0
Polialcoholes	0,5-1,0
Glucósidos y polifenoles	0,5
Agua (humedad)	65
Densidad aparente (Kg/m³)	1.035
Poder calorífico superior (kcal/Kg), base seca	5.052

3.6. Restos orgánicos procedentes de limpieza

Una de las operaciones básicas para la obtención de aceite de oliva de calidad es la limpieza del fruto. Tradicionalmente, el agricultor procedía a la limpieza del fruto en el campo mediante el uso de cribas que separan las impurezas más groseras (ramas) y restos de tierra. Pero esta operación es costosa y, por otra parte, no consigue una buena limpieza. Por ello, es normal que la aceituna llegue a la almazara con abundantes impurezas, con lo que es obligada una doble operación de “limpieza” en seco y de “lavado” con agua.

La operación de limpieza se efectúa en máquinas limpiadoras que funcionan mediante cribado (caída de las aceitunas sobre criba o zaranda vibrante) y aplicación simultánea de una corriente de aire. Esta operación da lugar a dos tipos de residuos, que suelen acumularse en los patios de la almazara:

- a) Restos vegetales: Se trata de hojas y ramones de olivo.
- b) Tierra y polvo, particularmente presente cuando la aceituna se recoge del suelo con medios mecánicos.

Se trata, pues, de un residuo básicamente vegetal que suele ser reincorporado al terreno como fertilizante orgánico, con o sin compostaje previo.

Las cantidades generadas son de muy difícil evaluación, dada su dependencia de los sistemas de recolección utilizados. En peso, puede oscilar entre el 2% y el 15% de la carga de aceituna, con una densidad del orden de 150-300 Kg/m³.

CAPITULO IV: TRATAMIENTO Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS Y SUBPRODUCTOS DE ALMAZARA

4.1. Introducción

La producción de aceite de oliva genera gran cantidad de **residuos sólidos y líquidos**. En especial, éstos últimos han abierto multitud de líneas de investigación que en la mayor parte de los casos ha permitido grandes avances, entre los cuales hay que destacar el sistema de elaboración en continuo por el sistema de las dos fases que se desarrolló para fomentar la elaboración “ecológica” del aceite de oliva.

Los residuos generados en la elaboración de aceite de oliva, como ya se ha indicado con anterioridad, son fundamentalmente de dos tipos, sólidos y líquidos. Los residuos sólidos, fundamentalmente **orujos**(procedentes de prensas y de sistemas de tres fases), se han utilizado de forma tradicional, una vez extractados, como fuente de energía tanto para las extractoras como para las industrias cerámicas y similares. En cambio, los residuos líquidos, **alpechines** en su mayoría, precisan de tratamientos específicos. Sin embargo, cuando se tenían prácticamente acotados los sistemas de tratamiento de los alpechines, aparece el nuevo sistema de extracción en continuo de dos fases, y aparece un nuevo residuo denominado **alpeorujo**. El nuevo residuo, que en un principio se pensó presentaba propiedades similares al orujo tradicional o a la hipotética mezcla de orujo y alpechín, no respondía de igual manera a los sistemas conocidos e implementados para el tratamiento de alpechines o de orujos.

En este apartado se van a exponer las principales tecnologías disponibles para el tratamiento y/o depuración de los residuos generados en la producción de aceite de oliva, que son las siguientes:

RESIDUOS LÍQUIDOS:

- Riego fertilizante
- Evaporación natural y forzada
- Concentración térmica
- Depuración:
 - *Digestión anaerobia*
- *Ultrafiltración*
- *Ósmosis inversa*
- *Adsorción/biofiltración*
- *Oxidación húmeda*
- Procesos combinados

RESIDUOS SÓLIDOS:

- Secado y extracción aceite residual
- Combustible
- Nutrición animal
- Compostaje
- Incineración
- Gasificación
- Procesos combinados

Hay que señalar que **se exponen con más detalle aquellos tratamientos que mejores resultados están obteniendo en fases industriales** o que **más expectativas han despertado en fase de investigación de laboratorio o planta piloto** (como es el caso de algunos procesos de gasificación de biomasa)

Muchos de estos tratamientos se pueden aplicar de forma individual o combinando varios de ellos para alcanzar el resultado deseado.

Se consideran residuos líquidos (alpechín) y residuos sólidos (orujos de dos o de tres fases y orujillo) Sin embargo, en la exposición se distingue el tratamiento de **orujos** (prensa y 3 fases) del **alperujo** (2 fases) dado que, a pesar de presentar elementos comunes, existen diferencias relevantes y específicas en el tratamiento de cada uno de estos tipos de subproducto.

Cada sistema o tecnología identificada se presenta bajo una pauta descriptiva y de evaluación con el contenido orientativo siguiente:

1. Fundamentos o bases técnicas
2. Responsable(s) del desarrollo
3. Fase del desarrollo (investigación, planta piloto, aplicación industrial)
4. Descripción técnica (diagrama de proceso, elementos, balances de materia y energía, rendimientos, costes, límites y condicionantes de aplicación)
5. Ejemplos de implantaciones existentes

Cabe decir que, en algunos casos, no se puede aportar toda la información indicada debido precisamente al escaso nivel de desarrollo.

4.2. Los efluentes líquidos: Alpechines

4.2.1. Introducción

En el Capítulo III de este estudio se han analizado en detalle las características del alpechín y, de modo particular, su alto poder contaminante que, por sí solo, obliga a una gestión adecuada para prevenir el potencial impacto ambiental negativo sobre el medio.

Por esta razón, a partir de los años setenta este efluente ha sido objeto de gran atención por parte de instituciones científicas, empresas y organismos públicos con objeto de estudiar y proponer las mejores estrategias y tecnologías de minimización, valorización o eliminación.

Esta intensa actividad ha dado lugar a numerosa literatura técnica y científica. Entre las publicaciones más relevantes, merece la pena citar algunas con contenido de revisión, a las que se remite al lector interesado. Las dos más importantes serían las siguientes:

1. *TRATAMIENTO DE ALPECHINES*. Actas de la Reunión Internacional sobre el tema, Córdoba (España), 31 mayo -1 junio de 1991. Publicación núm. 18/91 de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía.
2. *LES EXPÉRIENCES MÉDITERRANÉENNES DANS LE TRAITEMENT ET L'ÉLIMINATION DES EAUX RÉSIDUAIRES DES HUILLERIES D'OLIVES*. Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire. Office National de l'Assainissement (ONAS). Tunis, 1996.

Cabe decir que, dentro de esta segunda publicación, se preconiza ya en cierto modo el sistema de elaboración continuo de 2 fases como la mejor solución “minimizadora” de la producción de alpechines. De hecho, la transformación de almazaras hacia el sistema de dos fases se ha generalizado en algunos países, como es el caso de España, con lo que el problema de los vertidos del alpechín se ha visto enormemente reducido.

No obstante, siguen existiendo en la mayoría de los países productores numerosas almazaras funcionando bajo el sistema de prensa o continuo de tres fases. Por otra parte, el propio sistema de dos fases genera residuos líquidos en cierto modo

asimilables a los alpechines. Por ello, en los epígrafes que siguen se pretende aportar información suficiente sobre el “estado de la cuestión” en relación con los sistemas de tratamiento y valorización de los alpechines haciendo, eso sí, especial referencia a aquellos que han mostrado o muestran una mínima viabilidad técnico - económica. En este sentido, conviene señalar de entrada las especificidades de este efluente que condicionan la potencial aplicación de las distintas estrategias posibles.

Se trata de:

- a) Composición intrínseca del alpechín y su elevado poder contaminante, sobre lo que no es preciso insistir aquí.
- b) Estacionalidad de su producción, a lo largo de la campaña de molturación que no se prolonga más allá de 3-4 meses y que, por requerimientos de la calidad del aceite, más bien se acorta de año en año.
- c) Variabilidad del problema o del impacto en función de las propias características de las almazaras en relación con:
 - Su localización
 - Su dimensión o capacidad de molturación
 - Su concentración en el territorio

4.2.2. Sistemas utilizables

En las publicaciones técnicas y científicas sobre tratamiento de alpechines llegan a citarse hasta más de 20 procedimientos o tecnologías aplicables al tratamiento de alpechines con fines de minimización, eliminación o valorización. Se trata, en buena parte de los casos, de operaciones elementales o combinadas ensayadas en laboratorio o en planta piloto, sin proyección industrial posterior.

Así, y únicamente a modo de recopilación, han sido descritas las siguientes tecnologías como potencialmente aplicables:

- Evaporación natural en estanques o lagunas
- Utilización en riego fertilizante
- Deshidratación- evaporación forzada - concentración térmica
- Incineración
- Destilación

- Procesos de membrana: Ultrafiltración, ósmosis inversa
- Degradación microbiológica, obtención de proteínas
- Depuración físico - química
- Depuración biológica anaerobia y aerobia

Algunos de los sistemas ensayados contienen, a su vez, numerosas variantes.

Una descripción detallada de todos estos sistemas puede encontrarse en la publicación citada con el núm. 2 en el epígrafe anterior.

El trabajo realizado para la elaboración del presente estudio ha permitido seleccionar aquellos sistemas de tratamiento y valorización que presentan algún grado de aplicabilidad industrial, bien sea por el estado de desarrollo que presentan o porque están avalados por experiencias suficientemente prolongadas.

Estos sistemas pueden ser agrupados en cinco grandes apartados:

- Riego fertilizante
- Evaporación natural y forzada
- Evaporación/concentración térmica
- Depuración con diversas variantes
- Sistemas combinados

4.2.3. Uso de alpechines como riego fertilizante

4.2.3.1. Bases técnicas

En el apartado 3.2.4 del Capítulo III se ha aportado amplia información sobre el valor fertilizante de los alpechines.

Desde muy antiguo se ha venido preconizando el uso de este efluente como fertilizante, existiendo de ello citas de los siglos XI (Abu Zacaria) y XVI (Alonso de Herrera) A partir de 1960 han sido numerosos los estudios realizados sobre el tema por autores como ALBI (1960), ZUCCONI (1969), POMPEI (1974), TELMINI (1976), ESCOLANO (1976), etc.

Una revisión de los estudios más recientes es la siguiente:

- a) FIESTAS (1977): Informa sobre la muy extendida práctica de uso fertilizante del alpechín a dosis de 100-120 l/árbol de olivo, con eventual adición de cal. Aporta información sobre aumentos de productividad cuando se emplea en campos de maíz y trigo.
- b) FERREIRA LLAMAS (1978) se refiere a los beneficios de esta práctica en los olivares de Jaén.
- c) DELLA MONICA (1978 y 1980) y POTENZ (1980) explican las experiencias realizadas en suelos calcáreos con aportaciones de 480 m³/Ha en los que comprueban el valor fertilizante del alpechín y advierten de las precauciones a tomar en relación con la acumulación de sales y de potasio en el suelo.
- d) MORISOT (1979-81) reportan sobre un detallado estudio para conocer la evolución de los suelos regados con alpechín y sus efectos sobre el olivo. Concluyen que:
 - Dosis de 100 m³/Ha y año no provocan cambios desfavorables.
 - Ausencia de efectos tóxicos sobre microflora del ciclo del nitrógeno
 - Enriquecimiento significativo en potasio
 - Sin modificaciones en los contenidos foliares del olivo
 - Dosis equivalentes a 400 m³/Ha provocan, en gramíneas en maceta, bajas del rendimiento del orden del 50%.
 - Cuando se aplica a cereales, la siembra debe realizarse al menos 45 días después de la aplicación del alpechín
 - 30 m³/Ha y 100 m³/Ha de alpechines de sistema clásico o continuo, respectivamente, son recomendables.
- e) CATALANO et al (1985, 1989) llegan a conclusiones similares. Aplicaciones de 150 m³/Ha en olivos de 10 años y a largo plazo muestran los efectos beneficiosos de la aplicación sin efecto negativo alguno sobre los árboles ni sobre el suelo.
- f) CATALANO y DE FELICE (1991), en base a sus propias experiencias y las de otros entes científicos, aportan las siguientes orientaciones:
 - La elevada carga orgánica de los alpechines se degrada en el suelo en un período relativamente corto. Por tanto, en general, no se producen acumulaciones después de la distribución a dosis menores de 100 m³/Ha por año.

- Siempre que la distribución se realice uniformemente, a las dosis indicadas no parecen verse afectados los estratos por debajo de la capa arable (>60-65 cm) por la penetración de materia orgánica.
 - El suelo tratado con alpechines resulta netamente enriquecido con elementos nutritivos: nitrógeno, fósforo y, sobre todo, potasio.
 - La mayor fertilidad del suelo tratado afecta favorablemente al olivo y la vid. En cambio, en especies anuales como la patata, el efecto fitotóxico prevalece sobre el fertilizante si la siembra o plantación se efectúa a menos de 80-90 días de la aplicación.
 - El efecto fitotóxico parece también evidente sobre las malas hierbas y tiene una duración de 80-90 días.
- g) PROIETTI et al. (1988): Confirman los efectos beneficiosos de una aplicación de 800 m³/Ha en plantas de olivo en macetas y en pleno campo. No observan modificaciones en la actividad fotosintética, la transpiración, la conductividad estomática y en el peso específico de las hojas. A los 14 meses de la aplicación, no se observan cambios en la carga microbiana del suelo.
- h) GARCIA RODRIGUEZ (1991) informa sobre diversos ensayos efectuados sobre cereales de invierno en la Estación de Olivicultura de Jaén utilizando alpechín de sistema continuo a 3 fases, a dosis de 100-200-300 l/m², con un período de 3 meses entre aplicación y siembra. La productividad de las parcelas de mayor dosis fue más elevada. Las modificaciones en la salinidad, pH y contenidos minerales del suelo son mínimas después de aportaciones durante 3 años.
- i) DE SIMONE Y MARCO (1996): Dejando 50-60 días entre aplicación y siembra, dosis de 80 m³/Ha no influyeron negativamente sobre la germinación y la nascencia en cultivos de maíz, girasol, cebada y trigo.
- j) LEVI-MINZI et al (1992): Utilizando dosis de 80, 160 y 320 m³/Ha en cultivos de primavera (maíz) observan que:
- Las expresiones de fitotoxicidad debida a fenoles y ácidos volátiles, con efectos negativos sobre la germinación y nascencia, desaparecen a los dos meses de la aplicación.
 - Los indicadores de salinidad no presentan diferencias significativas respecto de los testigos sin tratar.
 - Aumentos de contenido en fósforo asimilable y escasas diferencias en los demás elementos nutritivos.

- k) PAGLIAI (1996) estudió los efectos sobre las características físicas del suelo. Observa un aumento de la porosidad del terreno, con la consiguiente ventaja sobre la capacidad de retención de agua y la permeabilidad.
- l) TAMBURINI et al (1999): Efectúan una revisión del estado de la cuestión y, después de inclinarse por este sistema de reutilización de alpechines, aportan orientaciones en relación con los sistemas de almacenamiento y distribución. Concluyen que:
- La información sobre el uso de alpechines como fertilizantes es amplia y precisa.
 - Los máximos permitidos por la legislación italiana (Ley 574 de 1996) (50 m³/Ha/año de alpechín de prensas y 80 m³/Ha/año de alpechín de continua 3 fases) son demasiado bajos (3-5 Tm/ha/año de materia seca) Estas dosis podrían perfectamente duplicarse sin problemas

4.2.3.2. Orientaciones y condiciones de uso

Sobre la base de las informaciones y estudios disponibles, pueden aportarse las siguientes orientaciones:

- a) Epoca de aplicación
- Cualquiera, si la ausencia de lluvias lo permite
 - En caso contrario, se deberá proceder al almacenamiento en balsas o estanques
- b) Cultivos
- Perennes, en particular olivo, viña, forestales, frutales..
 - Anuales: cereales, oleaginosas, industriales con aplicaciones 2-3 meses antes de la siembra.
- c) Caracterización analítica y dosis
- Deberá disponerse de estudios de suelo y análisis del alpechín en cada caso.
 - Dosis orientativas de 30-50 m³/Ha/año de alpechín de prensas y hasta 100 m³/Ha/año de alpechín de sistemas continuos de 3 fases.
 - La caracterización del suelo y del propio alpechín debe proporcionar con mayor precisión las dosis aplicables.

- d) Almacenamiento
- Embalses impermeabilizados alejados de núcleos urbanos o áreas transitadas para evitar efectos de mal olor.
- e) Distribución
- Para pequeñas almazaras, transporte y distribución con cuba de purines de 6-12 m³ de capacidad.
 - Para situaciones particulares, pueden emplearse redes de riego.
- f) Capacidad de almazara y superficies necesarias.
- Del orden de 1 Ha por cada 100 Tm de aceituna molturada.
- g) Controles
- Cada dos años, análisis de suelo y subsuelo para comprobar: pH, CE, MO, elementos nutritivos.
 - Análisis de hoja en cultivo.
- h) Costes
- Dependen de la estrategia de almacenaje y la distancia de transporte.
 - Como ejemplo, en el caso de distribución con cisterna de 6.000 litros y 1,2 horas por carga (llenado, transporte y descarga), el coste oscila alrededor de 0,006 E/m³, ampliamente compensado por el valor del fertilizante aportado.
- i) Condiciones de aplicabilidad:
- Disponibilidad de tierras y cultivos apropiados.
 - Sin almacenaje, no más de 40-60 m³/día, que suponen unas 100 Tm/día de aceituna en sistema de prensa y unas 40-50 Tm/día de aceituna en sistema continuo de 3 fases. Es decir, para almazaras de tamaño medio y pequeño.

4.2.4. Evaporación natural: lagunaje

Fundamento: Se denomina también **lagunaje** o evaporación natural en balsas. Consiste en una evaporación natural, favorecida por la acción del sol y del viento.

Responsable(s) del desarrollo. El método de lagunaje fue el primer tratamiento para solucionar el problema de los alpechines en España, fue propuesto por la Dirección General de Medio Ambiente en 1980⁵

Fase del desarrollo: Desarrollo completo y ampliamente experimentado.⁶

Descripción técnica:

Las características de estos embalses suelen ser las siguientes:

- a) Profundidad de 60-70 cm y, en todo caso, no superior a 1,50 m, si bien en muchos casos esta profundidad ha sido ampliamente superada como consecuencia de las exigencias en coste y en superficie.
- b) Impermeabilización con láminas de materiales plásticos y con fondo hormigonado para facilitar su limpieza con medios mecánicos (tractores con pala cargadora)
- c) Ubicación alejada de zonas urbanas o transitadas.
- d) Vallado perimetral por razones de seguridad

La capacidad de estos embalses es muy variable y función, naturalmente, de la capacidad de las almazaras a las que dan servicio. Así, pueden ir desde unos 300 m³ en almazaras pequeñas hasta más de 70.000 m³.⁷

Costes: Los del terreno y preparación y mantenimiento de las balsas. Depende del lugar, disposición de terreno libre y proximidad a núcleos urbanos importantes. El coste de operación es inferior a 0.03 E/m³ de alpechín.

Ejemplos de implantaciones existentes en España. Hay numerosas cooperativas de Jaén y Córdoba que lo adoptaron (por ejemplo, en Úbeda, Baeza, Lucena, Baena) En la provincia de Jaén hay 998 balsas, con una superficie total ocupada de 250 ha y una capacidad de 2,5 millones de m³; en Córdoba hay 369 balsas, con una superficie ocupada de 62 ha y una capacidad de 0,9 millones de m³.

⁵ Con objeto de reducir la contaminación de los cauces públicos y las aguas subterráneas de la Cuenca del Guadalquivir se promulgó en España en 1981 el Real Decreto 3499/81 que contemplaba una serie de medidas para evitar el vertido indiscriminado de alpechines.

⁶ Ha sido el método usado a nivel masivo durante años en el sur de España.

⁷ Valores alcanzables en algunas localidades andaluzas.

También en Túnez han sido construidos estanques de gran dimensión, entre los que pueden citarse los de Kalaa Kébira (30.000 m³) y más de 40 en la ciudad de Sfax.

Límites y condicionantes de aplicación: actualmente las principales limitaciones son la falta de espacio y de lugares adecuados para instalar nuevas balsas. Se debe evitar el vertido de los alpechines a los cauces públicos.

Después de algunos años de experiencia, los problemas detectados han sido los siguientes:

- a) Necesidad de grandes superficies, lo que no siempre es fácil al lado de las almazaras. Si deben alejarse, se plantea un problema de transporte y sus costes asociados.
- b) Evaporación insuficiente: formación de una capa oleosa en superficie que impide la acción de la radiación solar.
- c) Emisión de malos olores y atracción de insectos.
- d) Peligros de infiltración
- e) Formación de lodos de fondo y dificultades para su vaciado y utilización.

Por otra parte, el alpechín almacenado en fosas es sujeto a una serie de fenómenos biológicos tendentes a degradar la materia orgánica. Se trata de un proceso de auto-depuración, capaz de reducir la DBO a menos de la mitad en unos dos meses.

Para paliar en lo posible el mal funcionamiento evaporativo de los estanques, se han desarrollado algunas soluciones complementarias entre las que cabe citar las que se indican en los epígrafes siguientes.

4.2.4.1. Adición de microorganismos de degradación

Se conoce la experiencia de adición a las balsas de un compuesto bacteriano a partir de bacterias púrpura del género THIOBACILUS presentado en forma de producto comercial. Este preparado microbiológico degrada la grasa contenida en el alpechín de modo que evita o elimina la formación de película superficial de modo que mejora notablemente la eficiencia evaporativa.

Ensayos efectuados por el Instituto de la Grasa de Sevilla estudiaron la adición del producto a alpechines altamente concentrados ($DQO_t = 112.300 \text{ mg O}_2/\text{l}$, 1,06% grasa, Sólidos totales = 71.745 mg/l, pH = 5,2) a dosis inicial de 10 p.p.m. y 4 p.p.m. por semana durante 12 semanas, en condiciones aerobias, facultativas (simulando balsa de evaporación) y anaerobias (sin agitación) Una síntesis de los resultados es la siguiente:

- a) En condiciones aerobias, la DQO se redujo en un 75% a los 80 días. La materia grasa se redujo en un 100% a los 100 días. El pH se estabilizó en valores próximos a 8. No se produjeron olores desagradables a lo largo del proceso.
- b) En condiciones facultativas, la DQO se redujo en un 40% a los 20 días. Se eliminaron las fracciones grasas hasta quedar estabilizadas en un 6,6%. Ausencia de olores. El pH alcanzó el valor de 7,1 a los 80 días.
- c) En general, es significativa la reducción de DQO, muy elevada la de materias grasas y también relevante la del residuo seco.

En balsas a escala natural, se recomienda la adición de:

- a) Tratamiento de choque con unos 5 litros de preparado por cada 500 m³ de alpechín almacenado.
- b) Dos aportaciones mensuales adicionales, del orden de 1 l cada 500 m³.

Con ello, se consigue una alta eficiencia en la evaporación y, por tanto, en la eliminación de alpechines.⁸

El precio del producto es de unos 49,19 E/l. Con una dosis recomendada de 7 l/año por cada 500 m³ de alpechín, el coste de la operación supone 0,68 E/m³, es decir, 0,0007 E/l de alpechín.

4.2.4.2. Instalación de nebulizadores y panales (evaporación forzada)

Se trata de un procedimiento para favorecer la formación de partículas acuosas finas mediante inyección a presión en toberas de aspersion o nebulización. Con ello se

⁸ Experiencias en una almazara de Cataluña dieron resultados dudosos. Se desconocesi por causa del funcionamiento del producto o por las condiciones de su manejo (dosis, momento de aplicación, etc.). En la campaña 1999/2000, una treintena de almazaras andaluzas ha utilizado este procedimiento en sus balsas de evaporación.

favorece la acción de la radiación solar y del viento y se mejora notablemente la evaporación.

Un equipo de bombeo se instala al borde de las propias balsas, que aspira el alpechín y lo inyecta a una red de toberas de nebulización. El exceso no evaporado cae de nuevo en el estanque.

Otros elementos que favorecen la evaporación son los panales de gran superficie reticular expuesta al sol y al aire, regados intermitentemente con alpechín por aspersores. Ello incrementa hasta en 40 veces la capacidad de evaporación.

Estos sistemas,⁹ resultan costosos en inversión y en energía y tampoco resuelven bien el problema de los sedimentos de fondo.

4.2.5. Concentración - evaporación térmica

Fundamento: Consiste en la utilización del efecto térmico para concentrar el alpechín, eliminando parte del agua, mediante una evaporación de simple o múltiple efecto. El residuo sólido se puede aprovechar, por lo que se puede conseguir la eliminación total de todos los residuos, es decir, vertido nulo.

Responsable(s) del desarrollo: Una serie de plantas a nivel piloto e industrial han sido desarrolladas desde hace años. (FABRICA SAN CARLOS, NUCLEOS DE INTERFASE S.A., NIRO ATOMIZER S.A. etc.) Más recientemente, TRAINALBA S.A., basándose en la Patente Europea EP 0 718 397 A2 ha realizado algunas instalaciones y continúa trabajando sobre esta tecnología. En Italia ha sido utilizada la tecnología denominada "FRILLI-ENEA", adquirida por la sociedad SOLVIC de Bari. (AMIRANTE, P y MONTERVINO, A, 1996)

Fase del desarrollo: Se han completado fases de investigación, planta piloto y aplicación industrial.

Descripción técnica: El método permite obtener por un lado, un concentrado que se puede utilizar como combustible o como fertilizante o incluso para ser añadido a piensos por su valor alimenticio y, por otro, el agua de condensación, que

⁹ Instalados en algunos embalses en Andalucía (ver fotografías)

previamente depurada puede ser vertida a los cauces naturales. El proceso se realiza mediante una combinación de los adecuados tratamientos físico - químicos y térmicos. En primer lugar, se procede al acondicionamiento del alpechín utilizando diversos procesos físico-químicos, pasando posteriormente a una evaporación continua de simple o múltiple efecto, siguiendo el esquema de la Fig. 4.1.

El calor necesario se produce mediante una caldera de vapor que puede utilizar como combustible el propio orujo o el concentrado de la misma instalación. Se pueden obtener los siguientes productos:

- Vapor de agua que es expulsado a la atmósfera
- Agua de condensación, que puede ser depurada y recuperada.
- Concentrado de alpechín, conteniendo las materias no disueltas, con alto valor nutricional en ganadería.

Ejemplos de implantaciones existentes:

a) El sistema TRAINALBA (España): Las investigaciones de TRAINALBA, en el tratamiento de alpechines con evaporación térmica, se han materializado en dos plantas, la primera denominada TRAINALBA-M1 y la segunda TRAINALBA-F1. La primera de ellas fue instalada en una plataforma móvil y ha sido expuesta en varias ferias: Expoliva`93, Maga`93, Amposta`93, Montoro`94 y 98. La segunda, TRAINALBA-F1, está instalada en Sotoserrano (Salamanca) con una capacidad de depuración de alpechines, de tres fases, de una almazara que moltura diariamente 50.000 Kg de aceituna. Mediante la aplicación del método de TRAINALBA S.A. se obtienen varios subproductos que pueden ser utilizados con diferentes propósitos. Las principales novedades y características del proceso se enuncian a continuación:

- Se reduce, de forma importante, el consumo de agua del proceso gracias a que se recupera y se recicla tanto el agua de la aceituna como la que posteriormente se añade, incluso es posible que aparezcan excedentes de agua potable.
- Acondicionamiento de sólidos, junto con orujo y otros residuos vegetales de la zona, para la fabricación de fertilizantes mediante un proceso de compostaje y/o adecuación para la fabricación de piensos compuestos.

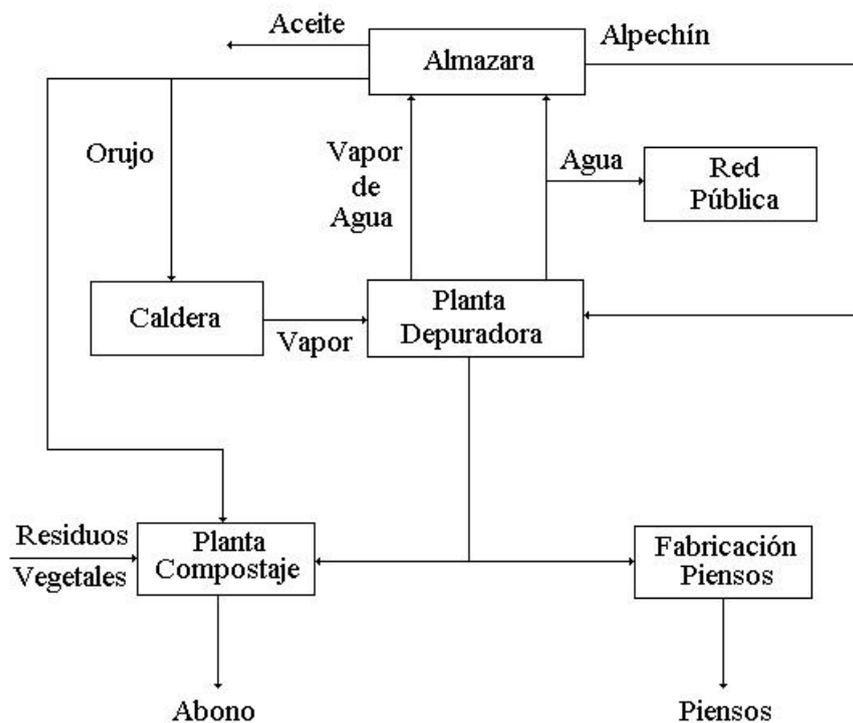


Figura 4.1. Esquema del tratamiento de alpechines propuesto por TRAINALBA

b) Experiencias en Italia: Los sistemas de concentración térmica han sido recomendados y adoptados en media docena de plantas de Puglia y Basilicata, con una capacidad total de depuración de unos 25 m³ de alpechín por hora (capacidades unitarias de 5 a 8 m³/h) Con este sistema se obtiene lo siguientes derivados por m³ de alpechín tratado:

- 350 Kg/h de una mezcla hidroalcohólica obtenida en primera fase, con un porcentaje en alcohol que oscila entre 2,5 y 15%.
- 400 Kg/h de condensado (agua destilada), separada en segunda fase, con una DQO media de 1.500-2.000 p.p.m..
- 150 Kg/h de concentrado con humedad del 47% (53% de materia seca) y alto contenido en carbono, nitrógeno y potasio.

Los consumos térmicos, muy variables según el número de fases utilizadas, fueron de:

- Una fase: 1,20 Kg vap/Kg de agua evaporada
- Dos fases: 0,65 Kg vap/Kg agua evaporada
- Tres fases: 0,36 Kg vap/Kg agua evaporada

Las características medias de los alpechines originales y de las tres fracciones obtenidas fueron las siguientes:

	Unidad	Alpechín	Concentrado	Flemas	Condensado
Densidad	Kg/l	1,06	1,19	0,985	1,00
Residuo seco	%	8	53		
Poder calorífico sup.	Kcal/Kg		19.285		
Grado alcohólico	%		2,5-4,0		
DQO	P.p.m.	100.000		60.000	2.000

El proceso se completa con la compostización del concentrado mezclado con otros residuos agrícolas o zootécnicos.

Información sobre costes:

- a) En una experiencia piloto de Niro Atomizer S.A. para la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (España) (1991-92) se estimó que el coste de instalación de una planta de evaporación forzada para 5.000 m³ de alpechín al año es de 180.000 E, con un coste de operación total (energía, personal, materiales) de 6,8 E/m³.
- b) Se pueden obtener datos complementarios en el informe nº 2/91 del Departamento de Investigación de la Agencia del Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (España)
- c) Para una producción de unas 10-12.000 Tm/año de aceituna en la Cooperativa de Jimena (Jaén. España), la inversión total en la planta de procesado de alpechines puede alcanzar unos 300.000 E.
- d) Fuentes italianas informan sobre los siguientes niveles de coste:
 - Inversión (para 5 m³/h): 300.000 E
 - Coste de operación: 13.19 E/m³

Límites y condicionantes de aplicación:

Los sistemas de evaporación /concentración térmica presentan los problemas siguientes:

- a) Alta inversión, solo justificada en condiciones de muy elevada producción.
- b) Emisiones atmosféricas, que deben ser atenuadas mediante la instalación de costosos equipos de filtrado y lavado de gases.
- c) Consumos energéticos y costes de mantenimiento elevados.

4.2.6. Depuración

4.2.6.1. Introducción

Se dispone de referencias de aplicación de las siguientes técnicas:

- Tratamiento aerobio
- Tratamientos anaerobios o biometanización
- Procesos de membrana
- Procesos de adsorción y biofiltración
- Oxidación húmeda

4.2.6.2. Tratamiento aerobio

Fundamento: El tratamiento aerobio (*bioremediation*) consiste en la degradación biológica de los contaminantes orgánicos presentes en el alpechín, por medio de microorganismos que consumen el oxígeno disuelto en el agua modificando el equilibrio natural. Para eliminar o contrarrestar el efecto negativo que, sobre las corrientes de aguas superficiales, puede tener el vertido de sustancias orgánicas, éstas deben ser eliminadas previamente. La cantidad de oxígeno demandado por una corriente contaminada con sustancias orgánicas biodegradables, se determina mediante un análisis estandarizado conocido como demanda biológica de oxígeno (DBO₅)

Responsable(s) del desarrollo:

- University of Harokopio, Ms. Antonakou, Tel. +30-1-95-77-051, Fax. +30-1-95-77-050, Dpto. of Nutrition, Dietetics and Food Science, 70, El. Benizelou, 176 71 Atenas (Grecia). Han desarrollado varias plantas piloto y de demostración de biorremediación en Kalamata.
- CSIC - Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Murcia (España)
- CSIC - Instituto de la Grasa. Sevilla. (España)

Fase del desarrollo: fundamentalmente al nivel de investigación y planta piloto. Ver fotografías de plantas piloto griegas de biorremediación.

Descripción técnica: El tratamiento además de perseguir la reducción de la DBO_5 , tiene como objetivo la reducción o eliminación de otro tipo de compuestos (sales inorgánicas, compuestos nitrogenados o amoniacales) cuya cuantificación se realiza mediante otro análisis estandarizado denominado demanda química de oxígeno (DQO)

Las plantas de tratamientos aerobios, son plantas donde se facilita, acelera y controla la degradación biológica que tendría lugar en el medio natural. Los microorganismos presentes en el agua degradan la materia orgánica presente en el medio y la transforman en CO_2 , agua y masa celular. El oxígeno necesario para que los microorganismos puedan llevar a cabo la degradación, se suministra al reactor aerobio por medio de difusores o simplemente mediante paletas o agitadores.

Los microorganismos que realizan la degradación pueden estar en suspensión o fijos y el proceso se puede realizar en continuo o discontinuo. Tras el periodo adecuado de tratamiento, que depende de las condiciones de operación y de la carga contaminante del alpechín, se procede a la clarificación del agua residual obteniéndose un efluente limpio, un lodo activo que se recircula al tanque de tratamiento, y un lodo viejo que debe ser eliminado y que por lo general se puede utilizar como sustrato o enmienda orgánica en tierras de cultivo.

Tradicionalmente, el alpechín se ha tratado depositándolo en balsas de sedimentación donde la degradación aerobia no ha podido ocurrir de forma adecuada al estar las balsas insuficientemente aireadas, lo que ha favorecido la digestión incontrolada y la emisión de malos olores. El problema se puede atenuar si se disponen equipos de ventilación (oxigenación) en las balsas, que suministren el oxígeno necesario para que se realice la digestión aerobia de la materia orgánica biodegradable.

En la Fig. 4.2 se muestra un esquema genérico de un sistema de tratamiento aerobio del alpechín.

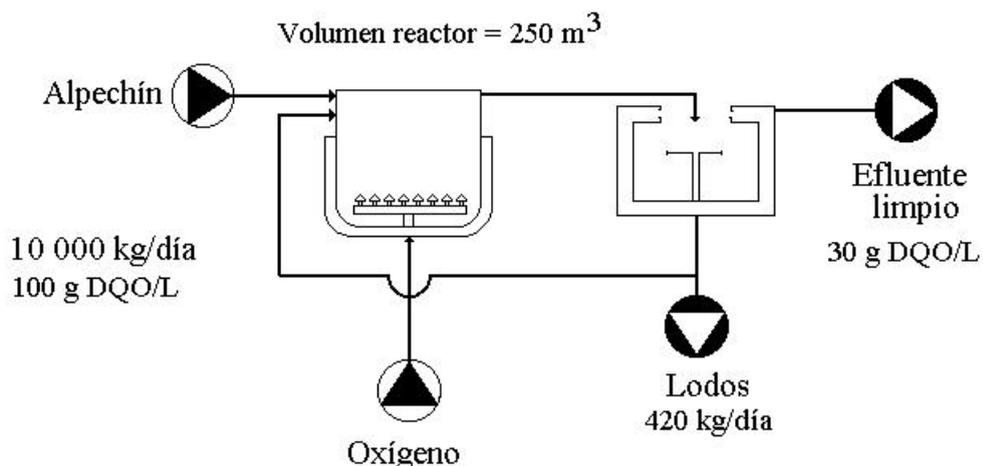


Figura 4.2. Esquema general y balance aproximado del tratamiento aerobio del alpechín

En todas las experiencias realizadas, los resultados son desalentadores por los elevados tiempos necesarios y por la escasa eficiencia de los procesos utilizados.

La principal causa de este “fracaso” se debe a la elevada concentración de compuestos de naturaleza fenólica que se caracterizan por su elevado efecto antimicrobiano, lo cual está ampliamente documentado en la literatura técnico - científica (RAGAZZI Y VERONESSE, 1967; FEDERICI I BONGI, 1983; MORENO ET AL, 1983; RAMOS CORMEZANA, 1986; MAESTRO Y BORJA, 1990, etc.)

Límites y condicionantes: Las principales ventajas de este tipo de tratamientos son: la baja toxicidad y peligrosidad de los efluentes gaseosos que se generan en el proceso, la facilidad de control del proceso y que el efluente líquido obtenido puede ser vertido directamente al cauce natural. Las principales desventajas son: la escasa disminución de la demanda química de oxígeno.

Costes de operación: se han estimado por FiW (**FiW = Forschungsinstitut für Wasser und Abfallwirtschaft**) en 23.000 E para una campaña de 90 días, donde se generen aproximadamente 1.000 m³ de alpechín.

Ejemplos de implantaciones existentes: En los últimos años se ha hecho un gran esfuerzo económico en todos los países productores de aceite de oliva, y en especial por aquellos que se encuentran en el área Mediterránea, para encontrar

microorganismos que resistan la alta toxicidad de los alpechines. *Ver fotografías de plantas en Grecia.*

4.2.6.3. Tratamiento anaerobio o biometanización

Fundamento: Tratamiento o digestión anaerobia, metanización. Es un proceso bioquímico de fermentación en el que las sustancias orgánicas tales como las proteínas, grasas o carbohidratos son degradados por fermentación a productos intermedios, fundamentalmente ácidos y alcoholes. Para alcanzar un alto rendimiento del proceso, estos compuestos intermedios se deben degradar completamente a metano (30 m³ por cada 100 Kg de DQO de influente) y dióxido de carbono

Responsable(s) del desarrollo: BIOTECNOLOGÍA, S.A. y Alpechín S.A. (España) Se realizaron experiencias piloto en la almazara S.A.T. San José de Puebla de Cazalla (Sevilla) y en la almazara Jimena S.A., Atarfe (Granada), ambas subvencionadas por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (campana 1991-92) CSIC- Instituto de la Grasa (Sevilla)

Fase del desarrollo: En el caso particular del tratamiento de alpechines, en la actualidad, no existen plantas industriales. Sin embargo, existen multitud de experiencias e investigaciones en plantas piloto.

Descripción técnica: Ver Fig. 4.3. El tratamiento anaerobio admite corrientes residuales con gran carga contaminante (DQO > 1.500 g/L), además, produce una baja cantidad de exceso de lodo y tiene un considerable rendimiento energético al generarse metano en el proceso y requiere poco espacio.

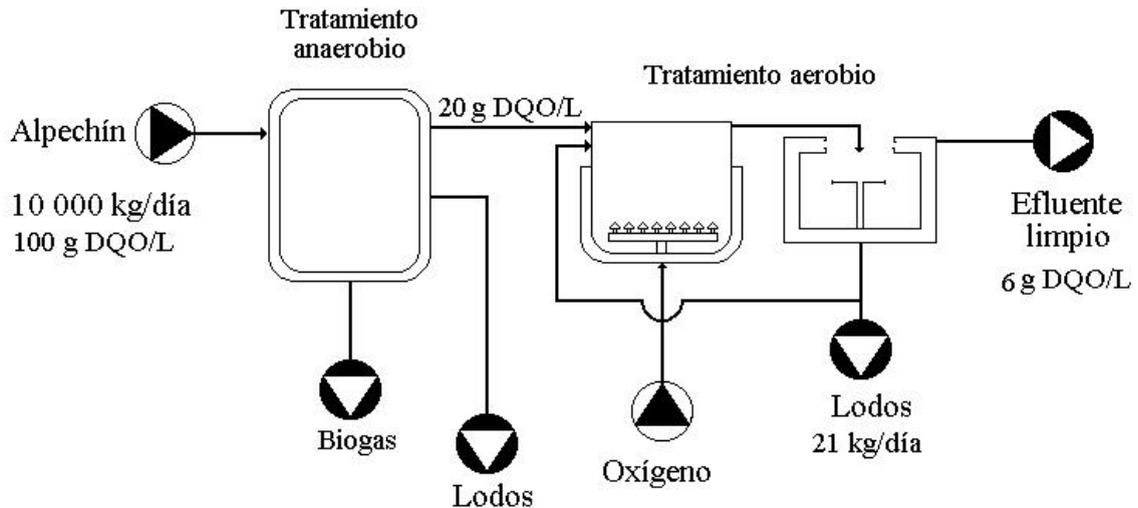


Figura 4.3. Esquema general y balance aproximado del tratamiento anaerobio del alpechín

Ventajas fundamentales del tratamiento anaerobio: la elevada eficacia obtenida en la degradación (disminución de la DQO), el pequeño volumen de reactor y de espacio necesario en comparación con el sistema aerobio, la pequeña cantidad de exceso de lodo generado con respecto al tratamiento aerobio, el bajo coste de operación al no ser necesario consumo energético para la aireación y ventilación del residuo acuoso y la obtención de un gas combustible susceptible de usarse en plantas de generación eléctrica.

Coste de tratamiento: estimado en el mismo supuesto que en el tratamiento aerobio (campaña de 90 días, tratamiento de 1.000 m³ de alpechín) es de 18.000 E, cantidad sensiblemente inferior al del aerobio. Sin embargo, el tratamiento anaerobio en sí mismo no genera un efluente que se pueda verter directamente a las corrientes de agua superficiales, lo que hace necesario disponer de un sistema de tratamiento aerobio posterior similar al descrito anteriormente con un coste cercano a los 23.000 E. En resumen, **el coste total del tratamiento anaerobio - aerobio sería excesivo**, unos 41.000 E, o sea, de 41 E por m³ de alpechín

Ejemplos de implantaciones existentes:

Hay una experiencia piloto del sistema Alpechín, S.A., que fue subvencionada por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir en 1991-92 (España.)

El método fue desarrollado conjuntamente por la Stazione Sperimentale per le Industrie degli Oli e dei Grassi, de Milán, y por la empresa Alpechín S.A., quien ha asumido su gestión comercial. El método consiste en la depuración en fase **anaerobia**, mediante el empleo de una unidad de reacción. La instalación consta de: un depósito de alpechín, un depósito de homogeneización donde se ajusta el pH y se añaden, si fuese necesario, nutrientes, varios depósitos digestores anaerobios y un equipo de ósmosis inversa.

Una vez el alpechín ha sido previamente tratado en el tanque de homogeneización, se calienta para ser introducido en el reactor anaerobio. En el proceso se desprende gas metano, que se utiliza para la calefacción del digestor anaerobio y para diversos usos en la propia almazara. En la etapa de digestión anaerobia, se consigue una reducción del 86% de la DQO y prácticamente no se producen fangos. El efluente procedente del digestor se somete a un proceso de ósmosis inversa en donde es filtrado, obteniéndose agua prácticamente limpia y que puede ser vertida a los cauces de los ríos o utilizarse como agua de riego.

El coste fue **igualmente excesivo**: unos 180.000 E de inversión para 4.000 m³ de alpechín, es decir, 3,60 E/m³ de alpechín tratado, con costes de explotación de unos 6 E/m³.

Los microorganismos responsables de la metanización son muy sensibles a la temperatura, y alcanzan el óptimo de actividad a temperaturas comprendidas entre 30 °C y 40 °C y con un estrecho intervalo de pH entre 6,8 y 7,5.

4.2.6.4. Procesos de membrana

Fundamento: Los procesos de membrana, como por ejemplo la ultrafiltración y la ósmosis inversa, se emplean a menudo en el tratamiento de ciertas corrientes líquidas residuales, ya que permite eliminar los contaminantes del agua generando una corriente limpia y una corriente concentrada.

Responsable(s) del desarrollo: ver los ejemplos de implantación.

Fase del desarrollo: investigación y planta piloto.

Descripción técnica: En el caso particular del alpechín, se obtienen dos corrientes una de agua que puede ser vertida directamente al cauce de los ríos y una segunda, con gran concentración en los componentes contaminantes del alpechín original.

El procedimiento permite eliminar el 100% de la DQO original de la corriente. Sin embargo, las membranas experimentan una rápida degradación, lo que repercute directamente en el coste de operación. Circunstancia que obliga a someter a la corriente residual, alpechín, a un tratamiento previo, por ejemplo, un tratamiento aerobio. En la Fig. 4.4 se muestra un esquema del tratamiento propuesto.

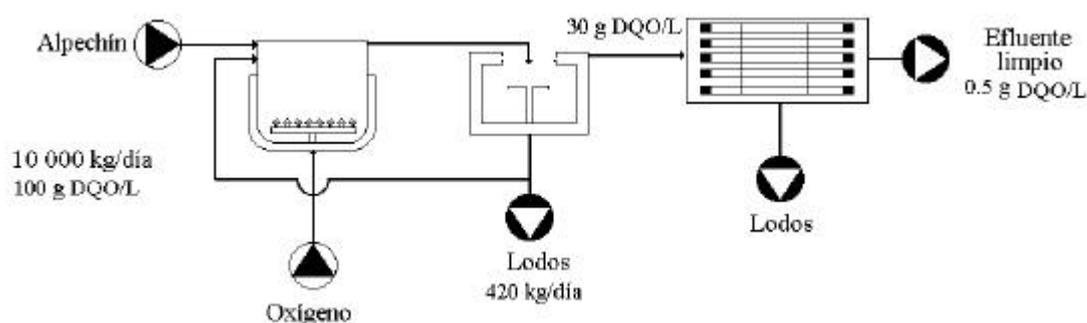


Figura 4.4. Sistema de tratamiento combinado, Aerobio/Ósmosis Inversa

Las principales ventajas del tratamiento son la gran reducción que se consigue en la DQO, el poco espacio que requiere la planta y la posibilidad de reutilización del efluente limpio. En cambio, el proceso precisa de un pretratamiento y una elevada demanda energética, circunstancias, ambas, que encarecen considerablemente el conjunto del proceso.

El coste total del tratamiento combinado es elevado (estimado por FiW para 1.000 m³ de alpechín por temporada) es de 50.000 E, de los cuales 23.000 E corresponden al tratamiento aerobio y 27.000 E a la operación de ósmosis inversa.

Ejemplos de implantaciones existentes: Hubo en 1991-92 experiencias piloto subvencionadas por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (España):

- Ultrafiltración: realizada por Fernández Saro S.A., para la almazara Molino de las Torres de Alcaudete (Jaén)
- Ultrafiltración: realizada por Scandiavision S.A., para la almazara Martínez Montañéz de Alcalá Real (Jaén)
- Ósmosis inversa: realizada por Itin-Indelpa S.A. para la almazara Coop. N^a S^a de la Merced en Montoro (Córdoba)

En todos los casos los **costes son también muy elevados**, entre 150.000 y 180.000 E de instalación (3-4,2 E/m³ de alpechín tratado) y de explotación de alrededor de 6 E/m³.

4.2.6.5. Procesos de adsorción y biofiltración

Denominación y fundamento: Los procesos de filtración se emplean con frecuencia para eliminar sólidos de las aguas residuales. Los sólidos contenidos en el agua se retienen formando una torta, que aumenta la resistencia al paso del residuo aumentando al mismo tiempo la eficacia de la filtración y el coste de operación. En los filtros convencionales los compuestos disueltos pasan con el residuo acuoso y quedan sin tratar. Sin embargo, los procesos de biofiltración son una excepción, en este caso, el filtro sirve, además, como nutriente para las bacterias, de manera que tiene lugar un proceso de degradación biológica de las sustancias orgánicas disueltas. Las plantas de biofiltración eliminan el 100% de los sólido y entre el 70% y el 80% de los compuestos orgánicos disueltos.

Responsable(s) del desarrollo: recientemente se ha propuesto un proyecto sobre biofiltración y filtración - adsorción a la Comisión Europea por parte de la Universidad Politécnica de Toulouse (Francia) y Universidad Complutense de Madrid (España) (Prof. Aragón, Dpto. Ingeniería Química)

Fase del desarrollo: Investigación.

Descripción técnica: El proceso de biofiltración precisa que se pueda suministrar de alguna manera la cantidad de oxígeno necesaria para llevar a cabo el proceso aerobio, Fig. 4.5. El lavado del filtro proporciona un concentrado que puede ser perfectamente utilizado en campos de cultivo.

Ejemplos de implantaciones existentes: No se conocen.

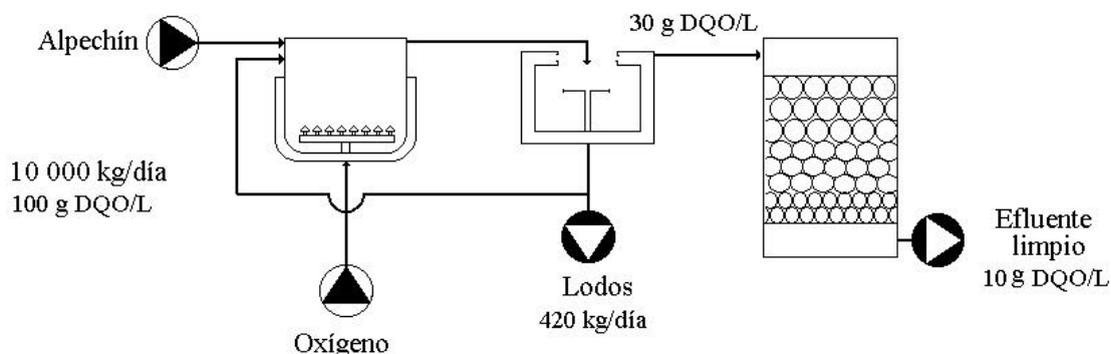


Figura 4.5. Esquema y balance de materia aproximado del proceso de biofiltración

El coste de operación estimados por FiW para el proceso descrito con las capacidades de tratamientos de 1.000 m³ de alpechín es de 23.000E o de 46.000 si se incluye el pretratamiento aerobio.

Las principales ventajas del proceso radican en la retención de sólidos y en la eliminación de gran parte de los compuestos orgánicos disueltos. Las desventajas más importantes son los riesgos de atascamiento del filtro y el elevado poder contaminante del concentrado (torta) resultante.

Una variación o alternativa a la biofiltración es la adsorción. La adsorción consiste en la concentración del contaminante orgánico en un soporte sólido con gran superficie específica, generalmente carbón activo (500-1.500 m²/g.). En el tratamiento de alpechines el principal objetivo de la adsorción es el de biodegradar aquellos compuestos orgánicos que tienen efectos bactericidas, inhibidores o colorantes (taninos, fenoles, etc.)

Las principales ventajas de la absorción radican en la poca contaminación que, sobre el suelo, el aire o el agua, genera este tipo de tratamiento y la necesidad de personal cualificado. Las principales desventajas son la imposibilidad de reutilización del carbón activo, que, sin embargo, al tener un elevado poder calorífico se puede emplear en procesos de combustión y la necesidad de realizar un pretratamiento.

El coste del tratamiento de adsorción se estima en 47.000 E que se desglosan de la siguiente manera, 23.000 E corresponden a la planta de pretratamiento aerobio, y 24.000 E a la planta de adsorción.

4.2.6.6. Oxidación húmeda

Fundamento: Se denomina oxidación húmeda al proceso por el cual se lleva a cabo la oxidación de las sustancias orgánicas en fase líquida usando oxígeno u otro oxidante químico como el ozono o el peróxido de hidrógeno. El proceso se realiza a presiones elevadas (10 – 220 bar) y a temperaturas relativamente elevadas (120 – 330 °C) El proceso de oxidación rinde fundamentalmente CO₂ y agua, aunque normalmente se generan otros óxidos.

Responsable(s) del desarrollo: FiW, (Alemania) Experiencias con tratamiento del alpechín con ozono han sido realizadas por BELTRAN DE HEREDIA, J et al. (2000), en la Universidad de Extremadura (España)

Fase del desarrollo. Sólo estimaciones teóricas comparativas con otras aguas residuales. No ha sido aplicado directamente a la depuración de alpechines, con excepción de los tratamientos con ozono reportados en el párrafo anterior.

Descripción técnica: Cuando la oxidación no es completa, los compuestos difícilmente biodegradables o no biodegradables son transformados en fragmentos biodegradables, de manera que se suele situar una planta de tratamiento biológico aguas abajo de la planta de oxidación.

El coste de la operación es, aproximadamente, de 18.000E y si es preciso utilizar una planta de tratamiento aerobio los costes se elevan hasta los 41.000E por m³ de alpechín tratado.

Ventajas: Los principales puntos fuertes de este tratamiento son las escasas necesidades espaciales que precisa y que, además, el agua tratada por este método puede ser evacuada normalmente a los cauces de los ríos. Sin embargo, y a pesar del elevado grado de purificación que se alcanza, las desventajas fundamentalmente se deben a las emisiones a la atmósfera y la elevada demanda energética que precisa la planta de tratamiento.

4.2.7. Sistemas combinados y otros

Se describen a continuación 6 métodos originales que consisten en combinaciones más o menos complicadas de otros métodos:

4.2.7.1. Depuración y concentración térmica (TRAINALBA S.L.) (España)

Se trata de una combinación de los sistemas de:

- a) Tratamiento físico-químico por floculación de los alpechines, lo que se traduce en una separación de sólidos en suspensión y arrastre de sustancias fenólicas, que dan lugar a una pasta que, con adición de melazas, puede ser utilizada como producto para alimentación de ganado o susceptible de ser añadido en procesos de compostaje.
- b) Tratamiento por concentración térmica, tal como ha sido ya descrito en el epígrafe 4.2.5 anterior.

Este tipo de planta ha sido instalada en la Cooperativa Agrícola de Jimena, entre otras localizaciones.

El factor limitante y condicionante de la aplicabilidad del sistema resulta ser la elevada inversión necesaria.

Actualmente, TRAINALBA S.L. está proyectando la instalación de una planta de tratamiento en Baena, junto a grandes balsas de acopio de alpechín, para utilizar un sistema de cogeneración eléctrica caracterizado por:

- Uso de gas natural como combustible que acciona moto - alternadores de gran potencia.
- Reutilización del calor de los gases de escape como fuente térmica para el secado o evaporación de los alpechines.

El régimen especial de cogeneradores al que pueden acogerse las instalaciones de tratamiento de biomasa permite rentabilizar la inversión.

4.2.7.2. Depuración integral por procesos físico-químicos y biológicos

Fundamento: Numerosos estudios demuestran que los polifenoles del alpechín, principales agentes antimicrobianos y responsables del mal funcionamiento de los sistemas de depuración biológica, pueden ser degradados por hongos y bacterias previa hidrólisis enzimática. A la vista de los buenos resultados obtenidos en la eliminación de estos componentes fenólicos (BORJA et. Al, 1990), el Instituto de la Grasa de Sevilla (España) abordó la aplicación sucesiva de los procesos de depuración anaerobios, aerobios y físico-químicos con el objetivo de conseguir un efluente con características adecuadas para su vertido a cauces fluviales.

Descripción técnica: Aplicación sucesiva de cuatro etapas:

a) Bioconversión:

Tiene por objetivo la recuperación del aceite emulsionado con el alpechín y eliminar los componentes fenólicos. Se consigue:

- Formación de una masa lipoproteica que retiene la práctica totalidad del aceite, con la siguiente composición:
 - Humedad: 60%
 - Aceite de oliva: 7%
 - Proteína: 10%
 - Hidratos de carbono: 11%
 - Minerales: 12%
 - Rendimiento: 56 Kg/m³
- Eliminación del 70% del contenido en polifenoles
- Eliminación de los sólidos en suspensión, sustancias coloidales y parte de las sales minerales

Las características del efluente del proceso de bioconversión, a los 15 días, son las siguientes:

- pH: 4,5-5,5
- DQO: 20.000-30.000 p.p.m.
- Sólidos en suspensión: Exento

b) Biometanización

Proceso de depuración anaerobia que implica la rotura de las moléculas orgánicas hasta su transformación en metano y anhídrido carbónico por la acción simbiótica de 3 grupos de microorganismos: bacterias hidrolíticas, bacterias acetogénicas y bacterias metanogénicas.

Debido a la presencia de polifenoles inhibidores en el alpechín fresco, los tiempos de residencia hidráulica en los bioreactores son muy elevados, del orden de 30-40 días, lo que repercute en elevados costes de instalación. Pero al aplicar la digestión anaerobia al efluente resultante de la bioconversión, desaparece el efecto inhibidor y los tiempos de residencia hidráulica no pasan de 4 días. La temperatura óptima de proceso es de 35 – 37 °C.

Las características del biogas obtenido son las siguientes:

- Volumen: 10 m³/ m³ de alpechín
- Poder calorífico: 6.000 kcal/m³
- Equivalente energético: 6 Kg fueloil / m³ alpechín
17 Kg orujillo

Las características del efluente anaerobio son las siguientes:

- pH: 7,2-7,5
- DQO: 4.000 – 5.000 p.p.m.
- SES: Exento
- Eficiencia depurac. 80%

c) Tratamiento aerobio

Un proceso de aireación (aerobio) se aplica al efluente anterior. Se obtiene una biomasa bacteriana y el efluente aerobio, con la siguiente composición:

- Biomasa bacteriana:
 - Humedad: 70%
 - Proteína: 10%
 - Hidrato de carbono: 12%
 - Minerales: 8%
 - Rendimiento: 3 Kg/m³
- Efluente aerobio:
 - pH: 7,0 – 7,2
 - DQO: 1.000 p.p.m.
 - Eficiencia en depurac. 80%

d) Tratamiento físico-químico

Para eliminar la coloración del líquido resultante y continuar disminuyendo su DQO se aplica un tratamiento físico-químico consistente en la adición de pequeñas cantidades de sulfato de alúmina como polielectrolito. Ello conduce a un efluente final con las siguientes características:

- pH: 6,5-7,0
- DQO: < 500 p.p.m.
- Sales disueltas: 5-7 Kg/m³
- Coloración: Exento

En conjunto, un tiempo de residencia hidráulica total de menos de 15 días consigue una depuración integral (99,6%) del alpechín y la obtención de:

- 56 Kg/m³ de masa lipoproteica, con posibilidad de extracción del aceite residual.
- 10 m³/ m³ de biogas, que equivale a una energía de 60.000 kcal/m³ de alpechín tratado.
- 3 Kg/m³ de biomasa bacteriana que puede destinarse a alimentación del ganado.

Costes: La repercusión estimada por metro cúbico de alpechín tratado, en una planta de dimensión media a alta (del orden de 1.000 m³/año), se sitúa en los valores siguientes:

- Operación: 7,8 E/m³
- Amortizaciones: 3,6 E/m³

No se ha deducido ingreso alguno por valor del biogas ni de los residuos grasos o proteicos útiles.

Ejemplos de instalaciones existentes en España: Dos plantas de este tipo se instalaron en la Cooperativa de Puebla de Cazalla(Córdoba), con un digestor de 500 m³ y en Monterrubio de la Serena (Badajoz), cuyo digestor era de 1.000 m³. Se conseguía reducir la DQO hasta unas 500 p.p.m.. El caso de la depuradora de Soller, basada en principios análogos, se describe en el epígrafe siguiente.

4.2.7.3. El caso de la depuradora de Sóller (Mallorca)

En los alrededores de Sóller existen tres almazaras (Cooperativa San Bartolomé, Can Deià y Can Repic), con una producción variable de 600 a 1.200 m³ de alpechín por campaña.

Para resolver el problema del impacto ambiental de estos vertidos, el INSTITUT BALEAR DE SANEJAMENT (IBASAN) construyó y puso en marcha en 1998 una planta depuradora capaz para el tratamiento de unos 8 m³/día de alpechines. La concepción era más bien la de efectuar una pre-depuración antes de enviar las aguas a la Estación Depuradora de aguas residuales urbanas existente.

El proceso es el siguiente:

- a) Recepción del alpechín: El transporte a la planta desde las almazaras se realiza con cubas del tipo usado para purines.
- b) Desbastado: Mediante un filtro de papel de 15 mm
- c) Proceso físico-químico de neutralización y floculación para eliminación de sólidos disueltos y arrastre de componentes fenólicos. Se separan los lodos y el líquido sobrenadante.
- d) Regulación de caudal a tratamiento anaerobio, mediante depósito - pulmón con aireadores. El alpechín recibe aquí su primera aireación.

- e) Tratamiento biológico con dos reactores de alta tasa de oxidación, con formación de biomasa bacteriana en soportes especiales. Las bacterias liofilizadas, especialmente seleccionadas para resistir y degradar los componentes fenólicos, se añaden en cada campaña. El tiempo de retención hidráulica es de 22 días.
- f) Decantación secundaria en un a unidad diseñada para una carga superficial de $1,02 \text{ m}^2/\text{m}^2/\text{h}$
- g) Depósito para suministro a la EDAR para tratamiento de aguas residuales urbanas.

La DQO de entrada del alpechín fresco oscila entre 45.000 y 74.000 p.p.m. y la instalación consigue un rendimiento casi siempre superior al 90%.

El coste de inversión fue del orden de 240.000 E y los costes anuales de operación son del orden de 18.000 E/año. Contando una amortización a 15 años, el coste total sería de unos 33.000 E/año, lo que se traduce en unas 0,02-0,03 E/litro de alpechín tratado si se trataran $1.000 \text{ m}^3/\text{año}$.

Durante la campaña 1998-99 se trataron un total de 512 m^3 de alpechín (baja cosecha y una de las almazaras no funcionó) Los consumos de reactivos de la depuradora fueron, para esta cantidad de influente, los siguientes:

- Cal (CaO): $5,5 \text{ Kg}/\text{m}^3$
- Polielectrolito: 0,068 “
- Acido sulfúrico: 0,0976 “
- Oxígeno puro (O_2): 100,2 “
- Consorcio bacteriano liofilizado: 0,016 “

4.2.7.4. Otros sistemas

4.2.7.4.1. Sistema Perialisi, S.A.

Se trata, en realidad, de un procedimiento de secado o evaporación de una masa constituida por el orujo al que se añade el alpechín (Fig. 4.6) El conjunto se pasa por una instalación de secado o planta de evaporación formada por los siguientes elementos:

- Horno o cámara de combustión, formado por dos cuerpos cilíndricos concéntricos
- Quemador de combustible sólido, que puede ser orujo seco, orujillo o hueso.
- Pre-cámara cortafuegos
- Tromel de secado, rotativo, de doble circuito
- Ciclones y filtros para eliminación de partículas sólidas del vapor de agua
- Chimenea

Se trata, en realidad, del mismo equipo utilizado para el secado de alperujo. Diseñado con capacidades desde 500.000 a 12.000.000 Kcal/h.

La ventaja del sistema radica en el enriquecimiento del orujo con la materia grasa contenida en el alpechín, así como la completa eliminación de este residuo. En cierto modo, se está secando una mezcla similar al “alperujo” u orujo de dos fases.

El inconveniente del procedimiento es la elevada inversión requerida, con un mínimo de unos 180.000-210.000E para una almazara de 10.000 Tm/año de aceituna. Debe, además, prestarse particular atención a las emisiones atmosféricas de partículas sólidas. Se volverá sobre este sistema cuando, en el Capítulo siguiente, se analizarán las estrategias de secado del alperujo.

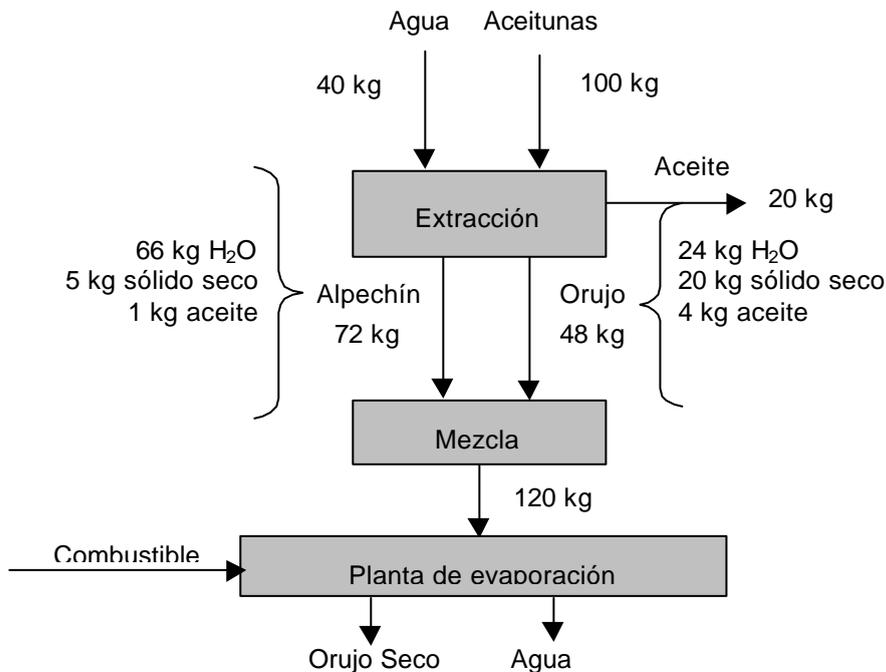


Figura 4.6 Balance de materia orientativo en el sistema Perialisi de secado de orujo + alpechín

4.2.7.4.2. Nebulización - Incineración

Consiste en nebulizar el alpechín e introducirlo en un horno formando mezcla con los gases de combustión. Se produce la evaporación del agua al tiempo que la incineración de la materia orgánica del alpechín.

4.2.7.4.3. - Método SAEM.

Desarrollado en Italia, se trata nuevamente de un sistema de depuración basado en procesos físico-químicos. El tratamiento consta de 5 etapas (fig. 4.7) y se produce en 5 tanques en serie. En los 4 primeros tanques el alpechín es tratado con cal y en el quinto con ácido sulfúrico.

El tratamiento con cal induce la formación de lodos en los tanques 1 y 2 que se bombean a balsa de decantación. El agua sobrenadante cargada de cal, así como el agua de los tanques tercero y cuarto, se incorporan a una balsa de homogeneización en la proporción 1:4. Se consigue un pretratamiento alcalino y una gran dilución de la carga contaminante original.

En el tanque 5 se produce el tratamiento con ácido sulfúrico para ajustar el pH. El vertido se produce tras un tiempo de residencia de unas 21 horas.

El proceso se implantó para el tratamiento de unas 30 m³/día de alpechín fresco, lo que da lugar a unos 3.600 Kg de lodos que deben ser objeto de eliminación o gestión específica. El rendimiento en la depuración es del 99%. Por su elevado pH los fangos están bien estabilizados y pueden utilizarse como enmienda orgánica agrícola.

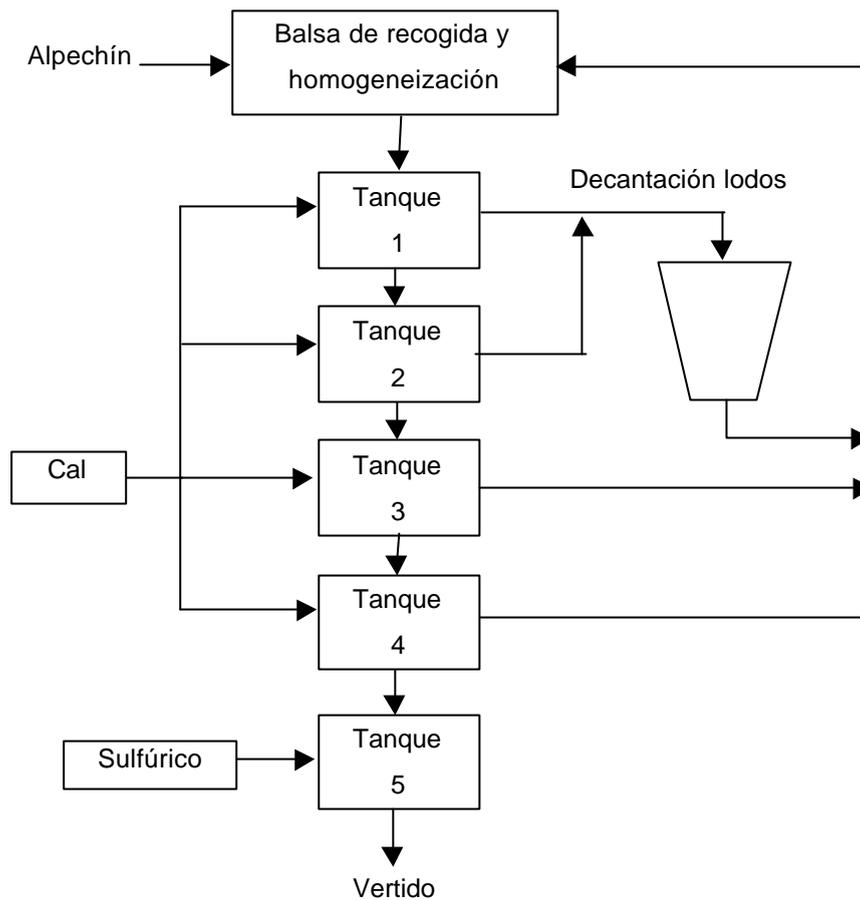


Figura. 4.7. – Esquema del método SAEM

4.2.7.4.4. Método Fernández Saro

Combina sistemas de floculación - decantación con métodos de filtración al vacío o ultracentrifugación. Posteriormente, se produce un proceso aerobio y el tratamiento final de lodos obtenidos.

4.2.7.4.5. Sistema LV de Salamanca Ingenieros

Ensayado a finales de los años 80 en una almazara situada en la Sierra de Cazorla (Andalucía. España) Consta de las siguientes etapas:

- a) Extracción del aceite residual del alpechín mediante disolvente apolar
- b) Floculación
- c) Carbonatación mediante tratamiento con cal y dióxido de carbono

- d) Tratamiento aerobio - anaerobio
- e) Adsorción con carbono activo

4.3. Tratamiento de sólidos: Orujos

4.3.1. Introducción

Los **principales residuos sólidos** generados en la producción de aceite de oliva son **orujo** y **alpeorujo**. Después de la extracción de aceite de orujo de los orujos y alpeorujos se obtiene **orujillo**.

En España en estos momentos la gran mayoría de los orujos generados son de dos fases, o sea, **alpeorujo**. En algunas almazaras se está haciendo la **segunda extracción** o **repaso**: centrifugación en decanter de dos o de tres fases.

En Italia y Grecia la situación es muy distinta, debido a la gran dispersión de almazaras y su normalmente pequeña dimensión. La situación de dispersión y escasa capacidad se repite en la mayoría de los países productores. Únicamente en el caso de Túnez puede hablarse de una fuerte concentración en la ciudad de Sfax, si bien las dimensiones de cada unidad industrial son también reducidas.

Los tratamientos disponibles a escala industrial y económicamente viables bajo las oportunas condiciones de dimensión, son los siguientes:

1. Secado de orujo y extracción de aceite de orujo (extractores tradicionales u orujeras, presentes en los grandes países productores, pero no en algunos de pequeños)
2. Secado de mezclas de orujo y alpeorujo seguido de extracción (ejemplos de ACEITES PINA, COMERCIAL D'OLIS I DERIVATS, etc.)
3. Segunda extracción por centrifugado de alpeorujo e incineración del alpeorujo tratado húmedo para producir electricidad (ejemplo de VETEJAR, OLEÍCOLA EL TEJAR, S.A.)
4. Con ciertas limitaciones (mercado, demanda, distancias) se aprovechan parte de los residuos en otros fines: compostaje de orujo o alpeorujo, pirólisis de huesos para obtener carbón activo (El Tejar, S.A.) y aditivos para piensos de animales (mezclas de pulpa con otros residuos)

Italia, Grecia, Turquía y Túnez presentan grandes diferencias respecto de España, debido a lo anteriormente comentado, ya que no hay producciones masivas y territorialmente concentradas de orujo, alpechín y alpeorujo, al menos no con la importancia en que se producen en Andalucía. De hecho, la implantación de sistemas de dos fases no ha tenido en estos países la extensión que ha registrado en España, por lo que las soluciones para el alpeorujo son, por el momento, prácticamente útiles sólo para España.

4.3.2. Utilización para extracción de aceite residual.

4.3.2.1. Descripción

Se ha dicho ya que el orujo procedente de almazaras trabajando por prensa o por sistema continuo a tres fases tienen un contenido en aceite residual del orden del 4-8%, lo que justifica su extracción por disolvente (hexano) con un proceso similar al utilizado para la extracción del aceite de semillas (soja, girasol, colza)

En la mayoría de los países productores de aceite de oliva existen industrias de segunda extracción (extractoras u orujeras) dedicadas a tal actividad. Es el caso de España, Italia, Grecia, Turquía, Túnez, Siria, etc. Por ello, este destino es el más aconsejable para estas situaciones, con lo que la almazara percibe, en España, un precio del orden de 0,01-0,02 E/Kg de orujo convencional (para el alpeorujo el precio pagado no suele superar 0,005 E/Kg)

El proceso consta de las siguientes operaciones básicas:

- a) Transporte desde almazara a orujera.
- b) Acopio en extractora
- c) Secado, desde 25-35% de humedad hasta 8-10%, que es la humedad de extracción
- d) Extracción en corriente de hexano, con lo que se obtiene:
 - Aceite de orujo
 - Orujillo u orujo extractado

En la planta extractora puede tener lugar la separación del hueso de la pulpa, con lo que se obtiene el "hueso" y el "orujillo tamizado", con los siguientes destinos más frecuentes:

- Hueso y orujillo: combustible
- Orujillo tamizado: alimentación animal

En el Capítulo III de este estudio se han dado las informaciones oportunas en cuanto a las prestaciones de estos residuos para los destinos indicados.

4.3.2.2. Límites de aplicabilidad

Las inversiones en plantas de secado y extractoras son elevadas, por lo que las capacidades de proceso deben ser forzosamente elevadas. A título de orientación, puede decirse que en el contexto europeo no se justificaría una planta con capacidad de tratamiento inferior a 200.000 Tm/año de orujo. Además, estas plantas suelen funcionar a lo largo del año en la extracción de aceites de semillas.

Por ello, en casi todos los casos se trata de instalaciones que dan servicio a varias almazaras y situadas a distancias no superiores a 200 Km de éstas.

4.3.3. Otras utilidades

Solo en el caso que no sea posible el envío de orujos a extractora deben aplicarse otros sistemas de valorización del orujo. Los más usuales son:

4.3.3.1. Uso como combustible:

Utilización directa en estufas domésticas u hornos, con una capacidad calorífica del orden de 3.500 kcal/h.

4.3.3.2. Alimentación del ganado:

Aprovechando los valores nutricionales descritos en el Capítulo III del estudio, puede dosificarse el producto para alimentación de rumiantes (ovino, caprino y camélidos)

Debe insistirse en el hecho que la apetibilidad es muy moderada y ello por dos razones básicas:

- Presencia de componentes lignocelulósicos
- Degradación rápida debido a fermentaciones si se guarda por un corto período de tiempo

Por estas razones, han sido ensayadas **técnicas de ensilado** con buenos resultados. Un estudio reciente (M. HADJIPANAYIOTOU, 1999) desarrollado en el Instituto de Investigación Agraria de Chipre (OLIVAE, núm. 76, abril de 1999) aporta una técnica bastante simple y eficiente. Sus conclusiones son:

- Técnica de ensilado en montones con orujo fresco, de no más de 7 días, con cobertura con lámina plástica (29,25 m² de plástico para tapado de 20 Tm de orujo).
- Eventual mezcla con otros residuos, tales como gallinaza.
- No apareció moho. Color y olor agradable.
- No aparición de salmonellas, listaría ni clostridia.
- Gran apeticibilidad para el ganado.

4.3.3.3. Compostaje

El compostaje es un proceso bio-oxidativo controlado que se desarrolla sobre sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido por la acción de microorganismos. Implica el paso a través de una etapa termofílica y una producción temporal de fitotoxinas, generándose como productos de biodegradación dióxido de carbono, agua, minerales y una materia orgánica estabilizada, libre de compuestos fitotóxicos y patógenos, con riqueza húmica.

El compostaje se realiza si se proporcionan al sustrajo las adecuadas condiciones de aireación, temperatura, nutrientes, pH y humedad. El factor crítico es la aireación. El compostaje puede realizarse de tres formas principales:

- En hileras: Amontonado en hileras y volteado periódico para airear la mezcla, liberar el exceso de calor y favorecer la eliminación de compuestos volátiles.
- En pilas estáticas: Similar al amontonamiento anterior, pero sin volteo. La aireación se consigue por una red basal de tuberías perforadas.
- En reactor cerrado: Para acelerar el proceso desde los algo más de 30 días hasta tan solo tres o cuatro días.

Para obtención de un correcto compost resulta conveniente mezclar los orujos con otros residuos tales como paja de cereales, orujos de vinicultura, etc. El proceso de compostaje se está utilizando en plantas de valorización de alperujos, según se explica más adelante.

La adición al orujo del residuo vegetal y térreo procedente de la limpieza de la aceituna resulta ser una estrategia recomendable.

4.4. Tratamiento de sólidos: Alpeorujo

4.4.1. Introducción

La aparición del alperujo u orujo de dos fases, como solución a la producción y gestión de los alpechines, ha traído consigo la necesidad de poner a punto estrategias y técnicas de tratamiento y valorización de este “nuevo” subproducto.

Una visión general de los circuitos y operaciones a que viene siendo sometido el alperujo se expresan en la figura 4.8. Así, las posibilidades son:

- a) Secado y extracción del aceite residual en extractora de hexano, como en el caso del orujo de 3 fases. Con extracción previa del hueso (deshuesado) o sin ella.
- b) Fabricación de compost como fertilizante o enmienda orgánica
- c) Combustión en proceso de cogeneración eléctrica.
- d) Operaciones combinadas: plantas de aprovechamiento integral del alperujo.

Como se ha indicado con anterioridad, la mayoría de estos procesos han tenido y siguen teniendo su máximo nivel de desarrollo en España, como consecuencia de la enorme difusión del sistema de elaboración continuo a dos fases.

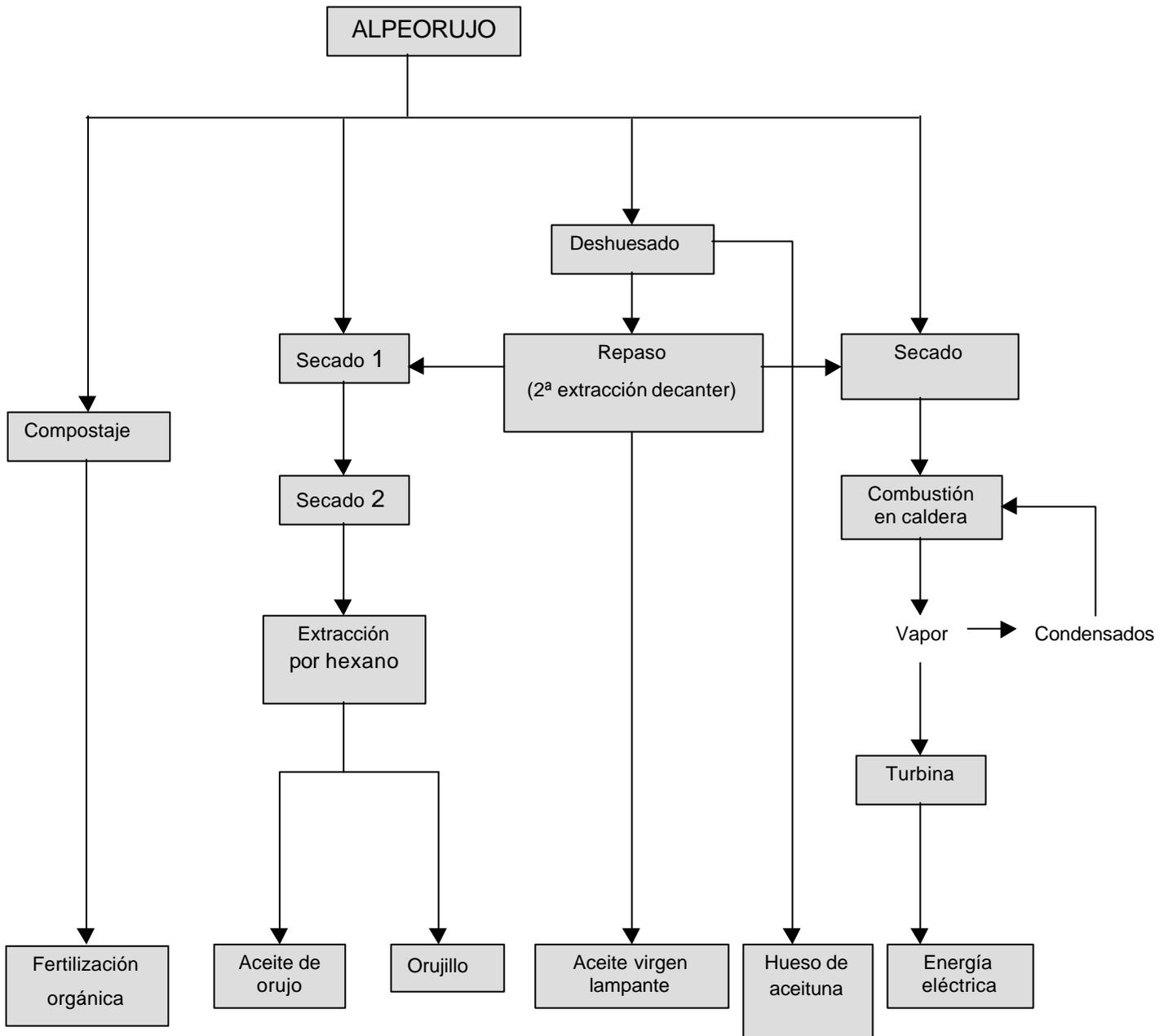


Fig. 4.8. Visión general de los sistemas de valorización de alpeorujos.

4.4.2. Compostaje de alpeorujo

Fundamento: El principal objetivo del compostaje es el de reducir la masa, eliminar los olores y sanear el residuo lo máximo posible para producir un compost orgánico de gran calidad y bajo poder contaminante.

Descripción técnica: El compostaje de residuos de alpechín (seco) y de orujo está bien definido y desarrollado. El alpeorujo fresco tiene gran cantidad de agua, que impediría la difusión de oxígeno en los primeros días de compostaje, por ello el compostaje del alpeorujo requiere la adición de algún material estructural tal como virutas de madera, hojas, pajas e incluso compost seco. Cuando es necesario tratar gran cantidad de alpeorujo, es necesario añadir gran cantidad de material estructural. La cantidad de **espacio** requerido para este propósito se incrementa considerablemente.

El compost generado se puede utilizar en agricultura (especialmente si es un compost de alta calidad y diseñado "a medida" para cultivos de alto valor añadido, como flores, horticultura de invernadero,...)

Costes: Cuando la planta de compostaje funciona de forma adecuada no se generan residuos líquidos. El coste de operación para el tratamiento de 3.500 toneladas de alpeorujo (seco) es de 50.000E y se consigue degradar el 40% de la materia orgánica.

Las investigaciones realizadas por el Profesor Balis (Universidad de Harokopio. Grecia) revelan que el coste del compostaje se puede reducir considerablemente, si la adición de materia estructural se realiza sólo al principio del proceso y, posteriormente, se usa alpeorujo ya compostado como material estructural. Aplicando este procedimiento el proceso **puede ser económicamente rentable**.

Ejemplos de implantaciones existentes:

- Plantas piloto de compostaje del Prof. Balis en Kalamata (Grecia) Cooperativa de Kalamata (Messiniaki, S.A.)
- Planta en La Gineta (Albacete, España) Véase descripción en epígrafe 4.5.2 de este Capítulo.

4.4.3. Secado y extracción de aceite de orujo

Fundamento: Usualmente se seca para dotar al producto de las características precisas para la extracción de aceite de orujo, o para poder incinerarlo adecuadamente y producir electricidad.

El procedimiento de secado, ya sea mediante evaporación natural, por convección o por radiación, es el método más empleado para el tratamiento de los **orujos y alpeorujos**. Las principales desventajas que presenta el secado en balsas son los olores que se desprenden en el proceso y los compuestos orgánicos volátiles que se transfieren a la atmósfera.

El secado para seguir otros tratamientos del sólido (especialmente extracción de aceite de orujo) se realiza por convección en el que se aprovecha el calor de los gases calientes de combustión de orujillo para el secado de orujo, alpeorujo o mezclas de alpeorujo - orujo. Se usan casi siempre los hornos rotatorios, del tipo que se ha descrito en el epígrafe 4.2.7.4.1 de este mismo Capítulo (ejemplo de secadero marca PIERALISI, S.A.)

Fase del desarrollo Secaderos rotatorios de escala industrial y operativos. Otros tipos (lecho fluidizado, anillos, ciclones) sólo a escala piloto.

Descripción técnica: Pueden encontrarse las siguientes variantes:

a) Secado en almazara

Se trata de reducir la humedad del orujo de dos fases (60-70%) hasta la que correspondería a un orujo de prensa o de tres fases (25-35%) Con ello se consigue:

- Solventar los problemas de transporte a orujera, propios de un producto pastoso como el alperujo.
- Aumentar el precio percibido, hasta asimilarlo al que se obtiene del orujo normal.

Se emplean para esta operación hornos rotatorios de gran capacidad, con potencia calorífica mínima del orden de M kcal/h, con un coste de la instalación del orden de 180.000 E.

Como combustible se utiliza el “orujillo” procedente de la propia extractora, en transporte “de vuelta”.

Es evidente que la limitación más importante la constituye la fuerte inversión en la instalación de secado, que solo se justifica con producciones superiores a 10.000 Tm/año de aceituna.

b) Secado en “extractora” o en planta apropiada.

Como es obvio, la optimización del secado solo se produce cuando las cantidades a tratar son importantes. De ahí que los procesos de secado deban normalmente centralizarse en:

- Las propias orujeras, que procesan el producto proveniente de numerosas almazaras.
- En plantas de aprovechamiento integral, que responden a la misma filosofía de escala.
- En ambos casos, son necesarias estructuras de almacenaje consistentes en grandes embalses impermeabilizados, del mismo tipo de los utilizados para los alpechines, pero de mayor profundidad.
- También en ambos casos, el secado se optimiza mediante mezcla previa de alperujos y orujos convencionales, con lo que la humedad conjunta disminuye notablemente.

c) Deshuesado previo y “repasso”

Una operación frecuente y previa al secado es el denominado “repasso” de los alperujos, que consiste en una nueva centrifugación con decanter para extracción de parte del aceite residual contenido en el subproducto. Cuando se procede de este modo, suele practicarse un “deshuesado” previo con máquinas apropiadas que permiten:

- Obtener “hueso”, que resulta ser un excelente combustible.
- Mejorar notablemente el rendimiento en la extracción de aceite.

El coste del secado de alpeorujos es elevado debido al gran contenido de agua, y asciende a 200 E por tonelada de alpeorujos seco (Las necesidades térmicas son del orden de 1,30 Kw/h/Kg de agua evaporado)

Ejemplos de implantaciones existentes:

- a) Planta piloto: El equipo de investigadores del Profesor Aragón del Dpto. de Ingeniería Química de la Universidad Complutense de Madrid (España) ha desarrollado un nuevo contactor para el secado de alpeorujo (FLUMOV) El sistema desarrollado permite utilizar aire, o gases, a baja temperatura (120 °C) para el secado de alpeorujo. Con este sistema se evita la degradación del aceite residual que contiene el alpeorujo y permite su extracción tal y como ha sido comprobado por la empresa OLEICOLA EL TEJAR (España.)
- b) Industrial: ACEITES PINA S.A., probablemente el mayor utilizador privado de orujos de España.. GENERAL D'OLIS I DERIVATS SA (Lleida). OLEICOLA EL TEJAR S.A. Y UNION DE COOPERATIVAS ALBACETENSES (La Gineta, Albacete), como empresas cooperativas. En cuanto a secado al nivel de almazara, COOPERATIVA AGRICOLA DE SANTA BARBARA (Tarragona)

4.4.4. Incineración de alpeorujo y cogeneración eléctrica.

Fundamento: Utilización del alperujo como combustible en caldera de parrilla o de lecho fluidizado. Accionamiento de turbina con la energía térmica generada y transformación en energía eléctrica.

La incineración directa de alpeorujo requiere del uso de un combustible adicional si el contenido de agua que éste presenta es superior al 55%. Por otra parte, debido al contenido en aceite residual presente en el alpeorujo fresco, las extractoras de aceite de orujo prefieren aplicar antes de la incineración los métodos clásicos de extracción que generan aceite de orujo y un "orujillo de dos fases" susceptible de ser incinerado o gasificado.

Responsable(s) del desarrollo: VETEJAR S.A. Sociedad formada por OLEICOLA EL TEJAR Y ABENGOA (España)

Fase del desarrollo: I+D e industrial

Descripción técnica El orujillo o el alperujo con humedad adecuada (inferior a 40%)se quema en un lecho fluidizado con elementos de transferencia de calor para producir vapor. Se usa una turbina Siemens que funciona a 3.500 r.p.m.

Del informe de evaluación de impacto ambiental se desprende que las emisiones gaseosas no son nocivas y cumple holgadamente con los límites legales establecidos al respecto. Los residuos líquidos que se generan en los procesos de limpieza, purga del sistema de refrigeración y efluente del sistema de desmineralización tras el tratamiento correspondiente pueden ser vertidas directamente por no suponer riesgo para la biota. Los residuos sólidos, compuestos fundamentalmente por la ceniza y escorias, son completamente inertes y pueden ser utilizadas en la fabricación de cemento u otros usos similares.

Ejemplos de implantaciones existentes en España: Planta instalada por VETEJAR S.A. en los terrenos de OLEÍCOLA EL TEJAR, El Tejar (Córdoba), con una capacidad instalada de aproximadamente 12 MW. El Tejar tiene en la actualidad otra instalación en funcionamiento, con 19,4 MW, en la localidad de Palenciana (Córdoba)

La cooperativa Oleícola El Tejar construirá dos plantas térmicas de generación eléctrica que utilizan como combustible residuos del olivar. Estas plantas serán levantadas en la localidad cordobesa de Pedro Abad y en la gaditana de Algodonales. La nueva planta cordobesa tendrá una potencia de 25 MW y quemará alperujo, aunque también existe la posibilidad de utilizar ramón de poda de olivo. La construcción de esta planta supondrá una inversión de 24.000.000 E, y su propietaria es Agroenergética de Pedro Abad, empresa perteneciente a Oleícola El Tejar.

Respecto a la planta de Algodonales, con una potencia de 6 MW, la inversión prevista asciende a 7.200.000 E.

A estos proyectos vendrá a sumarse al comienzo de las obras de construcción de otra planta de estas características en Baena (Córdoba), con un coste de 24.000.000 E y una potencia de 25 megavatios.

4.4.5. Gasificación de orujillo: método de la Universidad Complutense de Madrid (UCM. España)

Denominación y fundamento: Gasificación en “flumov”. La UCM ha desarrollado un nuevo contactor basado en la tecnología de lecho fluidizado combinado con un lecho

móvil (*flumov*), que facilita enormemente el proceso de gasificación de **orujillo**. Los resultados obtenidos al respecto han sido satisfactorios tal y como se desprende del informe de evaluación emitido al respecto por OLEICOLA EL TEJAR. En este caso particular, el proceso de combustión y/o de gasificación puede resultar económicamente rentable.

Residuo o subproducto tratado: orujillo, posiblemente aplicable a alpeorujo repasado.

Responsable(s) del desarrollo: Prof. Aragón, Dpto. de Ingeniería Química, Universidad Complutense de Madrid (España)

Fase del desarrollo: investigación, planta piloto pequeña (5 Kg/h)

Descripción técnica: El poder calorífico del orujillo, en torno a 4 000 Kcal/Kg permite su aprovechamiento en calderas de combustión y de gasificación. Además, y dado el bajo contenido en azufre del residuo (<1%) según análisis del Centro de Investigaciones Energéticas y Medioambientales (CIEMAT), permite evacuar un gas que contiene básicamente agua y dióxido de carbono.

El método consiste en alimentar el orujillo, que puede contener hasta un 20-30% de humedad (en base seca) a un reactor FLUMOV. Este tipo de sistemas está formado por un lecho móvil localizado en la parte superior del reactor, al cual se alimenta el alpeorujo (o orujillo) En la parte inferior del sistema, existe un lecho fluidizado, en el cual se lleva a cabo un proceso de combustión. Tanto el lecho fluidizado como el lecho móvil, se encuentran en el mismo recipiente y no existe ningún dispositivo físico que separe el lecho fluidizado del lecho móvil. Los gases generados en la parte fluidizada, que están a alta temperatura y con un bajo contenido de oxígeno, alcanzan la parte superior del reactor donde se encuentra el lecho móvil, lo que produce la gasificación del alpeorujo localizado en el lecho móvil, de forma similar a como ocurre en un lecho móvil convencional. La principal ventaja del sistema radica en la temperatura a la que tiene lugar el proceso de gasificación. En la Fig. 4.9 se muestra un esquema de la planta.

El método desarrollado permite gasificar aprovechando el buen contacto gas-sólido de los lechos móviles pero sin los inconvenientes de trabajar a temperaturas

elevadas (1.000 °C) Con respecto a los gasificadores de lecho fluidizado el rendimiento aumenta al mejorar el contacto gas-sólido. Los gases generados en la gasificación con aire poseen un poder calorífico aproximado de 6 MJ/Nm³ de gas generado (incluido el N₂) y la composición media de los gases a una temperatura de 750 °C – 800 °C es 10% de H₂, 18% de CO y 6% de CH₄.

El coste de la incineración directa del alpeorujo fresco, sin contar los posibles beneficios de cogeneración, es de aproximadamente 300 E por tonelada de orujillo. Se generan aproximadamente 30 Kg de ceniza por t de orujillo.

Ejemplos de implantaciones existentes: sólo la unidad piloto de la UCM.

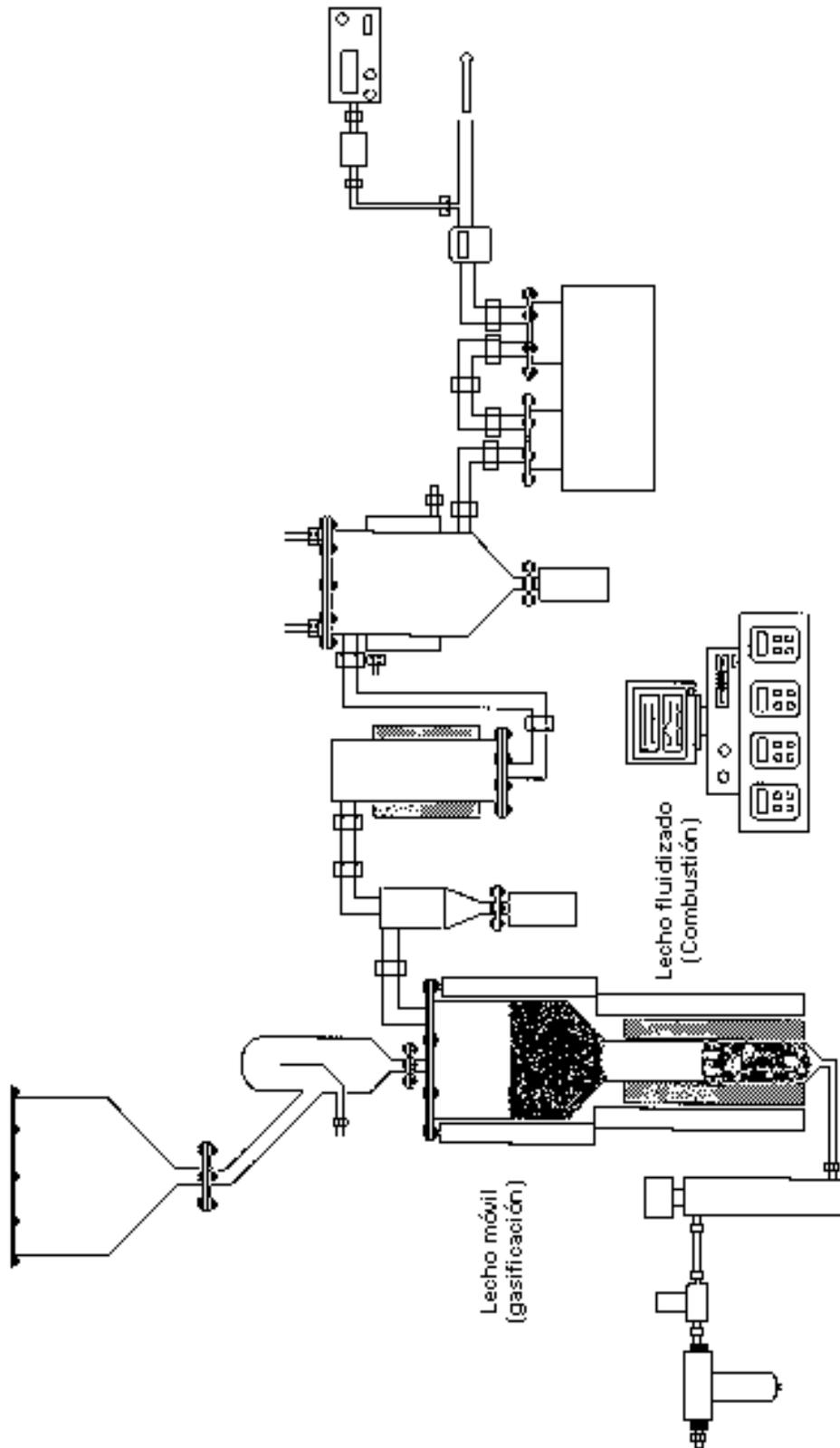


Figura 4.9 – Esquema de la planta piloto de gasificación de orujillo desarrollada por el Dpto. de Ingeniería Química de la UCM



4.4.6. Gasificación: Proceso GASBI-Senerkhet

Fundamento: Gasificación en lecho móvil. La empresa GASBI (Gasificación de Biomasa, S.L.) ha desarrollado plantas de gasificación para los residuos generados en la extracción de aceite de oliva, basándose en los principios de subsidiariedad y autosuficiencia para obtener beneficios sociales y económicos.

Responsable(s) del desarrollo: D. Sebastián Querejeta, GASBI S.L.

Fase del desarrollo: No ensayado en alperujo. De acuerdo con las informaciones de la empresa, puede funcionar si se procede a un secado previo hasta menos de 40% de humedad.

Descripción técnica: GASBI S.L. comercializa gasificadores de lecho móvil modulares que pueden generar hasta 10 Mwe/h. La planta de gasificación precisa 300 m² de superficie, utiliza como combustible el orujillo resultante de la extracción de aceite de orujo, con un máximo de un 40% de humedad. El gas combustible generado en el proceso se combustiona en un motor, produciendo por medio de un alternador, electricidad para el autoconsumo de la planta.

La principal ventaja de la gasificación es la posibilidad de aumentar el rendimiento del paso de energía térmica a eléctrica de un 25% (típico de combustión con generación de vapor y turbina) a un 30-45% (quemando los gases de gasificación en motores o turbinas de gas)

Ejemplos de implantaciones existentes: Las plantas GASBI se suministran con potencias eléctricas entre 600 y 1.000 Kw. La potencia térmica que produce la planta es 1,4 veces la eléctrica. No existen implantaciones específicas para biomasa del sector oleícola.

4.4.7. Plantas de aprovechamiento integral de alperujo

4.4.7.1. Introducción

En zonas de grandes producciones de alperujo, como son las regiones españolas de Andalucía y Castilla-La Mancha y, además, con fuerte implantación de almazaras cooperativas, se han implantado en los últimos años instalaciones comunitarias con un doble objetivo:

- Resolver el problema de la gestión de alperujos a las almazaras asociadas, que por su dimensión no podrían hacer frente a las inversiones exigibles.
- Valorizar este subproducto en la forma más completa posible
- Resolver los posibles problemas de impacto ambiental sobre el medio.

Es por ello que se recogen en los epígrafes siguientes dos de las experiencias más relevantes que han sido desarrolladas en España.

4.4.7.2- Planta de la UNION DE COOPERATIVAS AGRICOLAS ALBACETENSES

Características de la materia prima. Descripción del proceso de trabajo

Como subproducto de la obtención de aceite de oliva en las almazaras de dos fases, se produce orujo graso. Estos tienen el sistema de dos fases, sin producción de alpechín, pero donde el ALPERUJO tiene una mayor humedad que los orujos obtenidos por los sistemas convencionales (prensado y tres fases), aparte de una textura semifluida que hace difícil el transporte desde su punto de producción y un posterior almacenamiento. Las características identificativas fundamentales de la materia prima de la que partimos, que condicionan el dimensionamiento del parque de recepción y de la maquinaria son:

ALPERUJO HUMEDO:

- Humedad \cong sobre el 60%
- Contenido de grasa (sobre húmedo) \cong 3%
- Textura semifluida

ALPERUJO SECO:

- Contenido de la sustancia seca de media:
 - 50% de pulpa
 - 50% de hueso

El transporte ha de hacerse en semicisternas y no en cajas normales, con rompeolas para que no se salga y el almacenamiento en balsas impermeables, lo cual, en años de cosechas grandes origina que los costes de proceso provoquen que el subproducto puede considerarse como RESIDUO y su gestión, por tanto, igual, llegando incluso a tener que pagar para eliminarlo de las almazaras. Los aprovechamientos que se preconizan normalmente son:

- A) Secado hasta 10% de humedad y posterior extracción del aceite residual con disolventes, para obtener aceite de orujo crudo y utilización de orujillo residual (el

sobranante después de extractarse y utilizarse como combustible para el secado), en plantas de cogeneración, o convenientemente corregido como pienso.

- B) Someter el alperujo, previo deshuesado (parcial o total) en húmedo, a una segunda centrifugación, proceso que si se hace al día, es capaz de recuperar el 50% del aceite residual en el orujo en forma de aceite lampante de oliva.

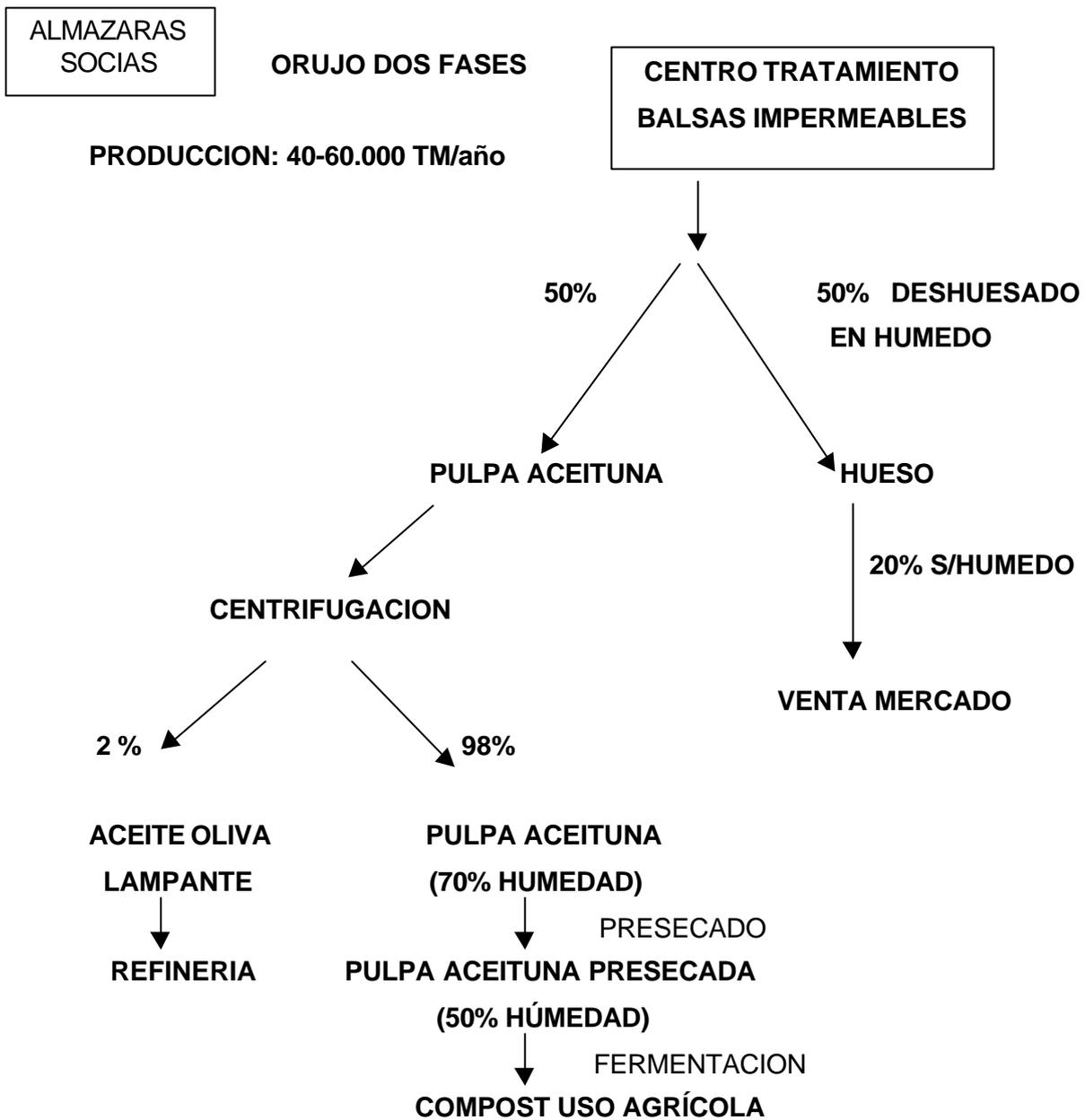
El producto resultante, pulpa de aceituna parcialmente desgrasada contiene entre un 65/70% de humedad aproximadamente, y un porcentaje mayor o menor de hueso.

Las opciones son:

1. Quemar en húmedo en planta de cogeneración.
2. Presecado y posterior conversión en materia orgánica por procesos fermentativos.

La opción A es la que tienen adoptada el 30% de los extractores y la B en la opción 1 la ha desarrollado OLEICOLA EL TEJAR, mientras la 2 la ha desarrollado Cooperativas Agrícolas Albacetenses.

El esquema de trabajo es:



Al haber tomado todas las medidas correctoras incluso las de recuperación del lixiviado que produce el compost, por agua de lluvia, resulta un proceso completamente limpio, y se cierra el circuito de una forma satisfactoria, rentable y ecológica.

Características de los productos obtenidos

Los productos que se obtienen serán:

ACEITE DE OLIVA VIRGEN

Al trabajar al día, el producto obtenido, que denominaremos de segunda centrifugación, normalmente, tendrá las características de un aceite de oliva lampante, con sabor y color defectuosos y analíticamente con índices **dentro** de normas, siendo los más problemáticos, el contenido de ceras, próximo al índice límite (350 p.p.m) de media y en ciertas campañas el eritrodol (una de las partidas de los esteroides) próximo al límite máximo. (2% s/peso húmedo recibido)

HUESO DE ACEITUNA

El hueso de aceituna, separado del orujo en húmedo, contiene algo de humedad ($\cong 18\%$) siendo perfectamente válido para utilizarlo como combustible, sin manipulación alguna. Tiene un poder calórico de alrededor de 5.300 Kcal/Kg (producto seco) y se obtiene en porcentaje del 20% sobre peso de alperujo húmedo.

COMPOST PARA USO AGRICOLA

La medida de los índices más significativos del compost obtenido es:

- pH – 7,5/8
- Humedad: 40%
- Materia orgánica 75/80%
- Ácido húmico + fulvico: sobre 21/25%
- Metales pesados: exento
- Nitrógeno total: $\cong 2\%$
- Fósforo: $\cong 2\%$
- Potasio total $\cong 2,2\%$
- Conductividad: exento de problemas.

4.4.7.3. El caso de OLEICOLA EL TEJAR

OLEICOLA EL TEJAR es una cooperativa de 2º grado dedicada, desde hace años, al procesado de orujos convencionales para extracción de aceite residual. Se halla ubicada en las localidades de El Tejar y Palenciana, en la provincia de Córdoba (Andalucía. España)

A raíz de la aparición y gran difusión del sistema de extracción con decanter a 2 fases, la entidad tuvo que plantearse nuevos sistemas de gestión y tratamiento del alperujo. Desde entonces, ha desarrollado una intensa actividad en este ámbito y, en general, en el más amplio de la valorización de residuos y subproductos del olivar, desde el ramón de poda hasta los típicos del proceso de elaboración de aceite. Se trata, pues, de un ejemplo de actuación caracterizado por:

- a) La estructura de base cooperativa
- b) La gran dimensión (proceso de más de 600.000 Tm/año)
- c) La continua actividad de innovación tecnológica en este campo

Actualmente, la entidad desarrolla las siguientes actividades principales:

1. Recepción y acopio de orujos convencionales y alperujos (“parque de combustible”)
2. “Repaso” o segunda extracción de aceite residual en decanter, con o sin extracción previa del hueso.
3. Secado de orujos y alperujos.
4. Planta de extracción de aceites de orujo con disolventes
5. Planta de cogeneración eléctrica utilizando el alperujo a menos de 40% de humedad como combustible para producción de vapor que acciona una turbina y alternador, según se ha descrito en el epígrafe 4.4.4 de este Capítulo. Esta actividad se desarrolla a través de la sociedad VETEJAR, en la que participan la propia cooperativa, la empresa eléctrica SEVILLANA DE ELECTRICIDAD y la empresa instaladora ABENGOA. Posteriormente, la entidad ha procedido y está ejecutando nuevas plantas de cogeneración con utilización de alperujo en otras localidades.
6. Producción de carbón activo a partir del hueso
7. Producción de compost para agricultura
8. Producción de pulpa para alimentación animal.

En realidad, los procesos 1, 2 3 y 6 se basan en sistemas similares a los descritos en el epígrafe 4.4.7.2 para la Unión de Cooperativas Albacetenses, de la cual OLEICOLA EL TEJAR ha sido, de hecho, el modelo precursor.

4.4.7.4. El ejemplo de ACEITES PINA

Actualmente, la familia PINA tiene 5 plantas. Villarta: 3.000 Tm/día, La Carolina: 2.000 Tm/día; Tarragona, 1.000 Tm/día; Puebla del Híjar 500 Tm/día y otra de 500 Tm/día. Total 7.000 Tm/día de alpeorujo y otros orujos.

En la planta de Villarta entran 6.000 t/día pero **sólo se pueden procesar 3.000**. Típica composición de entrada es: orujos de Jaén, aprox 98% es de alpeorujo. Orujos de Castilla la Mancha, 70% de alpeorujo, 25% de orujo de tres fases y 5% de orujo de prensa. Los distintos orujos se mezclan en proporciones tales que dan una mezcla de 48-50% de humedad, que es la que pasa a los hornos rotatorios y se secan hasta 8%, de donde pasan a la extracción con hexano para obtener aceite de orujo. La planta trabaja en continuo durante 3-4 meses.

Secaderos hornos (trommels) rotatorios. 30 m x 3 m. Dos unidades seguidas de un molino cada una de ellas. En el primer trommel entra el aire a 500 °C y el orujo a 60% humedad, sale el sólido presecado a 30% de humedad, pasa a un molino y entra en el siguiente trommel. El aire sale del segundo trommel a 80 °C y el sólido a un 8-10% de humedad. El aire finalmente pasa por dos ciclones (no hacen falta filtros, ya que el tamaño de partícula arrastrado es relativamente grande y se recoge con buena eficacia en los ciclones, salen unos 115-120 mg/Nm³ de sólidos por la chimenea (el máximo legal es 150 mg/ Nm³; realmente el límite es 50 p.p.m., pero como se parte de alpeorujo, que tiene más sólidos finos, que antes se iban con el alpechín, se autoriza ese límite mayor para orujeros españoles que usan alpeorujo)

El orujo seco se destina a la extracción con hexano. El orujillo final del proceso de extracción con hexano (unas 700 t/día) tiene un 40% de pulpa y un 60% de hueso (se separa mediante un sistema neumático, vacío y gravedad) Parte de la pulpa tiene salida como aditivo de pienso de animales y el hueso va a combustión. La cantidad de pulpa que se saca es de 280 t/día.

En la región hay muchas granjas de gallinas y cerdos, que venden la gallinaza y purina como material para piensos (a 0,005 E/Kg.), lo que supone una gran competencia para poder competir con la pulpa como aditivo.

Por otro lado, antes tenía buena salida el orujillo (hueso) como combustible para cementeras y cerámicas. Ahora, con el precio del gas natural, el panorama no es el mismo.

Para superar esta situación negativa del mercado de subproductos finales se está estudiando la instalación de una planta de generación de electricidad que va a usar 100.000 t/año de orujillo para producir 16 Mwe. La planta tendrá una caldera Foster-Weeler de parrilla semifluidizada (se usa el hueso) e inyectores de pulpa (la pulpa tiene muchos compuestos volátiles y arde como una llama muy bien) Se trabajará a unos 600-700 °C para evitar formación de óxidos nitrosos.

4.5. Conclusiones y Recomendaciones

El análisis expuesto en los epígrafes anteriores de este Capítulo permite extraer los siguientes comentarios:

- Los sistemas de gestión y tratamiento de residuos y subproductos, por orden de viabilidad técnica e interés económico dentro de ciertas condiciones que deben ser analizadas en cada caso, son los siguientes:
 - a) **Alpechines:**
 1. Riego fertilizante
 2. Evaporación natural con adición de microorganismos de degradación
 3. Concentración térmica
 4. Depuración integral

 - b) **Orujos sólidos (prensa y 3 fases)**
 1. Venta a orujera para 2ª extracción con disolvente
 2. Combustible
 3. Alimentación animal (mejor con extracción de hueso), ensilado.
 4. Compostaje

 - c) **Orujo pastoso (alperujo)**
 1. Transporte a orujera para secado y extracción con disolvente
 2. Compostaje
 3. Combustión - generación eléctrica

- Las demás tecnologías disponibles o bien no han superado las fases de I+D o de planta piloto, o bien no pueden ser recomendadas por problemas de fiabilidad técnica y/o de coste excesivo
- La elección de uno u otro sistema depende de una serie de factores relacionados con:
 - a) La ubicación de la almazara y las condiciones del entorno
 - disponibilidad de tierras con cultivos apropiados
 - carácter urbano o rural
 - existencia de “demanda” o capacidad de uso de residuos y subproductos
 - ubicación aislada o concentrada (varias almazaras próximas)
 - b) La dimensión de la almazara en términos de volumen de aceituna molturada, es decir, cantidad de residuos y subproductos generados.
 - c) La existencia de industrias orujeras o de 2ª extracción a distancia razonable
 - d) La organización o grado de integración, actual o potencial, entre almazaras de una misma zona.
- El sistema de molturación a prensas se desaconseja básicamente y entre otros factores, por sus elevados costes de operación. Ello significa que, progresivamente, este tipo de instalaciones va a ser sustituidas por otras de tipo continuo funcionando a 3 ó 2 fases. En este sentido, puede concluirse:
 - a) Que en almazaras pequeñas (no más de 3.000 Tm/año) puede utilizarse el sistema de 3 fases si se tiene un destino apropiado para los orujos y si existe disponibilidad de tierras para aplicación fertilizante del alpechín, con o sin estocaje previo.
 - b) Que en almazaras grandes o en zonas de concentración de las mismas, donde debe evitarse la generación de alpechines, deberá instalarse o transformarse a sistema de 2 fases. En este caso, deberá ser posible la aplicación de alguno de los sistemas de tratamiento de alperujo preconizados, de modo que la elección dependerá esencialmente del volumen de subproducto generado.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

La producción mundial de aceite de oliva asciende a unos 2 millones de Tm/año y se concentra en más del 90% en los países de la Cuenca del Mediterráneo. España es el principal país productor (35% del total), seguido de Italia, Grecia, Turquía y Túnez. Prácticamente en todos los países de la cuenca existe, en mayor o menor medida, producción olivarera.

La extracción de aceite de oliva se realiza en las almazaras. En la mayor parte de las zonas productoras, predominan las instalaciones de dimensión pequeña a mediana (150-3.000 Tm/año) Solamente en Andalucía, la mayor región productora del mundo, pueden encontrarse almazaras que superan las 50.000 Tm/año. Dimensiones intermedias son frecuentes en algunas otras regiones españolas, en el Sur de Italia, en Grecia y Túnez. En los últimos años se asiste a una tendencia al aumento de la capacidad de las almazaras, a menudo debido a políticas de concentración.

El aceite de oliva ocupa tan solo el octavo lugar en el "ranking" de demanda de aceites vegetales y supone únicamente el 3% del total. Sin embargo, el consumo es de tendencia creciente. Italia, España, Grecia y Túnez son los principales países exportadores. Italia es el mayor operador a escala internacional y EE.UU.. Es el principal importador, después de Italia.

En la cadena industrial del aceite de oliva intervienen las siguientes funciones/agentes:

- Productores de aceituna
- Almazaras (aceite de oliva virgen)
- Extractores de aceite de orujo
- Refinadores
- Envasadores
- Mayoristas
- Detallistas

Con frecuencia, un mismo operador realiza varias de las funciones indicadas.

La extracción de aceite en almazara responde a un proceso de carácter físico con elementos comunes en la fase de recepción (descarga, limpieza, control, lavado y almacenaje de aceituna) y con diferencias notables en la fase de separación de aceite, que puede realizarse mediante tres procedimientos: por prensa, continuo a 3 fases y continuo 2 fases.

Cada uno de estos sistemas da lugar a distintos tipos de residuos y subproductos:

- c) Prensa: Alpechines concentrados + Orujo sólido (25-30% humedad)
- d) 3 fases: Alpechines diluidos en mayor cantidad + Orujo sólido (35-45% de humedad)
- e) 2 fases: Alpechines muy diluidos y en poca cantidad + Orujo húmedo o “alperujo” (55-65% de humedad, consistencia pastosa)

En el estudio se presenta una tabla “input-output” de comparación entre los sistemas indicados.

Los alpechines o aguas de vegetación poseen un alto poder contaminante (DQO que oscila entre unos 50 g/l en 3 fases y 125 g/l en sistema de prensa), que puede ocasionar serios problemas ambientales cuando se vierten a cauces hídricos o deteriorar los sistemas de saneamiento de poblaciones por corrosión. Por otra parte, presentan características interesantes como fertilizante. Por ambas razones, deben ser objeto de una gestión apropiada. Ello viene más obligado cuando se consideran los aspectos de concentración temporal (3-4 meses por año) y territorial en su producción.

El denominado sistema de 2 fases se desarrolló, precisamente, para evitar la generación y consiguiente vertido de alpechines al nivel de almazara. El sistema, sin embargo, genera un nuevo residuo o subproducto, el alperujo, que contiene la parte sólida de la aceituna junto con el agua de vegetación. Por tanto, nuevas estrategias de gestión de este material han debido ser desarrolladas.

Los orujos y sus componentes sólidos (pulpa, hueso) presentan asimismo elementos de interés económico: contenido graso residual, valor alimenticio para el ganado,

poder calorífico como combustible. Son o deben ser, por tanto, objeto de valorización.

La información detallada de cada uno de los sistemas y tecnologías disponibles tanto para el proceso de extracción en almazara como para el tratamiento de residuos y subproductos se exponen, respectivamente, en los Capítulos II y III del estudio. Como información complementaria, el Apéndice I recoge un listado de referencias útiles donde puede obtenerse la información adicional necesaria para enmarcar cualquier toma de decisiones en relación con el tema objeto de análisis.

Para resolver el problema de la eliminación o para inducir la reutilización de los alpechines han sido estudiados numerosos sistemas, en particular a partir de los años sesenta. Entre ellos pueden mencionarse, por orden de interés y eficiencia, los siguientes:

- Riego fertilizante, bajo determinadas condiciones de aplicación.
- Evaporación natural o forzada
- Concentración térmica
- Depuración por distintos procedimientos físicos, químicos y biológicos.
- Combinaciones de los sistemas anteriores.

Los orujos de prensa y de 3 fases pueden asimismo valorizarse mediante los siguientes procedimientos principales:

- 2ª extracción de aceite de orujo por disolvente
- Combustible
- Alimentación animal, con extracción aconsejable del hueso.
- Fertilizante orgánico compostado.

Para el tratamiento y valorización de los orujos de 2 fases o “alperujo” existen los siguientes sistemas:

- Secado y extracción de aceite de orujo
- Compostaje
- Combustión - generación de energía eléctrica.

La elección de uno u otro sistema debe ser objeto de análisis particularizado para cada almazara y cada situación productiva. En efecto, intervienen en la selección los siguientes factores principales:

- La ubicación de la almazara y las condiciones de su entorno.
- La dimensión o capacidad de proceso
- La existencia de industrias de 2ª extracción a distancia razonable
- La organización o grado de integración, actual o potencial, entre almazaras de una misma zona.

El sistema de molturación por prensa se desaconseja, esencialmente por razones de coste de operación. Ello significa que, progresivamente, este tipo de instalaciones van a ser o están siendo sustituidas por otras de tipo continuo funcionando a 2 ó 3 fases. En este contexto, puede concluirse:

- Que en almazaras pequeñas (no más de 3.000 Tm/año) puede utilizarse el sistema de 3 fases si se tiene destino apropiado para los orujos y si existe disponibilidad de tierras para aplicación fertilizante del alpechín, con o sin estocaje previo.
- Que en almazaras grandes o en situaciones de concentración de estas industrias, donde puede ser imperativo evitar la generación y vertido de alpechines, deberá instalarse o pasarse al sistema de 2 fases. En este caso, deberá ser posible la aplicación de alguno de los sistemas de tratamiento preconizados, dependiendo su elección del volumen de subproducto generado y de los precios de los posibles “outputs” producidos (compost, energía, aceite de orujo,...)

Con frecuencia, la aplicación de determinados sistemas de gestión o tratamiento de residuos y subproductos de almazara exige inversiones y costes de operación elevados que no están al alcance del sector almazarero, especialmente en instalaciones de pequeña capacidad. En estos casos, la experiencia demuestra que son necesarias políticas de integración o concentración entre almazaras y acciones coordinadas de apoyo público al sector. Tal ha sido el caso de las políticas regionales del Sur de Italia, de varias regiones españolas y de otros países, que han financiado programas de transformación industrial (paso al sistema de 2 fases) ó de instalaciones centralizadas de tratamiento (estaciones de depuración, embalses, plantas de tratamiento integral de alperujos, etc).

APÉNDICE I : REFERENCIAS

I.- Centros y entidades dedicadas al estudio y/o tratamiento de residuos de almazara.

II.- Proyectos de I+D del programa marco de la UE relacionados con los residuos generados en la extracción de aceite de oliva.

III.- Referencias bibliográficas

IV.- Patentes

I. Centros y entidades dedicados al tratamiento de residuos de almazaras

CSIC – Instituto de la Grasa y sus Derivados

Dr. Rafael Borja Padilla
Isla menor
Sevilla (España)

University of Harokopio

Dr. C. Balis
Dpt. of Nutrition, Dietetics and Food Service
70, El. Benizelou
17671 Athens (Greece)
Tel. + 30 1 9577051
Fax. + 30 1 9577050

University of Athens

Dr. Amalis D. Karagouni-Kyrtsos
Dpt. of Biology
Institute of General Botany
Panepistimioupolis
15784 Athens (Greece)
Tel. +30 1 2027046

Universidad de Granada

Dr. Ramos Cormenzana
Dpto. Microbiología
18071 Granada (España)
Tel: +34 958 246235
Fax: + 34 958 243877

CSIC – Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura

Dr. J. Cegarra Rosique
Apdo. de Correos 4195
30080 Murcia (España)
Tel. + 34 968 215717
Fax. + 34 968 266613

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Univ. De Valladolid

Dr. Antonio Lara Feria
Paseo del Cauce, s/nº
47011 Valladolid (España)
Tel. + 34 983 423368
Fax. +34 983 423310

TRAINALBA, SL

Director, Sr. Eduardo Calvo Ilundáin
Juan Rabadán, 9
14850 Baena (Córdoba – España)
Tel./Fax. +34 957 665016

Universidad de Bari

Istituto Meccanica Agraria
Facoltà di Agraria
Dr. Amirante Paolo
Italy

Oleícola El Tejar (“Nª Sra. De Araceli”)

Coordinador, D. Miguel Manaute
Ctra. Córdoba-Málaga, km 98
El Tejar (Córdoba – España)
Tel. +34 957 530163
Fax. +34 957 530134

ACEITES PINA, SA

D. Tomás Pina
Ctra. N. IV, km 148,5
13210 Villarta de San Juan (Ciudad Real – España)
Tel. +34 926 640050
Fax. +34 926 640395

Gasbi, SL

D. Sebastián Querejeta
Plaza Easo, 3 – 1º izq.
20006 San Sebastián (España)
Tel. +34 943 469246
Fax. +34 943 472674

FIW (Forschungsinstitut für Wasser und Abfallwirtschaft)

Dipl. Ing. Birgit Stoelting
Miles-van-der-Pohe Str., 17
D-52056 Aachen (Germany)
Tel. +49 241 803966
Fax. + 49 241 870924

Westfalia Separator Andalucía, SL

Dr. Steffen Hruschka
Pol. Ind. Los Cerros de Ubeda
C/Ceramica, naves 4-5
Úbeda (Jaén – España)
Tel. +34 953 792480
Fax. +34 953 792135

Cartif (Centro de Automatización, Robótica y Tecnologías de la Información de la Fabricación)

Parque Tecnológico de Boecillo, Parcela 205
Boecillo (Valladolid – España)
Tel. + 34 983 546504
Fax. + 34 983 546521

Universidad Complutense de Madrid

Dr. José M. Aragón Romero
Dpto. de Ingeniería Química
Facultad de Ciencias Químicas
28040 Madrid (España)
Tel./Fax. + 34 91 3944173

Unión Cooperativas Albaceteñas

D. José R. Doval Montoya
Marques de Molins, 13 – 3º
02001 Albacete (España)
Tel. +34 967 210876
Fax. +34 967 246063

General d'olis i derivats

Sr. Albert Ferrán
Ctra. Juneda – Castellans, km 3,5
25400 Les Borges Blanques (España)
Tel. +34 973 150222

Centro de Investigación Agraria “Venta del Llano”

Junta de Andalucía
Dr. Marino Uceda Ojeda
Ctra. Bailén – Motril, km 18,5
Apartado 50
23620 Mengíbar (Jaén – España)
Tel. + 34 953 370150
Fax. + 34 953 370150

Pieralisi

Sr. Miguel Angel Morales
Avda. Alcalde Caballero, 69
50014 Zaragoza (España)
Tel. +34 976 515311
Fax. +34 976 575330

Esteryfil, SL

Magalhaes, 3
08004 Barcelon (España)
Tel. +34 93 4420592
Fax. +34 93 4422921

II.- Proyectos de I+D del programa marco de la UE relacionados con los residuos generados en la extracción de aceite de oliva

- New Olive Mill to Produce Only First Quality Oil and Total Recovery of Subproducts for Industrial Scale (1987 – 1991) ENDEMO C. Ref. EE./00337/87
- Energy Production Plant for Biomasses. (1993 – 1997) THERMIE 1. Ref. BM./00496/93
- Development of a Combustion Technology for Agrofood Industry Waste. (1995 – 1997). NNE-Thermie C. Ref. BM./00185/95
- Natural Antioxidants from Olive Oil Processing Aguas residuales. (1997 – 2001). FAIR 9730333
- Composting of Husk Produced by Two Phase Centrifugation Olive Oil Milling Plants. (1998 – 2001). FAIR. Ref. FAIR973620
- Water Recovery from Olive Mill Wastewaters after Photocatalytic Detoxification and Disinfection. (1998 – 2001). FAIR T. Ref. FAIR983807
- New Process for the Generation of Squalane by Supercritical Fluid Extraction from Waste of Olive Oil Production and Hydrogenation to Squalene. (1996 – 1999). FAIR. Ref. FAIR961075

III: Referencias Bibliográficas

- Alkahamis T.M., Kablan M.M. "Olive cake as an energy source and catalyst for oil shale production of energy and its impact on the environment". Energy Conversion and Management, 40, 1863,1999.
- Andreozi, R. "Integrated treatment of olive oil mill effluents (OME): Study of ozonization cupled with anaerobic digestion". Wat. Res. Vol 32,8, 2357, 1998.
- Aragón, J.M. "Proyecto IMPROLIVE: Tratamiento del alperujo para mejorar su aprovechamiento". Alimentación, Equipos y Tecnología, 3, 117, Abril 1999.
- Balis, C. "Bio-transformation of olive oil mill residues and wastes into organic fertilisers". Report of the Microbiology Laboratory of the University of Harakopio. 1999.
- Berndt, L., Fiestas de Ros de Ursinos, J.A., et al. "Les expériences méditerranéenes dans le traitement et l'élimination des eaux résiduaires des huileries d'olives". Tunis, 1996
- Borja Padilla R. "Depuración aerobia de las aguas de condensación del proceso de concentración térmica del alpechín". Grasas y Aceites, 42, 6, 422, 1991.
- Borsani, R. "Ultrafiltration plant for Olive vegetation waters by polymeric membrane batterie". Desalination, 108, 281, 1996.
- Cabrera, F. "The problem of the olive mill wastes in Spain: Treatment or recycling?" Ati VII Congresso Internazionale: L'approccio Integrato della Microbiologia: Uomo, Territori, Ambiente. Vieste, Italia, 117, 1994.
- Cal Herrera, J.A. "El orujo de dos fases. Soluciones para un futuro residuo". Residuos, 43, 79-84, 1998.

- Cegarra, J. "Compostaje de desechos orgánicos y criterios de calidad del compost". Actas VII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Bucara, Colombia, 1994.
- Cámara de la Fuente, M. "Gestión medioambiental y contabilidad. Una aplicación al sector del aceite de oliva". Ed. Diputación Provincial de Jaén. 1997
- Demicheli, M., Bontoux, L. "Survey on current activity on the valorization of byproducts from the olive oil industry". Informe Europeo EUR 16466 EN.
- Ehalotis C., Papadoupoulo, K. "Adaptation and population dynamics of azotobacter vinelandii during aerobic biological treatment of olive-mill wastewater" FEMS Microbiology Ecology, 30, 301, 1999.
- Fiestas, R. "The anaerobic digestion of wastewater from olive oil extraction". Anaerobic Digestion, Travemünde. 1981
- Fiestas Ros de Ursinos, J.A., Borja Padilla, R. "Vegetation water used as a fertiliser". Proceedings of International Symposium on Olive by-products valorisation. Sevilla, España. 65, 1991.
- Fiestas Ros de Ursinos, J.A., "Vegetation water used as a fertiliser". Proceedings of International Symposium on Olive by-products valorisation. Sevilla, España. 229, 1986.
- Flouri, F. Balis, C. "Efectos del alpechín líquido de las almazaras sobre la fertilidad del suelo". "Tratamiento de alpechines". Ed. Dirección General de Investigación y Extensión Agraria. 85, 1991.
- Galli, E. Paseti, F. "Olive-mill wastewater composting: microbiological aspects". Waste Management & Research, 15, 323-330, 1997.
- García Rodríguez. "Eliminación y aprovechamiento agrícola del alpechín". Actas Reunión Internacional sobre tratamiento de alpechines. Córdoba, España, 105, 1991.

- Hadmi, M. "Toxicity and Biodegradability of olive mill wastewater in batch anaerobic digestion". *Bioprocess Engineering*. Heft 8/79, 1993.
- Hermoso Fernández, et al. "Elaboración de aceite de oliva de calidad". Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla, 1991.
- Israilides, K. "Situación y perspectiva de los alpechines en Grecia". "Tratamiento de alpechines". Ed. Dirección General de Investigación y Extensión agraria. 21, 1991.
- Liberto, L. "Situación y perspectiva de los alpechines en Grecia". "Tratamiento de alpechines". Ed. Dirección General de Investigación y Extensión agraria. 11, 1991.
- López, R. Martínez Bordiú. "Soil properties after application of olive mill wastewater". *Fresenius Envir. Bull.*, 5, 49-54, 1996.
- Paredes, C., Bernal, M.P., Roig, A., Cegarra, J. "Influence of the bulking agent on the degradation of olive-mill wastewater sludge during composting". *International Biodeterioration & Biodegradation*, 205-210, 1996
- Paredes, G. "Compostaje del alpechín. Una solución agrícola para la reducción de su impacto ambiental". CEBAS. CSIC. Murcia, 1997.
- Paredes, C., Segarra, J. "Composting of a mixture of orange and cotton industrial wastes and the influence of adding olive-mill wastewater". *Proceedings ORBIT 99*.
- Paredes, C., Segarra, J., Roig, A., "Characterisation of olive mill wastewater and its sludge for agricultural purposes". *Biosource Technology*, 67, 111, 1999.
- Pérez, J.D., Esteban, E., Gallardo-Lara, F., "Direct and delayed influence of vegetation water on calcium uptake by Crpos". *Proceedings International Symposium on Olive by-products valorisation*. Sevilla. España, 331.1986.

- Pompei, C., Codovilli, F., “Risultari preliminari sul trattamento di separazione delle acque di vegetazioni delle olive per osmosi inversa”. *Scienza e Tecnologia degli Alimenti*, 363, 1974.
- Proietti, P., Catechini, A., “Influenza delle acque reflue di frantoi oleari su olivi in in vaso e in campo. *Inf. Agrario*. 45.87.1988.
- Ramos-Cormenzana, A., “Antimicrobial activity of olive mill wastewater and biotransformed olive oil mill wastewater”. *International Biodeterioration & biodegradation*, 283-290. 1996.
- Saviozzi, A., Roffaldi, R., “Effetti dello Spandimento di Acque di vegetazione sul terreno agrario”. *Agrochimica*, 35, 1991.
- Steegmans, R., Frageman, H. “Optimierung der anaeroben Verfahrenstechnik zur Reinigung von Organisch Hochverschmutzt Abwässern aus der Olivenölgewinnung Oswald-Schuzule-Stiftung”, *Forschungsbericht AZ 101/81*
- Torres Martín, M., Zamora Alonso, M.A., “Aspectos a considerar en el empleo del alpechín como fertilizante II. Ensayos en maceta.”. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 39, 1379, 1980.
- Visiolo, F. Romani, A. “Antioxidant and other biological activities of olive mill wastewater”. *J. Agric. Food Chemi.* 47, 3397, 1999.
- Informe CARTIF-TRAINALBA. “Problemática de los residuos sólidos y líquidos que producen las almazaras, según los diferentes sistemas de extracción de aceite de oliva virgen”.
- “Situación Olivarera en Europa”. MERCACEI, Oct. 1999
- Informes anuales (1997 – 1999) de Progreso del Proyecto Europeo FAIR-CT96-1420 “Improvements of treatments and validation of the liquid-solid waste from the two-phases olive oil extraction” (IMPROLIVE)

IV.- Patentes

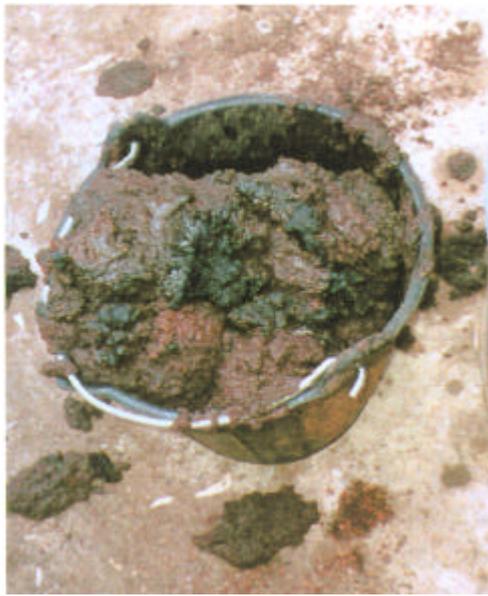
- GR871461 PROCESS FOR THE INTEGRAL USE OF OLIVE VEGETATION LIQUORS AND OTHER AGROINDUSTRIAL WASTE LIQUORS BY MIXING WITH OLIVE HUSKS
- US5801127 OLIVE PULP ADDITIVE IN DRILLING OPERATIONS
- WO9807337 OIL-PRESS WITH MILD CRACKING OF OLIVE-CROP AND WASHING OF OLIVE-MASS WITH WASTE OLIVE WATER
- WO9728089 METHOD OF EXTRACTION OF OLIVE PASTE FROM VEGETABLE WATER AND ITS USE AS FOODSTUFF
- US4663174 METHOD OF STUFFING PITTED OLIVES WITH ANCHOVIES
- US3975270 PROCESS FOR RECOVERING USABLE OLIVE-PROCESSING LIQUOR FROM OLIVE-PROCESSING WASTE SOLUTION
- GB2272903 PACKAGING MEMBER
- GB623082 NO TITLE AVAILABLE
- GB607721 NO TITLE AVAILABLE
- GB565772 NO TITLE AVAILABLE
- GB487855 NO TITLE AVAILABLE
- GB473615 NO TITLE AVAILABLE
- GB464211 NO TITLE AVAILABLE
- GB423669 NO TITLE AVAILABLE
- GB421718 NO TITLE AVAILABLE
- GB421117 NO TITLE AVAILABLE
- GB407066 NO TITLE AVAILABLE
- GB395340 NO TITLE AVAILABLE
- GB378383 NO TITLE AVAILABLE
- GB369915 NO TITLE AVAILABLE
- GB366911 NO TITLE AVAILABLE

GB364104	NO TITLE AVAILABLE
GB362402	NO TITLE AVAILABLE
GB360938	NO TITLE AVAILABLE
GB120049	NO TITLE AVAILABLE
GB113181	NO TITLE AVAILABLE
FR2715590	NO TITLE AVAILABLE
WO9605145	THE WAY OF DISPOSAL OF WASTE FROM OLIVE OIL PRODUCTION
WO9412576	ORGANIC MATERIAL FORMED FROM COIR DUST
WO9211206	PROCESS AND PLANT FOR PURIFICATION OF AGRICULTURAL WASTE MATERIAL
EP0722425	THE WAY OF DISPOSAL OF WASTE FROM OLIVE OIL PRODUCTION
EP0557758	PROCEDURE FOR THE PURIFICATION AND DEVELOPMENT OF LIQUID AND SOLID WASTE RPRODUCT PRODUCED BY OIL MILL
EP0557758	PROCESS FOR PRODUCING OLIVE OIL
EP0451430	PLANT TO DEPOLLUTE WASTEWATER, PARTICULARLY WATER FROM OLIVE CRUSHERS.
DE19548621	NO TITLE AVAILABLE
DE4210413	MEMBRANE FILTER FOR SEPARATION OF POLY-DISPERSIONS INTO CONTINUOUS AND DISPERSED PHASES – IS A BONDED POWDER MASS ON A CARRIER SUPPORT GRID PROVI
CZ9401911	PROCESS OF DISPOSING WASTE FROM THE PRODUCTION OF OLIVE OIL
CZ280400	PROCESS OF DISPOSING WASTE FROM THE PRODUCTION OF OLIVE OIL

APÉNDICE II: FOTOGRAFÍAS



Orujo de 3 fases. Típico paisaje de Grecia en periodo de campaña (Noviembre – Febrero)



Alperujo exento de hueso



Alperujo fresco



Aguas de escurrido



Orujillo



Hueso después del proceso de deshuesado



Residuos vegetales de limpieza de aceituna



Balsa de alpechines



Detalle de nebulizador



Planta piloto para la transformación de alpechín en fertilizante líquido
en Romanos, Messina (Grecia)



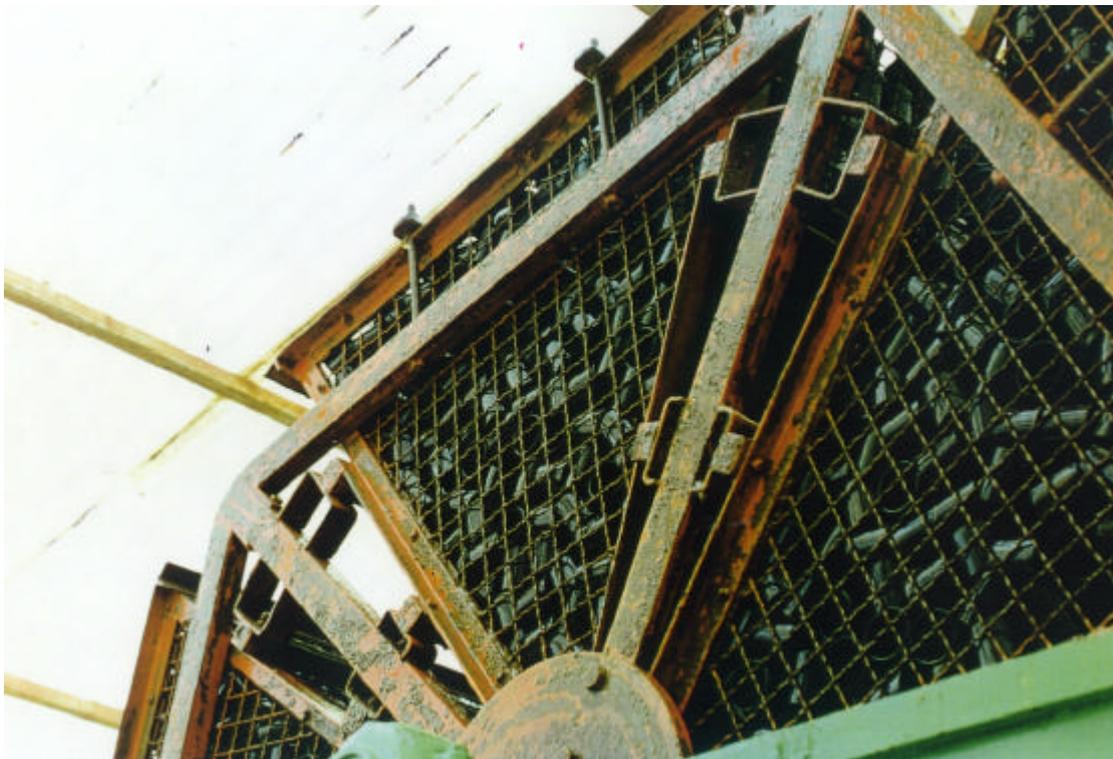
Planta de co-composting de orujo agotado mezclado con alpechín



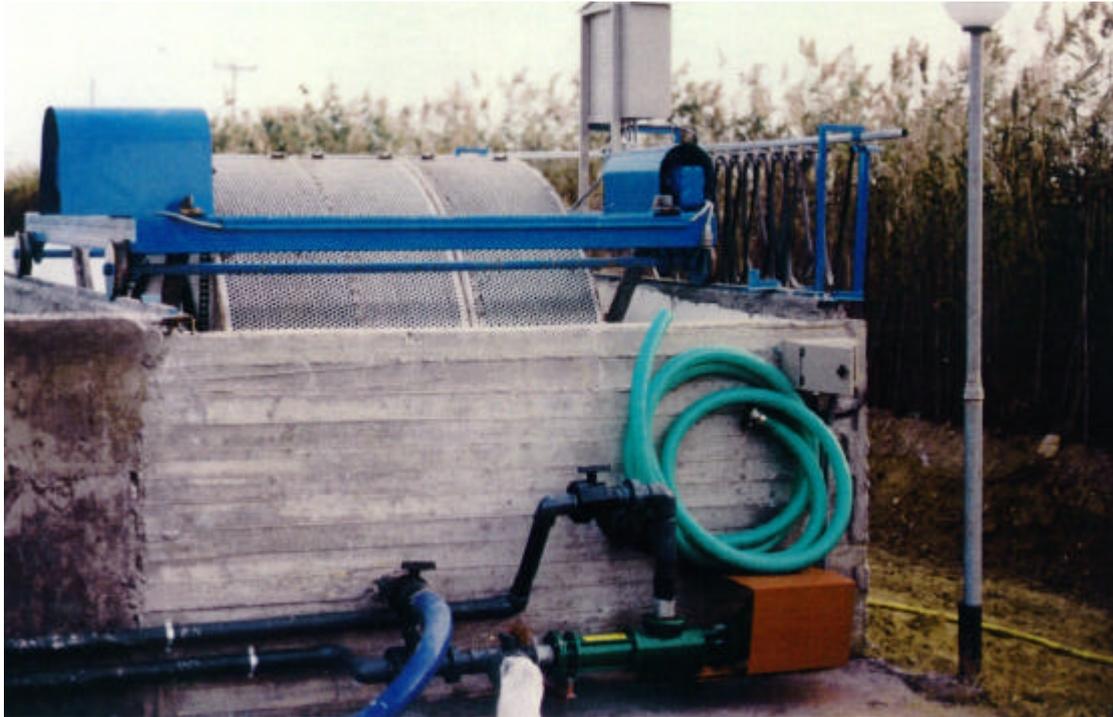
Vista general de pilas de compost en una planta de Kalamata (Grecia). La duración de la fase termofílica depende del tiempo durante el que se añade alpechín a la pila.



Sistema de bio-rueda para transformar el alpechín en un líquido con propiedades fertilizantes
(planta en Romanos, Messinia, Grecia)



La misma planta que en la foto superior. Detalle de los elementos tubulares de PVC.
Velocidad de rotación: 8 rpm



Reactor rotatorio para convertir alpechín en fertilizante



Planta en Kalamata, Grecia (Proyecto Life 1995). Velocidad de rotación 6 rpm. Velocidad lineal 1.8 m/min. Longitud del tanque 25 m. Capacidad 100 m³



Sistema de balsas usado en Grecia para almacenar/evaporar alpechín



Instalación de secado de orujos y alperujo



Instalación de concentración térmica de alpechines de Trainalba, SA
Floculado –decantación (foto superior)
Caldera y evaporador (foto inferior)



Planta en La Gineta (Albacete) – Secaderos



Planta de "La Gineta" (Albacete – España) – Compostaje



Secadero



Planta de "La Gineta" (Albacete – España)
Equipos de separación del hueso del alperujo



Balsas de acopio de alperujo y extracción por tornillo sinfín



Oleícola El Tejar – Vetejar
Vista general



Oleícola El Tejar – Vetejar
Planta de cogeneración eléctrica



Oleícola El Tejar – Vetejar
Fábrica de carbón activo



Oleícola El Tejar – Vetejar
Vista general planta extractora y cogeneración