

CARACTERÍSTICAS Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES POR SECTORES: MOLTURADO DE ACEITUNA PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE DE OLIVA VIRGEN¹

F. CABRERA

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, CSIC. Apartado 1052, 41080 Sevilla.

RESUMEN

El aceite de oliva se obtiene mediante los métodos de presión en discontinuo o por el de centrifugación en continuo, en los que se producen tres fases: aceite (20%), un residuo sólido (30%) y un licor acuoso (50%).

El residuo sólido (orujo), que está constituido por la pulpa y los huesos del fruto, aceite y agua, se utiliza para la extracción de aceite y, cuando está agotado (orujillo), como combustible. Otros usos del orujo y del orujillo son la alimentación animal y la producción de abonos orgánicos, composts, carbones activos y furfural.

El licor acuoso, compuesto por el agua de vegetación y los tejidos blandos de las aceitunas, y el agua usada en las distintas etapas de la elaboración del aceite, constituye el alpechín. El volumen de alpechín que se produce es de 0,5-1,5 L kg⁻¹ de aceituna molturada. El alpechín es un líquido oscuro compuesto por 83-94% de agua, 4-16% de materia orgánica (polisacáridos, proteínas, ácidos orgánicos, polifenoles) y 0,4-2,5% de sales (carbonatos, fosfatos, K, Na), que tiene un alto poder contaminante (DBO 35-100 g L⁻¹; DQO 45-130 g L⁻¹; CE 8-22 dS m⁻¹).

La eliminación de los alpechines es un problema crítico en los países mediterráneos. España es el tercer productor mundial de aceite de oliva. Andalucía produce el 80% de este aceite y un volumen medio anual de 2 x 10⁶ m³, que representan una contaminación equivalente a 16 x 10⁶ habitantes durante la campaña de molturación.

La depuración de los alpechines por los métodos convencionales es difícil y costosa debido al contenido de polifenoles. Estos métodos sólo consiguen rebajar la DBO a 3.000 mg L⁻¹ con una repercusión de 4,5-8,5 ptas kg⁻¹ de aceite de oliva virgen. Otras alternativas para su eliminación son la infiltración en los suelos y la aplicación agronómica a los mismos, su compostaje o co-compostaje, o el de sus lodos, con residuos agrícolas, con lo que se reciclan sus componentes.

La implantación de un sistema de extracción de aceite en el que se producen fundamentalmente dos fases (aceite y orujo), reduce al mínimo el consumo de agua y por tanto la producción de aguas residuales que quedan reducidas al 20-40% de las producidas por el sistema de tres fases. Asimismo, la carga orgánica del nuevo efluente se reduce al 6-15%. El nuevo orujo

¹ F. CABRERA (1995). El alpechín: un problema mediterráneo. En "La calidad de las aguas continentales españolas. Estado actual e investigación" (EDs.M. Alvarez Cobelas y F. Cabrera Capitán) 141-154. CSIC-GeoformasEdiciones. Logroño, ISBN: 84-67779-23-9

(alperujo) contiene 55-60% de agua y la mayor parte de los componentes del alpechín.

INTRODUCCIÓN

Una de las industrias más tradicionales de los países mediterráneos es la de la obtención del aceite de oliva. El aceite de oliva se obtiene mediante el método tradicional de *presión* en discontinuo, consistente en la molturación y prensa de la aceitunas, o por el más moderno método de *centrifugación* en continuo, en el que el aceite se extrae por centrifugación de una mezcla de aceitunas molidas y agua caliente. Por ambos sistemas se producen tres fases: a) el aceite, b) la fase sólida y c) la fase acuosa. El aceite y la fase sólida, denominada *orujo*, representan respectivamente el 20 y 30% del peso de aceituna molturado, mientras que el otro 50% lo constituye el *agua de vegetación* del fruto, que forma parte del efluente líquido, denominado *alpechín*. La eliminación o depuración de los dos subproductos de la industria del aceite de oliva, en especial la del alpechín, constituye un problema para este sector de producción (García Rodríguez, 1990; Rodrigo Román, 1990; Fiestas Ros de Ursinos y Borja Padilla, 1992; López y Cabrera, 1993).

EL ORUJO

El orujo está constituido por la pulpa y los huesos de la aceituna, y contiene, además, humedad y aceite en proporciones que varían según el sistema de producción del que proceda (sistema de presión: 25-30% humedad, 5-6% aceite; sistema de centrifugación: 45-50% humedad, 4-7% aceite). El orujo no constituye un problema medioambiental, ya que tradicionalmente es la materia prima de otra industria, la *orujera*, en la que, después de secado, se extrae el aceite, *aceite de orujo*, resultando otro subproducto sólido, el orujo extractado u *orujillo*, que se emplea como combustible en la propia orujera, en las almazaras o en otras industrias.

En los últimos años se han realizado numerosos estudios para revalorizar el orujo y el orujillo, encontrándoseles diversos usos (Ramos Ayerbe, 1986). Así, por ejemplo, la separación de la pulpa y los huesos facilita la extracción del aceite, en el caso del orujo, y permite una mejor utilización de

la pulpa de orujo y de orujillo, compuesta por celulosa, hemicelulosa, azúcares, pectinas y proteínas, para la alimentación animal (Ramos Ayerbe y Ortega Jurado, 1986; Aguilera *et al.*, 1986). Los fragmentos de hueso libres de grasa se utilizan como combustible, así como en la fabricación de carbones, carbones activos y furfural (Ramos Ayerbe, 1986; Lorente Martínez, 1986; Ramos Suria, 1986).

El alto contenido de materia orgánica y mineral del orujillo hacen posible su uso, o el de su pulpa, como abono orgánico o en la fabricación de composts, mezclado con otros subproductos agrícolas (de Bertoldi *et al.*, 1986; Ramos Ayerbe, 1986).

CARACTERÍSTICAS DEL ALPECHÍN

El alpechín es una mezcla del agua de vegetación de la aceituna, del agua que se utiliza en las distintas etapas de la elaboración del aceite (acondicionamiento del fruto, añadida en los molinos, batidoras y centrifugadoras), que oscila entre 0,5 y 1,5 L kg⁻¹ de aceituna, así como del agua utilizada en la limpieza de las instalaciones. El resultado es un líquido oscuro, con diversas sustancias disueltas y en suspensión. El alpechín, recién producido, tiene un olor que recuerda al del aceite; cuando fermenta, tiene un olor fétido. Su propio nombre, alpechín, alude a esta última característica, ya que proviene de la palabra mozárabe *pechin*, derivada a su vez de la latina *faecinus*, que significa *de la hez*. Otros nombres como *murga*, *morga* o *amorca*, del latín *amurca*, aluden asimismo a su carácter de jugo fétido. Es interesante señalar que estos últimos términos coinciden con uno de los nombres con que se denomina este producto en griego, *mourga*.

La composición química del alpechín es muy variable y función de numerosos factores como son: la variedad del olivo, el tipo de suelo, el sistema de cultivo, el grado de madurez y el tiempo de almacenamiento del fruto y el sistema de extracción, factor este último que más condiciona la composición del alpechín. El alpechín contiene 83-94% de agua, 4-16% de materia orgánica y 0,4-2,5% de sales minerales (Ramos-Cormenzana, 1986).

La materia orgánica del alpechín está constituida por grasas, azúcares, sustancias nitrogenadas, ácidos orgánicos, polialcoholes, pectinas, mucílagos, taninos y polifenoles (Fiestas Ros de Ursinos, 1986a; Saiz-Jiménez et al., 1987; Martínez Nieto y Garrido Hoyos, 1994) (Tabla 1). La presencia de compuestos fenólicos, de los que se han identificado más de 50 (Saiz-Jiménez *et al.*, 1987), confieren al alpechín tres de sus más importantes propiedades: el efecto bactericida, el efecto fitotóxico y el color (González *et al.*, 1990; Pérez *et al.*, 1992).

El alpechín tiene altos contenidos en potasio, sodio, carbonato y fosfato (Tabla 1), que pueden constituir el 47, 7, 21 y 14%, respectivamente, del total de las sustancias minerales (Fiestas Ros de Ursinos y Borja Padilla, 1992; Martínez Nieto y Garrido Hoyos, 1994).

El alpechín tiene un alto poder contaminante debido a su alta carga orgánica y altos contenidos de sólidos disueltos ($CE\ 8-22\ dS\ m^{-1}$) y en suspensión, que superan los límites permitidos por la Ley de Aguas para vertidos a ríos, lagos, terrenos, balsas, subsuelo, etc. (Fiestas Ros de Ursinos y Borja Padilla, 1992) (Tabla 2). La carga orgánica del alpechín, medida por su DBO o DQO, es mucho mayor que la de los efluentes de otras industrias agroalimentarias (Tabla 3) (Fuller y Warrick, 1985; Cuadros García, 1989).

PRODUCCIÓN DE ALPECHÍN EN ESPAÑA

Según datos del Consejo Oleícola Internacional, España es el tercer productor mundial de aceite de oliva. En la campaña 1991-92, la producción de aceite en España ascendió a 623.081 Tm, y en la 1999-2000 fue 700.000 Tm, el 30-33% de la producción mundial (Infolivo, 2002) (Tabla 4). En Andalucía, donde se produce el 80% del aceite de oliva de España, en campaña media se molturan $1,8 \times 10^6$ Tm de aceituna, mientras que en campaña punta puede llegarse a $3,4 \times 10^6$ Tm (Rodrigo Román, 1990). El volumen medio anual de alpechín producido en la cuenca del Guadalquivir se estima en $2 \times 10^6\ m^3$, que se producen durante unos 100 días (noviembre-marzo) (AMA, 1992).

La eliminación de los alpechines constituye un problema crítico no tanto por el volumen producido, sino por su alta capacidad contaminante que radica

en su alta DBO y en el corto período en que se produce. Suponiendo una DBO de 60 g L^{-1} , puede calcularse que la contaminación generada por el alpechín producido en Andalucía equivale a la de una ciudad de 16×10^6 habitantes durante 100 días.

CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS POR ALPECHÍN, EVOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Tradicionalmente el sector almazarero estuvo integrado por un gran número de pequeñas almazaras muy diseminadas por el área de producción, por lo que los vertidos, de escasa importancia, se perdían en los campos sin alcanzar los cauces de los ríos. En Andalucía, en la década de los 50, una mayor industrialización del sector hizo que se constituyeran cooperativas y se construyeran factorías, con la consiguiente concentración de los efluentes en un menor número de puntos desde donde se vertían sin tratar a los cauces públicos. A finales de los 70, el vertido de alpechines constituía el principal problema de contaminación en la cuenca del Guadalquivir (García Rodríguez, 1990; Rodrigo Román, 1990; Fiestas Ros de Ursinos y Borja Padilla, 1992).

El efecto negativo de los vertidos de alpechín en las aguas puede comprenderse, teniendo en cuenta que para depurar 1 L de alpechín se necesita una media de 60 g O_2 . Suponiendo que el agua receptora tiene $10 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ de oxígeno disuelto, para depurar el volumen medio de alpechín que se producen anualmente en Andalucía, $2 \times 10^6 \text{ m}^3$, se necesitarían $10.000 \times 10^6 \text{ m}^3$ de agua, el doble de la capacidad de todos los embalses de la cuenca del Guadalquivir (García Rodríguez, 1990).

Los efectos de los vertidos de alpechín sobre la calidad de las aguas superficiales se traducen en el aumento de las concentraciones de sólidos orgánicos e inorgánicos, de K, de P y de metales pesados. Asimismo, dichos vertidos producen la disminución drástica del oxígeno disuelto, a veces hasta niveles de anoxia, dando lugar a malos olores, desarrollo de microorganismos nocivos, asfixia y muerte de la fauna acuática. En la Fig. 1 se observa la influencia de los vertidos de alpechín en el río Guadiamar durante la campaña

1978-79 sobre algunos parámetros de la calidad de las aguas (Arambarri *et al.*, 1984; Cabrera *et al.*, 1983, 1984).

En estudios realizados en los ríos Guadalquivir y Guadiana (Arambarri *et al.*, 1983; Cabrera *et al.*, 1983, 1984), se observó que la materia orgánica del alpechín puede provocar, además, que la contaminación por metales pesados se extienda a lo largo de los ríos más de lo previsible por los procesos de precipitación-adsorción. Dicha materia, rica en compuestos alcohólicos y fenólicos, agentes quelantes muy activos, puede contribuir tanto a mantener los metales pesados en disolución, como a la disolución de los metales pesados de los sedimentos de los cauces. Estas hipótesis fueron corroboradas posteriormente mediante experimentos de laboratorio en los que se encontró que un alpechín liofilizado tenía una capacidad máxima de complejación equivalente a 0,68, 0,32 y 0,18 mmol (g alpechín)⁻¹ de Cu, Zn y Mn respectivamente (Arambarri y Cabrera 1986; Cabrera *et al.*, 1986). Estos mismos autores pusieron de manifiesto la capacidad de ese alpechín, en disoluciones diluidas (< 10 g L⁻¹), para disolver metales (Fe, Cu, Mn, Zn, Pb y Ni) de sedimentos. Bejarano y Madrid (1994), investigando en esta misma línea, consiguieron estimar la constante de estabilidad del complejo Cu-alpechín ($3,9 \times 10^4$) para un alpechín liofilizado con una capacidad máxima de adsorción de 0.47 mmol (g alpechín)⁻¹. Estos mismos autores encontraron que disoluciones crecientes de hasta 30 g L⁻¹ de ese alpechín disolvían Pb de un sedimento en cantidades crecientes y que las cantidades de Pb disueltas eran mayores cuanto más ácido era el pH. Asimismo, encontraron que el Fe y el Cu se movilizaban del sedimento a pH 4 y 5, mientras que el Mn y el Zn no se disolvían (Bejarano y Madrid 1992a,b).

En 1981 el Gobierno prohíbe los vertidos de alpechines y arbitra medidas subsidiando la construcción de balsas para su almacenamiento durante las campañas de molturación. En las balsas el agua se evapora durante el verano, quedando en ellas los lodos que tendrían que retirarse anualmente para preparar las balsas para la campaña siguiente. A raíz de estas medidas, se construyeron unas 1.000 balsas, con lo que mejoró notablemente la calidad de las aguas de los ríos de la cuenca del Guadalquivir.

Sin embargo, las balsas producen un grave impacto ambiental en las zonas cercanas a su ubicación, debido a los malos olores, proliferación de insectos, derrames y filtraciones. Por otra parte, la colmatación de las balsas por los lodos constituye otro problema, ya que la limpieza no siempre se lleva a cabo por ser costosa y porque no siempre se ha encontrado utilidad para los lodos. Pero el problema más grave surgió por la sustitución progresiva en muchas almazaras del sistema tradicional de presión por el de centrifugación en continuo, que produce más del doble de volumen de alpechín. Aunque paulatinamente se fue aumentando el número de balsas, que en 1988 ascendía a 2.458 (Rodrigo Román, 1990), fueron cada vez más frecuentes los accidentes de derrames y los vertidos incontrolados, como el detectado en la campaña 1982-83 en el río Guadiamar y en el arroyo del Partido en las proximidades al Parque Nacional de Doñana (Tabla 5) (Cabrera *et al.*, 1983). En 1994 la rotura de una balsa en Baeza (Jaén) supuso un vertido de 6×10^6 L al arroyo Matadero, afluente del Guadalquivir.

ELIMINACIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS ALPECHINES

Consciente del problema de los alpechines, sólo atenuado por el uso de las balsas, la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir diseñó en 1989 una experiencia para la evaluación técnica y económica de diferentes métodos de eliminación o depuración de alpechines. Durante las campañas 1990-91 y 1991-92 se probaron nueve métodos basados en distintas tecnologías: evaporación natural o forzada, tratamientos químicos, físico-químicos y biológicos y en combinación de varios de ellos. Los resultados obtenidos por cada uno de los nueve métodos fueron muy variables, encontrándose que generalmente los métodos más efectivos son aquéllos en que la contaminación se reduce en varias etapas, si bien métodos más sencillos, como los que usan sólo evaporadores, alcanzan una reducción aceptable de la contaminación (AYESA, 1992). Los métodos probados lograron reducir la DQO a menos de 4.000 mg L^{-1} y la DBO a menos de 3.000 mg L^{-1} , valores por encima de los permitidos por la legislación española (Tabla 2). Los costes de instalación de estos sistemas varían entre 5×10^6 y 36×10^6 ptas y los de explotación,

basados en la eliminación o tratamiento de 5.000 m³ por campaña, oscilan entre 0,9 y 1,4 ptas L⁻¹ de alpechín tratado. Estos últimos costes suponen un aumento de 4,5-8,5 ptas kg⁻¹ de aceite de oliva virgen (AYESA, 1992; López Camino, 1993).

La baja eficiencia y los altos costes de inversión y mantenimiento de los métodos ensayados hacen que su adopción haya sido prácticamente nula.

Otra alternativa que se ha ensayado para la eliminación/depuración de los alpechines es su infiltración en el suelo, donde se evapora el agua y quedan retenidos los restantes componentes. Este procedimiento, denominado *Land treatment* (*Tratamiento en el suelo*) porque en él se usa el suelo como un medio para el tratamiento del alpechín, está basado en la interacción física, química y microbiológica entre los distintos componentes y microorganismos del suelo y del efluente (Fuller y Warrick, 1985). Esta forma de tratamiento implica la aplicación del efluente a un suelo que en principio no va a ser cultivado, si bien puede usarse después de un período de biodegradación del efluente. Para la puesta en práctica de esta forma de tratamiento se requiere una serie de condiciones edafológicas, climáticas e hidrológicas. Por ejemplo, se necesita un terreno llano cercano a la almazara cuyo suelo tenga adecuada porosidad, permeabilidad y conductividad hidráulica que permita la infiltración del alpechín sin que se produzcan encharcamientos o escorrentías. Se necesita también que la capa freática sea profunda y esté protegida por una capa impermeable para evitar su posible contaminación. Al mismo tiempo, es recomendable que la pluviometría sea baja y la evaporación alta (Dupuy de Lome y Martínez Bordiú, 1991). En experimentos en contenedores se ha encontrado que una capa de 2 m de un suelo margo calizo (40% CaCO₃; 40% arcilla) elimina casi completamente la materia orgánica, el P y el K de un alpechín aplicado en dosis de 5.000 m³ ha⁻¹ y que esta capacidad de descontaminación se mantiene si la aplicación se lleva a cabo durante tres años consecutivos (López *et al.*, 1992). Asimismo, en experimentos de campo con el mismo suelo al que se aplicó 6.000 m³ ha⁻¹ de alpechín anualmente durante tres años, se observaron aumentos en los contenidos de materia orgánica, N-Kjeldahl, N-NO₃, P disponible y K, especialmente en la capa de 0-

50 cm, que aumentaron la fertilidad del suelo, permitiendo su uso agronómico entre campañas (López *et al.*, 1995). El bajo costo, tanto de la tierra como del sistema de riego necesarios, hace que este sistema de tratamiento de los alpechines sea enormemente atractivo para pequeñas y medianas almazaras.

RECICLADO DE LOS ALPECHINES

En contra de los que opinan que el alpechín es un agua residual (Rodrigo Román, 1990; AMA, 1992; AYESA, 1992; López Camino, 1993), están los que piensan que es un producto natural derivado de las plantas susceptible de reciclaje, debiéndosele considerar como un recurso renovable (Fiestas Ros de Ursinos, 1986b; Rodrigo Román, 1990; Flouri *et al.*, 1990; Tomati y Galli, 1992).

Desde el punto de vista agronómico el alpechín puede ser considerado como un enmendante orgánico con cierto valor como fertilizante. Su aplicación agronómica a los suelos, denominada *Land utilization* (*Utilización en el suelo*), tiene como objetivo el aprovechamiento integral de los componentes del alpechín: agua, materia orgánica y nutrientes (Fuller y Warrick, 1985). En el *Land utilization*, en contraste con el *Land treatment*, los suelos que van a ser cultivados, se riegan, antes de la siembra, con cantidades moderadas de alpechín (<1.000 m³ ha⁻¹). Esta práctica, recomendada desde antiguo (Marcus Porcius Cato (234-149 a. de J.C.); Lucius Iunius Moderatus Columela (siglo I d. de J.C.); Abu Zacarias (1148); Alonso de Herrera (1470-1539)), es muy conveniente en los países mediterráneos cuyos suelos tienen bajos contenidos en materia orgánica y en los que el agua es un recurso escaso y valioso. Además, su empleo como fertilizante, enmendante o acondicionador del suelo supone un ahorro energético, ya que la producción de los fertilizantes, en especial los nitrogenados, tiene lugar con un elevado consumo energético.

El uso agronómico de los alpechines tiene ventajas e inconvenientes (Fiestas y Ros de Ursinos, 1986b; Pérez *et al.*, 1986; Tomati y Galli, 1992). La principales ventajas son: 1) es una forma económica de eliminar o de tratar el alpechín; 2) es una fuente barata de agua para el riego; y 3) suministra al suelo nutrientes, especialmente K, y materia orgánica. Los principales inconvenientes

son: 1) la dificultad de almacenamiento, ya que se produce un volumen relativamente alto de agua en un período en que generalmente las necesidades de riego son bajas (noviembre-marzo); 2) la elevada salinidad (CE 7-20 dS m⁻¹) que puede ocasionar daños tanto en el terreno como a las plantas (se han detectado problemas en la germinación, quemaduras en hojas, etc.); 3) el bajo pH, aunque en suelos calizos es menos importante; y 4) el abundante contenido de polifenoles que le confiere poder fitotóxico.

Aunque la aplicación agronómica del alpechín a su debido tiempo y en dosis adecuadas es beneficiosa (Fiestas Ros de Ursinos, 1986b; Flouri *et al.*, 1990; García-Ortiz Rodríguez *et al.*, 1993), ésta no es una práctica muy popular entre los agricultores españoles. Quizás los agricultores necesiten más información de los técnicos de los efectos del alpechín sobre las propiedades físicas, químicas y microbiológicas, así como sobre el sistema suelo-planta, información que no siempre existe (Tomati y Galli, 1992).

Muchos de los inconvenientes de la aplicación de alpechines a los suelos pueden reducirse o eliminarse mediante compostaje o co-compostaje con residuos agrícolas (por ejemplo: orujillo de uva, orujillo de aceituna, residuo del desmotado de algodón, paja de haba, etc.).

Los lodos de las balsas de evaporación pueden usarse como abono, bien directamente o co-compostados con residuos agrícolas (Montaño y Segura, 1986; Zafra Marín y Montero Tirado, 1986). La aplicación agronómica de uno de estos compost no causa efectos negativos sobre la germinación, primeros estadios, estado nutricional y producción de las plantas, produciendo notables aumentos de la materia orgánica y del N orgánico de los suelos, que se mineraliza lentamente (Cabrera *et al.*, 1990; Martín-Olmedo *et al.*, 1995).

ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA DE LOS ALPECHINES

Durante la campaña 1991-92 apareció en el mercado un nuevo sistema de extracción de aceite por centrifugación en el que se emplean pequeñas cantidades de agua caliente y se producen fundamentalmente dos fases, aceite y orujo. Éste es denominado *Sistema Ecológico* porque no produce alpechín y ahorra agua (un 65-70%) y la energía necesaria para calentarla. Los

volúmenes de efluentes de las almazaras que han adoptado este sistema son del orden del 20 al 40% de los producidos en las que utilizan el sistema de tres fases y su carga contaminante es del orden del 6 al 15% de la de los alpechines (Alba Mendoza, 1994a; García-Ortiz Rodríguez y Frías Ruiz, 1994, Hermoso et al., 1995). En las Tablas 6 y 7 se recogen algunas características de las aguas residuales producidas en el sistema de tres fases.

En el sistema ecológico, la mayor parte del agua de vegetación del fruto se incorpora al orujo, aumentando su grado de humedad respecto al del sistema de tres fases. Este nuevo residuo sólido que se denomina *alpeorujo* o *alperujo*, se caracteriza por su grado de humedad (55-60%) y por su contenido en compuestos orgánicos, principalmente azúcares y pectinas, procedentes del agua de vegetación (Tabla 8). El alto contenido en agua de los alperujos dificulta su transporte y secado, mientras que la presencia de esos compuestos hacen que su textura sea diferente a la del orujo clásico, confiriéndole un peor comportamiento en los procesos de secado y extracción (Alba Mendoza, 1994b). A las temperaturas de los hornos de secado, el alperujo se carameliza, dificultando la penetración del disolvente y disminuyendo el proceso extractivo (García Ortiz Rodríguez y Frías Ruiz, 1994). En muchas almazaras, los alperujos se están sometiendo a una segunda centrifugación en dos o tres fases (denominada repaso), obteniéndose un aceite virgen lampante (sin uso de disolvente orgánico), orujillo y, en el caso del repaso por tres fases, nuevamente alpechín. En muchos casos el orujo húmedo es deshuesado en la misma almazara, produciéndose dos residuos, el hueso, que se usa como combustible, y la pulpa, que se repasa (Alba Mendoza, 1994). La pulpa exhausta se destina en muchos casos a cogeneración de energía. Por parte de las orujeras se está haciendo un gran esfuerzo para modificar las operaciones de transporte, almacenamiento, trasiego y secado del alperujo, así como para modificar el proceso de extracción y aumentar la capacidad de procesamiento horario. En la actualidad el destino final de la mayor parte del alperujo es la cogeneración de energía.

La calidad del aceite producido por el sistema de dos fases es superior a la del sistema de tres fases porque mantiene gran parte de las sustancias

aromáticas del fruto y es más estable a la oxidación, siendo similar en estos aspectos al obtenido por el sistema clásico de presión (AMA, 1994; Alba Mendoza, 1994a).

El sistema ecológico ha sustituido progresivamente a los otros sistemas. Durante la campaña 1991-92 se había instalado en 20 almazaras y durante la campaña 1992-93 habían en funcionamiento 50 plantas de dos fases. En la campaña 1993-94 aproximadamente el 30% de la aceituna se molturó por este sistema y el número de proyectos para instalaciones de dos fases subvencionados por el Ministerio de Industria ascendía a 135 (AMA, 1994; Alba Mendoza, 1994a). En la actualidad la mayor parte de las almazaras han adoptado el sistema ecológico y se calcula que en España más del 90% de las aceitunas se procesan por este sistema, con la consiguiente reducción del problema medioambiental de los alpechines.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILERA, J.F.; MOLINA E. y BOZA, J. 1986. Nutritional properties of olive residue. Proc. International Symposium on Olive By-products Valorization. FAO, UNDP, Sevilla, págs.: 447-471.
- ALBA MENDOZA, J. 1994a. Nuevas tecnologías para la obtención de aceite de oliva. Olivicultura. Fundación La Caixa y Agro Latino, Barcelona, págs.: 85-95.
- ALBA MENDOZA, J. 1994b. El orujo de aceituna: evolución, estado actual y perspectivas. Agricultura 746, 812-814.
- AMA 1992. Alpechines: situación actual de las tecnologías de depuración. Informe nº 6/92. Dpto. Investigación. Consejería de Cultura y Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- AMA 1994. Sistemas de obtención de aceite de oliva sin producción de alpechín: situación actual. Informe nº 1/94. Dpto. de Investigación. Consejería de Cultura y Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- ARAMBARRI, P. y CABRERA, F. 1986. Vegetation waters as spreading agents of water contamination by heavy metals. International Symposium on Olive By-products Valorization. FAO, UNDP, Sevilla, págs.: 145-146.
- ARAMBARRI, P., CABRERA, F. y TOCA, C.G. 1984. La contaminación del río Guadiamar y su zona de influencia, Marismas del Guadalquivir y Coto Doñana, por residuos de industrias mineras y agrícolas. CSIC, Madrid.
- AYESA. 1992. Plan de puesta en marcha de plantas experimentales de depuración y eliminación de alpechines en las cuencas de los ríos Guadalquivir y Guadalete: evaluación de la experiencia. MOPYT. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Sevilla.

- BEJARANO, M. y MADRID, L. 1992a. Solubilization of heavy metals from a river sediment by a residue from olive oil industry. *Environ. Technol.* 13, 979-985.
- BEJARANO, M. y MADRID, L. 1992b. Efecto del alpechín sobre la solubilización de metales pesados. *Suelo y Planta* 2, 541-549.
- BEJARANO, M. y MADRID, L. 1994. Estudio de la interacción entre cobre y alpechín mediante una resina de intercambio catiónico. *Actas III Congreso Internacional de Química de la ANQUE*. Puerto de la Cruz, Tenerife (en prensa).
- BERTOLDI, M. DE; FILIPPI, C. y PICCI, G. 1986. Olive residue composting and land utilization. *Proc. International Symposium on Olive By-products Valorization*. FAO, UNDP, Sevilla, págs.: 307-320.
- CABRERA, F.; LÓPEZ, R.; MURILLO, J.M y BREÑAS, M.A. 1990. Olive vegetation water residues composted with other agricultural by-products as organic fertilizer. *Proc. 10th World Fertilization Congress of CIEC*: Nicosia, Chipre, págs.: 490-498.
- CABRERA, F.; SOLDEVILLA, M.; OSTA, F. y ARAMBARRI, P. 1986. Interacción de cobre y alpechines. *Limnética* 2, 311-316.
- CABRERA, F.; TOCA, C.G.; DIAZ, E. y ARAMBARRI, P. 1983. Influencia de los alpechines en la calidad del agua del río Guadiamar. *Actas V Congreso Nacional de Química. Química y Tecnología del Agua*. Vol. III, 535-543.
- CABRERA, F.; TOCA, C.G.; DÍAZ, E. y ARAMBARRI, P. 1984. Acid minewater and agricultural pollution in a river skirting the Doñana National Park Guadiamar river, South West Spain. *Water Res.* 18, 1469-1482.
- CUADROS GARCÍA, S. 1989. Utilización agrícola de residuos líquidos. En "Residuos Urbanos y Medio Ambiente" (Ed.: I. Herráez, J. López, L. Rubio y M.E. Fernández). Ediciones Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, págs.: 202-222.
- DUPUY DE LOME, E. y MARTÍNEZ BORDIÚ, A. 1991. Investigación sobre eliminación de residuos líquidos de la fabricación de aceite ("alpechines") mediante su infiltración en suelos margo-calizos. *Mapfre Seguridad*, 41; 41-45.
- FIESTAS ROS DE URSINOS, J.A. 1986a. Current status and technology concerning the problem posed by vegetation water. *Proc. International Symposium on Olive By-products Valorization*. FAO, UNDP, Sevilla, págs.: 11-15.
- FIESTAS ROS DE URSINOS, J.A. 1986b. Vegetation water used as fertilizer. *Proc. International Symposium on Olive By-products Valorization*. FAO, UNDP, Sevilla, págs.: 321-330.
- FIESTAS ROS DE URSINOS, J.A. y BORJA PADILLA, R. 1992. Use and treatment of olive mill wastewater: Current situation and prospects in Spain. *Grasas y Aceites* 43, 101-106.
- FLOURI, F.; CHATJIPAOLIDIS, I, BALIS, C.; SERVIS, D. y TJERAKIS, C. 1990. Effect of olive oil mills liquid wastes on soil fertility. *Reunión Internacional sobre Tratamiento de Alpechines*, Córdoba.
- FULLER, W.H. y WARRICK, A.W. 1985. "Soils in waste treatment and utilization". CRC Press Inc. Boca Raton, Florida.

- GARCÍA RODRÍGUEZ, A. 1990. Eliminación y aprovechamiento agrícola del alpechín. Reunión Internacional sobre Tratamiento de Alpechines, Córdoba.
- GARCÍA-ORTIZ RODRÍGUEZ, A y FRÍAS RUIZ, L. 1994. El alpechín y los orujos: sus posibles usos. *Agricultura* 746, 815-819.
- GARCÍA-ORTIZ RODRÍGUEZ, A; GIRÁLDEZ CERVERA, J.V; GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, P y ORDÓÑEZ FERNÁNDEZ, R. 1993. El riego con alpechín: una alternativa al lagunaje. *Agricultura* 730, 426-431.
- GONZÁLEZ, M.D.; MORENO, E.; QUEVEDO-SARMIENTO, J y RAMOS-CORMENZANA, A. 1990. Studies on antibacterial activity of wastewaters from olive oil mills (alpechín): Inhibitory activity of phenolic and fatty acids. *Chemosphere* 20, 423-432.
- HERMOSO, M.; GONZÁLEZ, J.; UCEDA, M.; GARCÍA-ORTIZ, A.; MORALES, J.; FRÍAS, L.; FERNÁNDEZ, A. (1994) Elaboración de aceites de oliva de calidad. Obtención por el sistema de dos fases. Apuntes nº 11/94. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Servicio de Publicaciones y Divulgación.
- INFOLIOVO (2002). Producción mundial del sector. <http://www.infolivo.com>.
- LÓPEZ, R. y CABRERA, F. 1993. La situación del tratamiento de alpechines en España. *Boletín Agropecuario* 30; 30-35.
- LÓPEZ, R., MARTÍNEZ BORDIÚ, A., DUPUY DE LOME, E., A., CABRERA, F. y MURILLO, J.M. 1992. Land treatment of liquid wastes from the olive oil industry (alpechín). *Fresenius Environ. Bull.* 1; 129-134.
- LÓPEZ, R., MARTÍNEZ BORDIÚ, A., DUPUY DE LOME, E., A., CABRERA, F. y SÁNCHEZ, M.C. 1995. Soil properties after application of olive oil mill wastewater. *Fresenius Environ. Bull.* (En prensa).
- LÓPEZ CAMINO, 1993. Evaluación de la experiencia de las plantas prototipo de depuración de alpechines en la cuenca del río Guadalquivir. Proc. IX Congreso Nacional de Química, Sevilla. Vol. 2, 295-317.
- LORENTE MARTÍNEZ, J. 1986. Utilization of olive residue in chemical processes. Proc. International Symposium on Olive By-products Valorization. FAO, UNDP, Sevilla, págs.: 513-516.
- MARTÍN-OLMEDO, P.; LÓPEZ, R.; CABRERA, F. y MURILLO, J.M. 1995. Nitrogen mineralization in soils amended with organic by-products of olive oil and sugarbeet processing industries. *Fresenius Environ. Bull.* 4, 50-64.
- MARTÍNEZ NIETO, L. y GARRIDO HOYOS, S.E. 1994. El alpechín, un problema medioambiental en vías de solución. *Química e Industria* 41, 17-27.
- MONTAÑO, J. y SEGURA, J.D. 1986. Compost production using vegetation water and other agricultural by-products. Proc. International Symposium on the Olive By-products Valorization. FAO, UNDP. Sevilla, págs.: 359-361.
- PÉREZ, J.; DE LA RUBIA, T.; MORENO, J. y MARTÍNEZ, J. 1992. Phenolic content and antibacterial activity of olive waste waters. *Environ. Toxicol. Chem.* 11, 489-495.
- PÉREZ, J.D.; ESTEBAN, E.; GÓMEZ, M. y GALLARDO-LARA, F. 1986. Effects of wastewater from olive processing on seed germination and early plant

- growth of different vegetable species. *J. Environ. Sci. Health B21*, 349-357.
- RAMOS AYERBE, F. 1986. Application for extracted olive residue. *Proc. International Symposium on Olive By-products Valorization*. FAO, UNDP, Sevilla, págs.: 365-370.
- RAMOS AYERBE, F. y ORTEGA JURADO, A. 1986. Separation of pulp from stone and pelleting of fatty olive residue pulp. *Proc. International Symposium on Olive By-products Valorization*. FAO, UNDP, Sevilla, págs.: 427-443.
- RAMOS-CORMENZANA, A. 1986. Physical, chemical, microbiological and biochemical characteristics of vegetation water. *Proc. International Symposium on Olive By-products Valorization*. FAO, UNDP, Sevilla, págs.: 19-40.
- RAMOS SURIA, R. 1986. Extracted olive residue as an energy source. *Proc. International Symposium on Olive By-products Valorization*. FAO, UNDP, Sevilla, págs.: 518-525.
- RODRIGO ROMAN, J. 1990. Situación en España. *Reunión Internacional sobre Tratamiento de Alpechines*, Córdoba.
- ROMERO QUILES, A.S. (2001) Diagnóstico y estudio de los diferentes sistemas de gestión de alpechines, orujos y alperujos en las almazaras: Características de los residuos. Trabajo XXXVIII Curso Internacional de Edafología y Biología Vegetal. IRNAS-CSIC. Sevilla.
- SÁIZ-JIMÉNEZ, C; DE LEEUW, J.W. y GOMEZ-ALARCON, G. 1987. Sludge from the waste water of the olive processing industry: a potential soil fertilizer. *Sci. Total Environ.* 62, 445-452.
- TOMATI, U. y GALLI, E. 1992. The fertilization value of water from the olive processing industry. En "Humus, its structure and role in agriculture and environment" (Ed. J. Kubat), Elsevier Sci. Pub., págs.: 117-126.
- ZAFRA MARÍN, G. y MONTERO TIRADO, M. 1986. Production of dried sludge from vegetation water and its use as a fertilizer and fuel source. *Proceeding International Symposium on the Olive By-products Valorization*. FAO, UNDP. Sevilla, págs.: 355-357.

LEYENDA FIGURA

Figura 1. Evolución de la calidad del agua del río Guadiamar (1978-79) en dos puntos situados antes (círculos) y después (cuadrados) de un vertido de alpechín (Adaptada de Cabrera *et al.*, 1984).

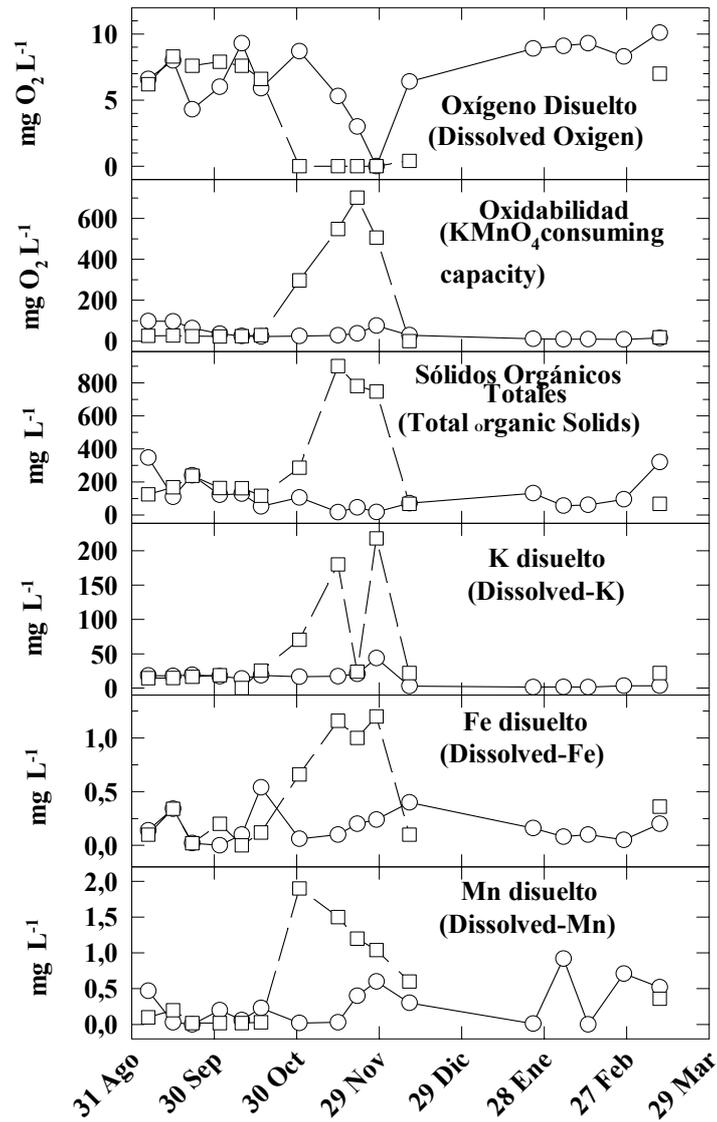


Tabla 1. Composición de los alpechines. (Adaptada de Martínez Nieto y Garrido Hoyos, 1994).

	<i>Método</i>	
	<i>Presión</i>	<i>Centrifugación</i>
<i>Sustancias orgánicas</i>	<i>kg m⁻³</i>	<i>kg m⁻³</i>
Azúcares totales	20-80	5-26
Sustancias nitrogenadas	5-20	1,7-4
Ácidos orgánicos	5-10	2-4
Polialcoholes	10-15	3-5
Pectinas, Mucílagos, Taninos	10-15	2-5
Polifenoles	10-24	3-8
Grasas	0,3-10	5-23
<i>Sustancias inorgánicas</i>	<i>kg m⁻³</i>	<i>kg m⁻³</i>
P-total	1,1	0,3
K ⁺	7,2	2,7
Ca ²⁺	0,7	0,2
Mg ²⁺	0,4	0,1
Na ⁺	0,9	0,3
Fe ³⁺	0,07	0,02
CO ₃ ⁼	3,7	1,0
SO ₄ ⁼	0,4	0,15
Cl ⁻	0,3	0,1

Tabla 2. Parámetros relacionados con la capacidad contaminante del alpechín. (Adaptada de Fiestas Ros de Ursinos y Borja Padilla, 1992).

parámetro	Método		Valores máximos
	Presión g L ⁻¹	Centrifugación g L ⁻¹	Ley de Aguas mg L ⁻¹
pH	(4,5-5,0)	(4,7-5,2)	(5,5-9,5)
DQO	120-130	45-60	500
DBO	90-100	35-48	300
Sólidos suspensión	1	9	300
Sólidos totales	120	60	-
Sólidos minerales	15	5	-
Sólidos volátiles	105	55	-
Grasas	0,5-1,0	3-10	40

Tabla 3. Valores de DQO y DBO de efluentes de industrias agroalimentarias. (Adaptada de Fuller y Warrick, 1985 y Cuadros García 1989).

	DQO mg L ⁻¹	DBO mg L ⁻¹
Alpechín	45.000-130.000	35.000-100.000
Vinaza de remolacha	20.000	61.800-71.500
Vinaza de vino	4.100-30.000	10.000-30.000
Comidas preparadas	-	1.900
Salsas y aderezos	-	2.600
Especialidades cárnicas	-	820
Pescados y verduras	-	387
Frutas y verduras	582	-
Queso y leche en polvo	1.062	-

Tabla 4. Producción de aceite de oliva en las campaña 1991-92 y 1999-2000
(Infolivo, 2002)

País	Tm	Tm
	1991-1992	1999-2000
Italia	443.440	614.164
España	623.081	700.000
Grecia	331.000	377.000
Túnez	120.000	200.000
Turquía	56.000	54.000
Portugal	20.623	32.000
Mundial	1.846.848	2.295.833

Tabla 5. Efectos de los vertidos de alpechín sobre la calidad de las aguas del río Guadiamar y del arroyo El Partido (OD, oxígeno disuelto; Oxid., oxidabilidad al permanganato; ROT, residuos orgánicos totales; LD, límite de detección) (Adaptada de Cabrera *et al.*, 1983).

fecha	OD	Oxid	ROT	K	Fe	Zn	Cu	Mn	Pb
mg L-1									
río Guadiamar									
11/11/82	7,5	21,2	66	2,0	0.70	1,30	0,02	1,60	0,02
02/02/83	<LD	61,4	209	16,0	0,38	0,08	0,01	1,41	0,04
16/02/83	<LD	92,9	236	17,9	0,39	0,04	0,02	1,02	0,05
28/04/83	13,5	27,2	172	10,9	0,09	0,04	0,01	0,13	0,04
arroyo El Partido									
11/11/82	9.0	27	64	9	0,50	0,04	0,02	0,02	<LD
02/02/83	<LD	256	659	172	0,66	0,14	0,05	0,31	0,05
16/02/83	<LD	295	898	190	0,79	0,09	0,03	0,28	0,04
26/03/84	<LD	188	521	219	0,03	0,04	0,01	0,08	0,02

Tabla 6. Comparación de la carga contaminante de alpechines y aguas de lavado (Hermoso et al., 1995)

	AGUA DE LAVADO 2F	ALPECHÍN 3F
PRODUCCIÓN (kg/kg aceitunas)	0,25	1,20
HUMEDAD (%)	99,0	90,0
pH	5,90	5,07
M. INORGÁNICA TOTAL (mg/l)	10,0	271
M. ORGÁNICA TOTAL (mg/l)	140	29260
GRASAS (%)	0,04	0,45
AZÚCARES REDUCTORES. (%)	-	2,80
POLIFENOLES (ppm)	2500	10000
DQO (ppm)	10000	80000

DQO, demanda química de oxígeno.

Tabla 7. Valores de algunos parámetros en las aguas de lavado de almazaras de dos fases (Romero Quiles, 2001)

	Mínimo	Máximo	Media	<i>Error estándar</i>
pH	3,89	6,73	5,20	0,35
CE (mS cm ⁻¹)	0,52	7,56	3,30	0,92
Rendimiento graso (%)	0,015	0,70	0,10	0,086
DQO (mg l ⁻¹)	1070	90300	23677	10539
Sólidos (mg l ⁻¹)	206	31250	4998	3763
P (mg l ⁻¹)	2,27	200	57,1	23,8
Na (mg l ⁻¹)	16,0	88,7	50,6	11,3
K (mg l ⁻¹)	45,1	3536	1144	430
Ca (mg l ⁻¹)	78,7	1341	486	158
B (mg l ⁻¹)	0,015	2,91	0,99	0,36
Co (mg l ⁻¹)	nd	0,045	0,017	0,006
Cu (mg l ⁻¹)	0,072	2,84	0,58	0,33
Fe (mg l ⁻¹)	0,24	91,3	20,3	10,9
Mg (mg l ⁻¹)	12,2	178	58,5	19,6
Mn (mg l ⁻¹)	0,030	4,19	1,11	0,50
Ni (mg l ⁻¹)	0,015	0,86	0,18	0,099
Pb (mg l ⁻¹)	nd	0,15	0,070	0,018
Zn (mg l ⁻¹)	0,14	1,82	0,72	0,24

Tabla 8. Características de orujos de sistemas continuos de dos y tres fases (Hermoso et al., 1995)

	2 FASES	3 FASES
PRODUCCIÓN (Kg/100 Kg aceitunas)	80	50
HUMEDAD (%)	55	48
GRASAS (%)	3,00	3,40
AZÚCARES REDUCTORES (%)	4,80	2,00
POLIFENOLES (p.p.m)	23000	10000
N (%) sobre materia seca	0,80	0,50
P (%) sobre materia seca	0,25	0,12
K (%) sobre materia seca	1,80	0,50