

**DIAGNÓSTICO Y ESTUDIO DE LOS
DIFERENTES SISTEMAS DE GESTIÓN DE
ALPECHINES, ORUJOS Y ALPERUJOS EN
LAS ALMAZARAS: CARACTERÍSTICAS DE
LOS RESIDUOS.**

**TRABAJO REALIZADO DURANTE EL XXXVIII CURSO
INTERNACIONAL DE EDAFOLOGÍA Y BIOLOGÍA VEGETAL**

AGUAS-SANTAS ROMERO QUILES
(Licenciada en Ciencias Químicas)

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES Y AGROBIOLOGÍA DE SEVILLA**

Julio de 2001

AGRADECIMIENTOS

A los Dr. Francisco Cabrera y Rafael López, por su acogida y valiosa ayuda prestada desde el principio.

A la Dr. Engracia Madejón por su acertada labor de dirección, ayuda y asesoramiento en la elaboración de este proyecto, así como por sus consejos y conocimientos transmitidos.

Al Dr. Jose M. Murillo por su ayuda y colaboración prestada durante la duración del curso.

Al Dr. Luis Clemente, coordinador del Curso Internacional de Edafología y Biología Vegetal por facilitarme el acceso a este curso.

A Eva M^a Serrano y M^a Dolores Hurtado por su inestimable ayuda, inagotable paciencia, así como por su amistad.

A todo el personal del laboratorio, en especial a Paola, Piluka, Charo, Elena, Patricia y Rocío por la ayuda y amistad que me brindaron en todo momento.

A M^a Carmen Grande, Asunción Castro y Martín Romero por su ayuda prestada en la elaboración de los análisis químicos.

Por último, expresar mi agradecimiento al convenio Universidad de Sevilla-CSIC, dentro del cual ha sido posible la realización de prácticas en el IRNAS (CSIC).

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
I.1 SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE ACEITES	2
I.1.1 Evolución de los sistemas de extracción de aceites	2
I.1.2 Comparación entre el sistema continuo de tres y dos fases	6
I.2 RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DEL ACEITE DE OLIVA	8
I.2.1 Problemática general de los residuos	8
I.2.2 Los residuos de la industria del aceite de oliva	9
I.2.2.1 El alperujo	9
I.2.2.2 Aguas de lavado	10
II. OBJETIVOS	16
III. MATERIALES Y METODOLOGÍA	17
III.1 ZONA DE ESTUDIO Y PUNTOS DE MUSTREO	17
III.2 TOMA Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS	20
III.2.1 Toma de muestras	20
III.2.2 Preparación de las muestras	21
III.3 METODOLOGÍA ANALÍTICA	21
III.3.1 Análisis de muestras sólidas (orujos, cenizas, hogs y huesos)	21
III.3.2 Análisis de muestras líquidas	26

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
IV.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS ALPERUJOS	28
IV.2 CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA ORGÁNICA DE LOS ALPERUJOS	30
IV. 3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS ALPERUJOS	32
IV.4 APROVECHAMIENTO DE LOS ALPERUJOS	33
IV.4 Empleo como combustible	33
IV.4 Uso agrícola de los alperujos	33
IV.5 AGUAS DE LAVADO	35
IV.6 OTROS RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DEL ACEITE DE OLIVA	37
V. CONCLUSIONES GENERALES	38
VI. BIBLIOGRAFÍA	40

I. INTRODUCCIÓN

Una de las industrias tradicionales de los países mediterráneos es la de obtención del aceite de oliva. El proceso de obtención del aceite contenido en la aceituna comienza en la almazara. En estas industrias, se produce la separación, por procedimientos mecánicos, de los componentes del fruto: el aceite de oliva, el orujo o resto sólido y el agua de vegetación o alpechín.

Las extractoras son las industrias encargadas de procesar el orujo generado en la almazara, extrayendo del mismo el aceite aún ocluido en el sólido. Este aceite, denominado de orujo, o, con más precisión, aceite de orujo de oliva crudo, debe refinarse antes de ser puesto a disposición del consumidor.

En los últimos 25 años, el proceso de extracción del aceite en la almazara ha pasado por diversos y muy significativos cambios tecnológicos. Así desde la tradicional prensa de capachos, se ha pasado por la extracción continua mediante decánter de tres fases (aceite, orujo y alpechín), hasta llegar en los últimos años al decánter de dos fases (aceite y orujo más alpechín) y ocasionalmente a la segunda centrifugación. Esta última

operación, denominada en términos coloquiales “repasado”, consiste en hacer pasar la masa de orujo, fresca o almacenada, por un segundo cuerpo de decaners con la intención de reducir al mínimo el aceite aún contenido en el orujo.

Todos los cambios producidos en la almazara han buscado, con mayor o menor tasa de acierto, una reducción en los costos de personal, una mayor capacidad de procesamiento horario, la reducción del consumo de agua y la reducción del impacto ambiental. Consecuentemente con lo anterior, se ha producido un cambio muy significativo en la composición y en la forma de presentación de los subproductos originados en la almazara y en consecuencia los recibidos por la extractora.

Independientemente de que los cambios descritos con anterioridad hayan mejorado el proceso en la almazara, lo cierto es que para la extractora, la nueva materia prima ha supuesto la complicación del proceso productivo.

I.1 SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE ACEITES

I.1.1 Evolución de los sistemas de extracción de aceites

Tradicionalmente, en el proceso de elaboración del aceite de oliva se han distinguido una serie de etapas o fases como son:

- OLIVO
- OPERACIONES PREVIAS (Recepción, limpieza y almacenamiento del fruto)
- PREPARACIÓN DE LA PASTA (Molienda y batido)
- SEPARACIÓN DE FASES
- ALMACENAMIENTO Y CONSERVACIÓN
- ENVASADO

(Fotos 1 y 2)

Realmente, el proceso de SEPARACIÓN DE FASES es lo que diferencia a los distintos sistemas de elaboración. Como ya hemos indicado, existen dos métodos fundamentales: el de presión y el de centrifugación, antes de los cuales puede hacerse una extracción parcial. La figura I.1 muestra un esquema de los diferentes sistemas de extracción.

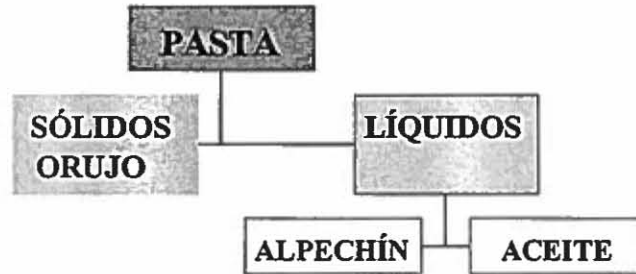


Foto 1. Procesado de aceitunas antes de la molienda



Foto 2. Detalle de centrifugas horizontales

PRENSAS



CENTRIFUGACIÓN

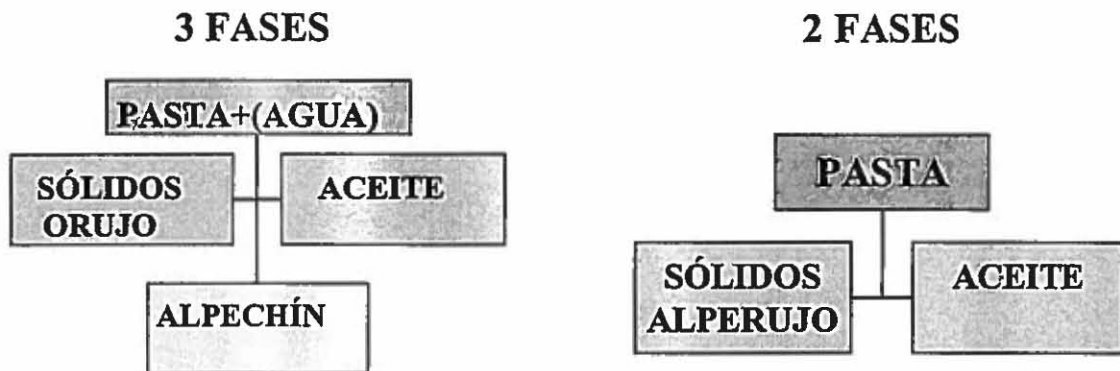


Figura I.1. Esquema de los sistemas de extracción del aceite de oliva.

La entrada en funcionamiento del sistema continuo o extracción por centrifugación de la masa de aceituna, supuso una importante modificación en el concepto de los subproductos obtenidos, tanto en su cuantía y características como en su posterior aprovechamiento (García-Ortiz y Frías, 1994).

En aquel momento el cambio fundamental consistió en sustituir la clásica prensa hidráulica por la centrífuga horizontal o decánter.

La prensa hidráulica conseguía separar las fases sólida y líquida. La fase sólida consistía en un orujo con el 25-30% de humedad, y el 5-6% de contenido graso. En la fase líquida se mezclaban el aceite y el alpechín, teniendo que separarse posteriormente

la fase acuosa de la oleosa, por centrifugación, por decantación o mediante un procedimiento combinado de ambos sistemas.

En el sistema continuo, la centrifugación horizontal o decánter realizaba la separación aunque de forma poco grosera, de las tres fases mencionadas, añadiendo siempre agua caliente a la masa. La fase sólida u orujo, se obtenía así con un 50% de humedad y un 3% de grasa, como valores medios. Este subproducto, al igual que el orujo del sistema clásico, constituía la materia prima de otra industria (orujeira), en donde, por la acción de un disolvente químico se obtenía como producto final el aceite de orujo, y como subproducto el orujo extractado u orujillo. Este orujillo se aprovechaba fundamentalmente como combustible, o bien, previamente deshuesado, como pienso para alimentación animal (la pulpa) dedicándose también el hueso así separado para combustible.

Las fases líquidas, en ambos sistemas, estaban constituidas por dos elementos: aceite y alpechín.

Naturalmente, el aceite virgen de oliva era el producto noble final del proceso, mientras que el alpechín, con características bien diferenciadas según el sistema de elaboración seguido, era un subproducto molesto, situado en primera línea en cuanto a contaminación producida por las diversas industrias agroalimentarias. Además, el hecho de adicionar agua a la masa en el decánter, en el sistema continuo, aumentaba considerablemente el volumen de vertidos de éste líquido.

En el sistema clásico, las pérdidas de aceite experimentadas en el proceso, se producían principalmente en los orujos, mientras que en el sistema continuo, por la naturaleza misma del proceso y por el gran volumen de alpechín producido, era éste subproducto el que contribuía en mayor medida a las pérdidas de aceite; sobre todo si los controles a establecer no eran correctos.

Dado el gran volumen de alpechín que se producía anualmente y su elevado poder contaminante, era imprescindible evitar su nocivo impacto ambiental. Por otra parte, intentar aprovechar este subproducto, constituyó un reto, dando lugar a un sinnúmero de trabajos de investigación, tendentes a conseguir ésta doble finalidad. La concentración térmica, la obtención de combustible sólido, la fabricación de compost, la obtención de biogás y otros diversos métodos, han parecido siempre excesivamente

complejos y de rentabilidad dudosa (Sousa, 1992; AYESA, 1992; López-Camino, 1993).

La utilización más simple y a la vez rentable, fue el empleo de alpechín como fertilizante. Experiencias continuadas ya durante más de diez años sobre el mismo terreno, demostraron que el aporte ininterrumpido no mermaba la fertilidad o capacidad productiva del mismo. (López *et al.*, 1992; Tomati y Galli, 1992; López y Cabrera, 1993; Cabrera, 1994).

Al inicio de los años 90 surgió un nuevo sistema de molturación, que parecía que podría resolver el problema, pero que volvió a modificar los conceptos existentes. La implantación creciente del sistema de dos fases para la extracción de aceite de oliva llevó a la sustitución de los subproductos tradicionales del sistema de tres fases (alpechín y orujo) por el alperujo u orujo húmedo (con mayor contenido de humedad) y las aguas de lavado.

Con la nueva centrífuga horizontal (similar a la existente de tres fases, con ligeras modificaciones) no era necesario adicionar agua de dilución a la masa y cuando se hacía es en muy pequeña proporción.

En cuanto al aceite producido, el nuevo sistema no afecta negativamente, ni a su cantidad ni a su calidad.

I.1.2 Comparación entre el sistema continuo de tres y de dos fases

Ventajas del sistema de elaboración en 2 fases:

- Ahorro de agua, al quedar casi totalmente suprimida la de adición al decánter. En una primera aproximación, podemos evaluar este ahorro en 0,5 l. de agua por Kg de aceituna. (Hermoso *et al.*, 1994)
- Menor inversión, ya que las necesidades de centrifugas verticales para los alpechines se reducen en gran medida. Por otro lado, la caldera de calefacción puede ser de menor potencia (Hermoso *et al.*, 1994)
- Ahorro energético: Al no tener que calentar el agua de inyección al decánter, no consumir energía eléctrica en el funcionamiento de la centrífuga vertical de alpechín. En principio, puede estimarse este ahorro en 0,20 ptas./ Kg de aceituna molturada. (Hermoso *et al.*, 1994)

- Producción muy reducida de alpechín, con escaso poder contaminante. Esta es, sin duda, la principal ventaja que aporta el sistema. Realmente, no se produce alpechín, sino un efluente que es el agua de lavado, con una carga contaminante menor. (Hermoso *et al.*,1994).

Inconvenientes del sistema de dos fases:

- Manejo y aprovechamiento del orujo: Como veremos más adelante, el orujo obtenido en el sistema de dos fases tiene unas características netamente diferenciadas al obtenido en tres fases. (Hermoso *et al.*, 1994)
- Escasos controles visuales en el manejo de la almazara, al desaparecer determinadas referencias que en el de tres fases eran esenciales (tamices de alpechines y salidas de la C.V. de alpechines). (Hermoso *et al.*, 1994)
- Adecuación del manejo de las máquinas a frutos con diferentes características, al quedar suprimido un elemento importante de regulación como es el agua de inyección. En efecto, al no fluidificar la pasta en el sistema de dos fases, el espesor de la fase alpechín es notablemente menor que en el de tres fases. Cuando la aceituna tiene poca humedad, el espesor de esta fase alpechín puede ser muy reducido, y se corre el riesgo de que parte de la fracción aceite pueda ser arrastrada con el orujo. Este es un aspecto en que existen importantes diferencias entre los dos sistemas. En tres fases, aceitunas de alta humedad son más difíciles de trabajar, obteniéndose mayores pérdidas globales de aceite en los subproductos. En la elaboración de estos frutos suelen ofrecer buenos resultados el uso de coadyuvantes tecnológicos (talco o enzimas). En dos fases, las aceitunas de alta humedad ofrecen menos problemas en su elaboración salvo si se presentan pastas difíciles, y también suelen ofrecer buenos resultados el uso de coadyuvantes tecnológicos. Sin embargo, las pérdidas de aceite en los subproductos pueden ser mayores con frutos de baja humedad (Hermoso *et al.*, 1994).

I.2 RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DEL ACEITE DE OLIVA

I.2.1 Problemática general de los residuos

Los residuos pueden ser definidos como materias generadas en las actividades de producción y consumo que no alcanzan, en el contexto en el que se producen, un valor económico debido a la insuficiencia de medios tecnológicos para su aprovechamiento o a la poca demanda en el mercado de los productos recuperados. Se trata de un fenómeno industrial y social muy interesante desde el punto de vista ecológico, tecnológico y educativo, y han de ser afrontados como productos que suponen en sí mismos una fuente para la investigación.

Estamos viviendo un tiempo en el que aumenta la preocupación medioambiental. Una de las características de la sociedad de consumo especialmente acentuada en las últimas décadas, y que la mejor la define es la generación de residuos. Todas las actividades humanas, cualquiera que sea su campo de actuación (agrícolas, forestales, ganaderas, industriales o urbanas), generan residuos.

Las ciudades, las industrias y la agricultura demandan sitios en los que ubicar sus residuos, o métodos para tratarlos de forma que no causen impactos adversos en el medio ambiente, y este interés social se ha visto reflejado en el campo de la investigación científica.

La producción total de residuos en España supera, anualmente, los 180 millones de toneladas, de las cuales, 42 millones corresponden a residuos agrícolas, y 3 millones a residuos agroindustriales (Valero Yáñez, 1987). Los residuos agrícolas además del importante volumen que representan respecto al total, son también los más dispersos y difíciles de controlar, constituyendo uno de los focos de contaminación más significativos de las aguas superficiales, subterráneas y de los suelos.

En una región como Andalucía, en la que la base de su economía ha sido tradicionalmente la agricultura, las industrias relacionadas con este sector ocupan un lugar importante. Los residuos que generan, son fundamentalmente de naturaleza orgánica y generalmente su aprovechamiento es escaso por falta de tecnología adecuada o por el escaso valor que se le da al producto recuperado.

En los últimos años se está observando un creciente interés por la utilización de los residuos agroindustriales, debido fundamentalmente a la necesidad de encontrar aplicaciones que ayuden a solucionar el problema que ellos originan.

Actualmente existen diferentes métodos de evacuación de los residuos orgánicos generados por este sector:

- a) Alimentación animal
- b) Incineración
- c) Vertidos al mar
- d) Vertederos abiertos
- e) Compostaje

Entre las alternativas señaladas, el uso de los subproductos orgánicos como fuente de materia orgánica para los suelos (mediante compostaje) se plantea como una buena alternativa para su aprovechamiento (Stanners y Bourdeau, 1995).

I.2.2 Los residuos de la industria del aceite de oliva

Actualmente casi todas las almazaras utilizan el sistema continuo de dos fases, por ello los residuos que aquí se van a tratar serán los alperujos u orujos húmedos y las aguas de lavado, es decir, los residuos originados cuando se utiliza dicho sistema de extracción.

I.2.2.1 El alperujo

Descripción y Características

Como se ha señalado el alperujo es el residuo sólido que se origina en los sistemas de extracción de aceite continuo de dos fases (Fotos 3 y 4). Las características más relevantes de los alperujos, comparándolas con los orujos del sistema de tres fases se muestran en la Tabla I.1

La producción del alperujo se estima entre 3.500.000 y 4.000.000 de toneladas por año (Benítez Camacho *et al.*, 2000).



Foto 3. Detalle de montón de alperujo en la almazara



Foto 4. Detalle de entrada de alperujo en extractora

Tabla I.1. Características de orujos de sistemas continuos de dos y tres fases

	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

El principal inconveniente que presenta, es un aumento en la humedad final y la fluidez de los orujos. Al no separarse la fase acuosa, los orujos retienen toda el agua de vegetación del fruto. Las consecuencias de este aumento de la humedad de los orujos son (Sequeiras *et al.*, 1995):

- Dificultad de manejo: Al ser más fluido, hay que almacenarlo en recipientes en vez de apilarlo, moverlo con tornillo sinfin en lugar de cintas transportadoras y transportarlo en remolques bañera con rompeolas para evitar derrames, en vez de utilizar camiones convencionales.
- Se encarece el secado: La necesidad de evaporar más cantidad de agua, debido a un orujo más húmedo, repercute en la economía de las extractoras.
- Dificultades en el funcionamiento de los secaderos tradicionales: Los azúcares de la aceituna, que iban disueltos en el alpechín, se quedan en el orujo. Las altas temperaturas de los secaderos los caramelizan produciendo un apelmazamiento de la masa de orujo, que dificulta el secado y crea un cierto riesgo de incendio.

Estos problemas son más simples de abordar que el tratamiento de depuración de alpechines.

Actualmente, el aprovechamiento del alperujo cierra el ciclo productivo del aceite de oliva.

El alperujo, una vez seco, es una materia prima valiosa para la industria extractora que obtiene aceite. El repaso y la extracción del hueso que se suelen realizar

actualmente en las almazaras hacen que el alperujo habitualmente presente un contenido graso bajo, del 1-2%, y un elevado contenido de humedad, próximo al 70 %, lo que dificulta el aprovechamiento de este subproducto en las extractoras.

Aún teniendo en cuenta el valor adicional que puede obtenerse del alperujo si es utilizado con fines energéticos, la distancia límite de transporte del alperujo hasta la extractora es de unos 40 Km (Osorio, 1999), por lo que el destino final de este subproducto suele ser en muchos casos su almacenamiento en balsas (Benítez Camacho *et al.*, 2000), con los consiguientes efectos negativos.

Problemática medioambiental

Como hemos visto, la implantación de los sistemas de dos fases ha hecho que se reduzca considerablemente el volumen de vertidos. Esto no hay que confundirlo con vertido cero, ya que continúan produciéndose aguas residuales procedentes del lavado de aceitunas, del escurrido de patios y tolvas y del lavado de aceites (Alba, 1994).

Aunque la contaminación en una almazara de este tipo es del orden del 10 % de una de tres fases, continúa siendo importante, y los vertidos se conducen generalmente a balsas de evaporación. En algunos casos, cuando están mal construidas y son demasiado profundas, se producen fermentaciones anaerobias, que producen malos olores. Esto es debido a que este efluente tiene mucha materia orgánica fermentable, pero sin la actividad fitotóxica del alpechín por lo cual fermenta fácilmente.

Con objeto de no provocar agresiones medioambientales y aprovechar en grado extremo su contenido graso y/o su poder energético, se están desarrollando dos posibles soluciones, la primera consiste en deshidratar los orujos húmedos con nuevos secaderos, recuperar el aceite residual y el orujillo utilizarlo como combustible consiguiendo su eliminación, hasta encontrar nuevos aprovechamientos de este residuo. La segunda se basa en aprovechar en húmedo íntegramente su poder calorífico en una planta de cogeneración de energía eléctrica que ofrecería su producción a la red pública.

Posibles soluciones

Cuando la recuperación energética no es económicamente viable, deberían abordarse otros sistemas de valorización del alperujo y de los otros residuos del sector. El compostaje o co-compostaje con otros residuos y la utilización agronómica de estos

composts puede ser la opción más favorable y factible desde un punto de vista social, económico y medioambiental. Así como para el alpechín, residuo tradicional del sistema de tres fases, se ha estudiado extensivamente tanto su aplicación agrícola directa, como su compostaje, para el alperujo, por su carácter de residuo “nuevo”, los estudios realizados hasta el momento son escasos. En lo que se refiere al compostaje del alperujo, los pocos trabajos realizados hasta el momento han mostrado la existencia de ciertos problemas para que el proceso se desarrolle con la extensión y velocidad requeridas, lo que se debe fundamentalmente a la dificultad de degradación de la lignina, componente muy abundante sobre todo en los orujos no deshuesados (Madejon *et al.*, 1998 a y b). Otras opciones como el vermicompostaje en mezclas con otros residuos también han comenzado a ser evaluadas (Sainz *et al.*, 2000). Más escasa aún es la información sobre las condiciones y repercusiones de la utilización agrícola tanto del alperujo directamente, como de sus productos compostados (Benítez Camacho *et al.*, 2000). Por añadidura, esta reutilización agrícola del alperujo, se presenta especialmente interesante como vía de fertilización en agricultura ecológica del olivar, sistema de cultivo que cada vez goza de mayor aceptación e implantación entre los agricultores del sector.

I.2.2.2. Aguas de lavado de los sistemas de dos fases

El caudal de agua de lavado producido en el sistema de dos fases es, aproximadamente de 1/5 a 1/6 del volumen de alpechín que se produce en un sistema de tres fases, y su poder contaminante, expresado como D.Q.O., de 1/7 a 1/9. En definitiva, el problema de su eliminación ha sido reducido en más de un 95%. La Tabla I.2 muestra las características más relevantes de las aguas de lavado comparándolas con las del alpechín (Hermoso *et al.*, 1994).

Tabla I.2. Comparación de la carga contaminante de alpechines y aguas de lavado

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

DQO, demanda química de oxígeno.

No obstante, esta pequeña cantidad de agua con un poder contaminante, comparativamente, reducido, no es posible verterlo a los cauces públicos, según la legislación vigente, si bien su tratamiento es más fácil que el del clásico alpechín.

El contenido de sólidos disueltos en el agua de lavado no alcanza, en términos generales, el 1% (1/10 del alpechín tradicional) quedando el contenido de azúcares reductores prácticamente eliminado. Por tanto, los métodos de eliminación de alpechines basados en el aprovechamiento de estos sólidos (fabricación de compost, obtención de combustible sólido, depuración integral mediante procesos biológicos) parecen poco adecuados. El empleo de esta agua de lavado como fertilizante se está investigando.

Otros métodos, como la ultrafiltración o la ósmosis inversa pueden tener mayor viabilidad que en el caso de los alpechines al ser menor el problema de obturación de filtros y membranas.

Hoy en día, los métodos más viables económicamente para la eliminación de esta agua de lavado procedentes del sistema de dos fases, dada la estructura de las almazaras, pueden ser alguno de los siguientes (o la combinación de varios de ellos).

- Empleo en la propia almazara: Parte de este efluente puede emplearse en el lavado de la aceituna o, cuando sea necesario, como agua de inyección al decánter.

En cualquier caso es necesario tomar una serie de precauciones:

El agua de lavado debe estar recién producida

Su uso se hará exclusivamente con aceitunas que vayan a proporcionar aceites de baja calidad.

- Vertido en balsas para su evaporación: Una parte importante de las almazaras disponen de balsas de evaporación de los alpechines del sistema anterior de tres fases, que, si cumplen la normativa vigente (ubicación, compactación, etc.), pueden ser utilizadas para la eliminación de las aguas de lavado. Sin embargo, algunos aspectos técnicos deben ser tenidos en cuenta:

No deben llenarse más de 50 cm. Para conseguir su evaporación total antes de finalizar el verano.

Puede ser necesaria la impermeabilización de la balsa. En efecto, el agua de lavado, por su escaso porcentaje de sólidos, no tiene capacidad de impermeabilización natural del terreno que tenía el alpechín clásico, por lo que puede ser conveniente revestirla de una película de polietileno.

Es previsible que los problemas de olores desagradables y mosquitos que tenían las balsas de alpechín, queden notablemente paliados cuando el líquido a almacenar sea el agua de lavado de los aceites.

- Riego: La cantidad de elementos fertilizantes que tenía el alpechín hizo pensar en su uso como fertilizante. El agua de lavado tiene escasos elementos fertilizantes como para pensar en su aprovechamiento pero sí puede emplearse en el riego, como sistema para su eliminación. De todas formas se debe utilizar en terrenos desnudos (sin cultivo implantado) ya que el contenido en polifenoles (2.500 ppm.) puede resultar fitotóxico. Los cultivos que vayan a instalarse con posterioridad (girasol, maíz, etc....) deben sembrarse dos meses después del último riego. Otra utilización en riego puede ser para olivar, con una notable menor dilución que el alpechín clásico de tres fases.

II. OBJETIVOS

En una región como Andalucía , las industrias relacionadas con el aceite de oliva ocupan un lugar muy importante. Los residuos que producen tienen en general un aprovechamiento escaso por la falta de información acerca de sus características.

El objetivo del presente proyecto es conocer las características de los residuos generados en las almazaras y extractoras de orujo (aguas de lavado, alperujos, hojas u ramón de olivo) en relación con los sistemas actualmente empleados en la gestión de estos residuos. En función de los resultados obtenidos se definirá la mejor opción medioambiental para el tratamiento y gestión de estos subproductos.

III. MATERIALES Y METODOLOGÍA

III.I ZONA DE ESTUDIO Y PUNTOS DE MUESTREO

Según datos del Consejo Oleícola Internacional, España es el tercer productor mundial de aceite de oliva. Andalucía produce el 80% de ese aceite. Dentro de esta comunidad, las provincias en las que existe un mayor porcentaje de industrias dedicadas a este sector son Sevilla, Córdoba y Jaén. Así, para nuestro estudio hemos elegido diferentes almazaras y extractoras que se encuentran ubicadas en dichas provincias. En 6 almazaras de Córdoba y 4 extractoras en las provincias de Sevilla y Jaén hemos tomado muestras de los residuos generados o utilizados (aguas de lavado, alperujos, cenizas, huesos y hojas).

La primera de las extractoras, **OLIVARERA PROVINCIAL**, se encuentra en Marchena (Sevilla), dentro del pueblo por lo que debido a este problema de ubicación están planteando el traslado, además tiene prevista una planta de cogeneración. En esta

extractora se procesan los alperujos (2F) procedentes de los municipios de Pilas, Gilena, Écija, El Saucejo y del propio municipio. La cantidad de alperujo húmedo que les llega al año es aproximadamente 35.000 Tm, con un 2,4% de grasa. Como subproducto tras la extracción del aceite de orujo, se obtienen 10.000 Tm de orujo 2F extraído, cuyo destino generalmente es para ser usado como combustible en calderas (propias o no), ladrilleras, ect. Otros subproductos son las aguas de lavado, que son conducidas a una balsa colectiva mediante un sistema colector, y las cenizas utilizadas para áridos.

En Córdoba se han tomado muestras de 6 almazaras, situadas en Rute, Lucena y Cabra.

La **COOPERATIVA AGRÍCOLA DE RUTE, SCA**; es una almazara que recibe las aceitunas de Rute (80%), Lucena y La Encina Real de la variedad hojiblanca. Utiliza el sistema de dos fases más un repaso. Procesa 15.000 Tm de aceitunas al año, obtiene una producción media de aceite de 2.700 Tm y como subproductos: alperujo (60%) que lo llevan a la planta de cogeneración situada en el Tejar, huesos (1000 Tm) utilizado como combustible para caldera, aguas de lavado (4.000 a 5.000 m³) que conducen a las balsas y hojas (200 Tm) que son utilizadas por los ganaderos de la zona en años en los que los pastos son escasos.

La **COOPERATIVA OLIVARERA SAN JOSÉ**, situada en Llanos de San Juan (Rute), recibe las aceitunas de Rute, Lucena y Cabra. La mayoría (95%) de la aceituna que llega a la cooperativa es de la variedad hojiblanca. La almazara que utiliza el sistema de 2F más repaso, y a veces incluso un segundo repaso. Procesa 10.000 Tm de aceitunas al año, obtiene una producción media de aceite de 1.800 Tm y como subproductos: alperujo (8.000 Tm) que lo llevan a la planta de cogeneración situada en el Tejar, huesos (500 Tm) utilizado como combustible para ladrillera Herrera, aguas de lavado (5.000 m³) que conducen a un depósito de acero que surte a riego autorizado (enmienda) y hojas (230 Tm) que son utilizadas para enmiendas a finca o ganadería.

La Almazara **ACEITES “LA MURALLA”, SL**; situada en Zambra, es una almazara que recibe las aceitunas de Rute, Lucena y Cabra de la variedad hojiblanca. Procesa 6.500 Tm de aceitunas al año, obtiene una producción media de aceite de 1.200 Tm y como subproductos: alperujo (70%) que lo llevan a la planta de cogeneración

situada en el Tejar o a extractoras,, aguas de lavado (0,2 l por Kg de aceituna) que conducen a la balsa municipal y hojas (5 %) que son utilizadas mezcladas con estiércol como abono.

La **OLIVARERA DE LUCENA**, almazara que recibe las aceitunas de Lucena (90%), Monturque, Moriles, Aguilar y Cabra, de la variedad hojiblanca. Utiliza el sistema de dos fases más un repaso en continuo. Procesa 8.500-9.000 Tm de aceitunas al año, obtiene una producción media de aceite del 20%y como subproductos: alperujo (85%) que lo llevan a la planta de cogeneración situada en el Tejar, aguas de lavado (2.700 m³) que conducen a las balsas del ayuntamiento y hojas (5%) que son utilizadas por los agricultores para uso privado (alimentación animal).

La **COOPERATIVA NUESTRA SEÑORA DE ARACELI**, almazara ubicada en Lucena, recibe las aceitunas de Lucena (85%), Monturque (10%), Cabra y Los Llanos de San Juan, fundamentalmente de la variedad hojiblanca. Utiliza el sistema de dos fases más un repaso en continuo. Procesa 11.000 Tm de aceitunas al año, obtiene una producción media de aceite de 2.300 Tm y como subproductos: alperujo (70-75%) que lo llevan a la planta de cogeneración situada en el Tejar, Huesos (4%) utilizado como combustible para caldera, aguas de lavado (2.700 m³) que conducen a las balsas del ayuntamiento y hojas (5%) que son utilizadas para alimentación animal.

La **COOPERATIVA OLIVARERA DE CABRA**, almazara que recibe las aceitunas de Cabra (90%), Aguilar y Rute de la variedad hojiblanca fundamentalmente (90%). Utiliza el sistema de dos fases más un repaso. Procesa 18.000 Tm de aceitunas al año, obtiene una producción media de aceite del 20% y como subproductos: alperujos (75%), huesos (3000 Tm) y hojas (230 Tm)que llevan a la planta de cogeneración situada en el Tejar y aguas de lavado (4.000 a 5.000 m³) que conducen a sus propias balsas.

En Jaén se visitaron tres extractoras, una en Torreperojil y dos en Villanueva del Arzobispo.

La **ORUJERA UBETENSE, SCA**; a esta extractora ubicada en Torreperojil a la que llegan los subproductos procedentes de distintas almazaras de Sabiote y Santa Eulalia (Úbeda). La cantidad de alperujo (orujo 2F húmedo) que les llega son

aproximadamente 55.000 Tm, con una humedad del 65% y un contenido en grasa del 2,5%. La extractora genera a su vez otros subproductos tras la extracción del aceite del alperujo (aceite de orujo) como son: orujo 2F extraído que va para industrias de cogeneración, pulpa (aunque con restos de huesos ya que no se presta mucho cuidado en el deshuesado) que se emplea para alimentación animal, huesos que se usan como combustible y cenizas

La **ORUJERA SAN MIGUEL ARCANGEL**; extractora ubicada en la periferia de Villanueva del Arzobispo, donde llegan los subproductos generados en las extractoras de los alrededores. Recibe 100.000 Tm de alperujo (orujo 2F húmedo) con un contenido graso del 2%. Tras la extracción del aceite de orujo se obtiene orujo 2F extraído que se utiliza para cogeneración. Esta orujera está construyendo una nueva fábrica que incluye una planta de cogeneración.

La **OLEÍCOLA FUENSANTA**, extractora ubicada en la periferia de Villanueva del Arzobispo, donde llegan los subproductos generados en las extractoras de los alrededores. La cantidad de alperujo (orujo 2F húmedo) que les llega son aproximadamente 50.000 Tm, con una humedad del 64% y un contenido en grasa del 2,2%. La extractora genera a su vez otros subproductos tras la extracción del aceite del alperujo (aceite de orujo) como es el orujo 2F extraído que va para industrias de cogeneración. A esta extractora le fue clausurada una balsa de alperujo por impacto ambiental.

Nuestro objetivo era visitar el mayor número de almazaras y extractoras posibles, pero dado que el proyecto comenzó tarde no ha sido posible hacer más visitas para recoger muestras ya que la mayor parte de estas industrias pararon su producción a mediados de Mayo.

III.2 TOMA Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

III.2.1 Toma de muestras

En las almazaras y extractoras, se han tomado muestras de todos los subproductos generados en la extracción del aceite de oliva, fundamentalmente: alperujos, aguas de lavado, huesos, cenizas y hojas.

Hemos de diferenciar entre las muestras tomadas del proceso de extracción y aquellas que fueron recogidas de los montones. En ambos casos, se tomaron las muestras por duplicado en recipientes de plástico de la forma más aleatoria posible.

III.2.2 Preparación de las muestras

Secado

Las muestras de alperujos, cenizas y huesos se extendieron en bandejas y se secaron, en una estufa especial para compost y residuos, a 60°C, durante el tiempo necesario para su total secado, siendo éste incluso de varios días.

Con las hojas se siguió el mismo procedimiento pero utilizando una estufa especial para plantas a una temperatura de 70°C.

Molienda

Una vez secas, las muestras fueron sometidas a un proceso de molienda, utilizando para ello un molino especial para tales residuos.

III.3 MÉTODOLÓGÍA ANALÍTICA

III.3.1. Análisis de muestras sólidas (orujos, cenizas, hojas y huesos)

Análisis físicos

Este tipo de análisis resulta interesante para los alperujos.

Para la determinación de la densidad aparente, densidad real, porosidad total, capacidad de retención de agua y espacio de aire se siguió el siguiente procedimiento (Inbar *et al.*, 1993): Se saturaron los orujos, con su nivel de humedad original, con agua durante 48 horas. Pasado este tiempo se pasó gradualmente a un cilindro tarado de vidrio, de 15 cm de altura y 7 cm de diámetro interior, hasta una altura de 10 cm, tapado por su parte inferior por una malla fina, tal que retiene el sustrato y deja pasar el agua. Tras un drenaje inicial, se añadió de nuevo orujo hasta completar de nuevo la altura de 10 cm. Se restauró con agua y se dejó drenar durante 24 horas. Se pesó (P agua). Se secó a 100°C y se volvió a pesar (P seco).

Determinación de la Densidad Aparente (Da)

La densidad aparente es el peso de los sólidos por unidad de volumen de éste. La estimación de la densidad aparente tiene en cuenta el volumen de los poros dentro del volumen total de sustrato. Se suele medir en g cm³. Se calculó mediante la expresión:

$$Da \text{ (g cm}^{-3}\text{)} = (P_{esc} - P_{cil}) / 385$$

donde 385 es el volumen del cilindro estándar utilizado

Determinación de la Densidad Real (Dr)

Es la densidad media de las partículas del sustrato y resulta independiente del tamaño de las partículas y del volumen total de poros y se estima a partir de la expresión:

$$Dr \text{ (g cm}^{-3}\text{)} = 1 / (M.O./155 + \text{Cenizas}/265)$$

que considera una densidad promedio de 1,55 (g cm⁻³) para la fracción orgánica y de 2,65 (g cm⁻³) para la fracción mineral de la muestra.

Determinación de la Porosidad Total (PT)

Es la proporción de volumen aparente de muestra que no está ocupado por la materia sólida.

El porcentaje del volumen de poros (PT) se calcula según la fórmula:

$$PT \text{ (\% en volumen)} = ((Dr - Da)/Dr) * 100$$

Determinación de la Capacidad de Retención de Agua (CRA)

Expresa la cantidad de agua que es capaz de retener una muestra una vez saturada de ella en condiciones de libre drenaje:

$$CRA \text{ (\% en volumen)} = ((P_{agua} - P_{sec}) * 100) / 385$$

Análisis químicos

Este tipo de análisis se ha realizado en muestras de alperujo, huesos, cenizas y hojas.

Determinación de la Humedad

La determinación de la humedad se realizó por gravimetría, secando las muestras a 105°C hasta peso constante (Ministerio de Agricultura, 1986). El resultado se expresó sobre peso total húmedo de muestra.

Determinación del pH

Se preparó un extracto en agua para determinar el pH de las distintas muestras, (relación 1:5 p/v). Posteriormente, se agitó durante media hora y se dejó decantar, procediéndose a la lectura con un pH-metro CRISON micro pH 2002, con compensación automática de la temperatura.

Determinación de la Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica indica la concentración total de componentes ionizados presentes en los residuos. Se determina, al igual que el pH, en el extracto acuoso en relación 1:5 p/v, utilizando un conductivímetro CRISON-522.

Determinación de la Materia Orgánica

La materia orgánica se determinó por pérdida de peso de las muestras calcinadas en cápsulas de porcelana a 550 °C hasta cenizas blancas.

Determinación del Carbono Orgánico Total

Conocido el porcentaje de M.O., se puede estimar el porcentaje total de Carbono total en las diferentes muestras considerando (Zucconi y de Bertoldi, 1987):

$$C (\%) = M.O./1,74$$

Determinación de la Lignina

Se pesaron 2 g de muestra y se le añadió 10 ml de H₂SO₄ al 72% dejando reposar toda la noche para que se hidrolice la celulosa. Al día siguiente las muestras se mantuvieron en ebullición durante 3 horas con H₂SO₄ al 5% y el refrigerante correspondiente a reflujo

A continuación las muestras se filtraron al vacío en placas de lana de vidrio (crucibles) previamente pesadas y lavándose el resto sólido con 1 litro de agua caliente.

El sólido se secó en estufa a 100°C para determinar la cantidad de lignina por gravimetría. Después se introduce 2 horas en la mufla a 550 °C para determinar el porcentaje de ceniza en la muestra.

Determinación del Extracto húmico total (EHT)

La determinación del C del EHT se realizó según los Métodos Oficiales del Ministerio de Agricultura (1986). La extracción se efectuó con pirofosfato sódico 0,1 M e hidróxido sódico 0,1 N. Las determinaciones de carbono orgánico oxidable se llevaron a cabo según el método clásico de Walkley y Black (1934) mediante oxidación de la materia orgánica presente en la muestra de suelo con dicromato potásico 1 N en medio sulfúrico, valorándose el exceso de dicromato con sal de Mohr (solución 0,5 N de sulfato ferroso-ámónico), empleándose difenilamina como indicador. El contenido de C orgánico total se expresó en g kg^{-1} de C en muestra seca.

Determinación del carbono de los ácidos húmicos (AH)

Una alícuota del EHT se llevó hasta $\text{pH} = 1$ con ácido sulfúrico concentrado. El precipitado de ácidos húmicos se lavó con sulfúrico 0,001N, se disolvió en hidróxido sódico 0,5 N. En una alícuota de este extracto, llevada a sequedad, se valoró el C orgánico oxidable mediante el método de Walkley y Black (1934). El contenido de C de los ácidos húmicos se expresó en g kg^{-1} de C en muestra seca.

Determinación de la Riqueza Grasa

Se considera materia grasa del orujo, al producto obtenido por extracción, con éter de petróleo, sin que el orujo haya sido calentado, procediéndose a su desecación en vía química. El extractor utilizado para ello es de tipo Soxhlet y los cartuchos son de pasta de celulosa (papel de filtro).

Determinación del Nitrógeno total

Las determinaciones de N Kjeldahl se llevaron a cabo tratando las muestras con ácido sulfúrico concentrado en presencia de catalizador (K_2SO_4 y Se) a 420°C en un bloque digestor 2020 TECATOR. Después de la digestión las muestras se trataron NaOH al 40% y se destilaron en un KJELTEC SYSTEM 1002 Distilling Unit. El

destilado se recogió sobre una disolución de ácido bórico al 4% y posteriormente se valoró con ácido clorhídrico de normalidad conocida en presencia de rojo de metilo y verde de bromocresol. El contenido de N orgánico total se expresó en g kg^{-1} de N en muestra seca.

Para las plantas se sigue un procedimiento similar. Las muestras molidas y secas se atacaron con sulfúrico concentrado en presencia de un catalizador a base de Se y sulfato potásico, a 380°C durante 2 h. El nitrógeno amoniacal se determinó por el método del indofenol en un autoanalizador (AA3 Bran+Leubbe). Los resultados se expresaron como g kg^{-1} de N en muestra seca.

Determinación del Carbono Hidrosoluble

La extracción del C hidrosoluble se hizo con agua destilada en la relación 1:10. Una alícuota del extracto se trató con $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 2 N en presencia de H_2SO_4 a 100°C durante 1 hora. Las medidas de C hidrosoluble se realizaron por espectrofotometría a 590 nm frente a una recta de calibrado compuesta por las medidas de absorbancia de muestras con concentraciones conocidas de glucosa tratadas de igual forma que el extracto acuoso (García *et al.*, 1990).

Determinación de micro y macronutrientes

Este método se utilizó para obtener información acerca de la cantidad de metales pesados y otros elementos químicos presentes en las muestras.

Para esta determinación utilizamos una mezcla de ácido nítrico : ácido clorhídrico (1:3 v/v) en vasos de teflón herméticamente cerrados y en horno microondas. En nuestro caso, se partió de 0,500 g de muestra, pesándola directamente en los vasos de teflón y se añadieron los ácidos. A continuación los vasos de teflón se cerraron herméticamente, se colocaron en el bloque digestor y se introdujo el conjunto en el microondas. Se sometió a calentamiento con un proceso que implica una determinada secuencia de potencia/tiempo.. Este proceso duró unos 20 minutos. Después los reactores se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente, se abrieron (en vitrina de gases) y se diluyeron las muestras a 50 ml. Se filtraron y guardaron en recipientes de plástico numerados. Por último, se leyó en ICP (espectrometría de emisión por plasma).

III.3.2. Análisis de muestras líquidas

Análisis químicos

Determinación de pH

Se tomó un determinado volumen de muestra y se procedió a la lectura con un pH-metro CRISON micro pH 2002, con compensación automática de la temperatura.

Determinación de Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica indica la concentración total de componentes ionizados presentes en los residuos. Se determina, al igual que el pH, en un determinado volumen de muestra, utilizando un conductivímetro CRISON-522.

Determinación de la Demanda Química de Oxígeno

El contenido de materia orgánica de carácter biodegradable o no, que es susceptible de ser oxidadas por dicromato de potasio, se expresa como la cantidad de oxígeno suministrado por el dicromato.

Preparamos un blanco añadiendo 2 ml de agua destilada a los tubos de ensayo preparados con 1 ml de dicromato potásico, una pizca de sulfato mercuríco y 2 ml de sulfato de plata. En el resto de los tubos se añadieron 2 ml de la muestra a analizar. Se añade sulfato mercuríco para evitar la interferencia de los cloruros, y sulfato de plata como catalizador para que reaccionen adecuadamente los compuestos orgánicos muy volátiles. Las muestras se atacaron en un digestor durante 2 horas a 150°C. Posteriormente las muestras se leyeron en el espectrofotómetro (620nm). Los resultados se expresan en ppm (mg de oxígeno por litro de agua de lavado).

Determinación de los Sólidos disueltos y en suspensión

Los sólidos en suspensión se determinan por el material retenido en un filtro estándar de fibra de vidrio después de filtrar un volumen determinado de agua y secar a 100°C.

Determinación de Micro y macronutrientes

Para esta determinación utilizamos ácido nítrico en vasos de teflón herméticamente cerrados y en horno microondas.

El volumen de muestra a analizar depende del valor de DQO que presente, así si la DQO es elevada (mayor de 50.000 mg/l de oxígeno) tomamos 5 ml de muestra. Si se encuentra entre 10.000 y 50.000, 10 ml mg/l de oxígeno y si es menor de 10.000 mg/l de oxígeno, 20 ml de muestra.

Para estos volúmenes de muestra se añadió 4 ml de ácido nítrico concentrado, siguiendo el mismo procedimiento que el indicado para ataque de muestras sólidas.

Determinación de la riqueza grasa

En las aguas se determinó la riqueza grasa siguiendo el mismo procedimiento que el indicado para muestras sólidas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV. 1. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS ALPERUJOS

La Tabla IV. 1 muestra los valores medios de los distintos parámetros analizados en los alperujos húmedos, los alperujos secos sin extraer y los alperujos secos extraídos.

La humedad de los alperujos ronda el 65%, valor similar al indicado en la bibliografía (Madejón *et al.*, 1998 a y b) Obviamente, la humedad de los alperujos secos ya sean extraídos o sin extraer procedentes de las extractoras es muy inferior.

El pH de los alperujos es ligeramente ácido, los valores de pH son similares a los del orujillo procedente del sistema de tres fases (Díaz 1999).

El valor de la conductividad eléctrica es moderadamente alto aunque comparable al de otros residuos agroindustriales (Costa *et al.*, 1991). La CE de los alperujos sea mayor que la del orujillo procedente de tres fases (Díaz 1999) ya que los alperujos contienen una gran carga de sales que antes, en el sistema de tres fases, iban incluidas en el alpechín. Los valores de CE son más altos en el caso de los alperujos secos

Los alperujos presentan altos contenidos en carbono orgánico y moderados contenidos en nitrógeno (valores cercanos al 1% de N se consideran normales para residuos agrícolas) (Costa *et al.*, 1991). Por tanto, la relación C/N de los alperujos

estudiados es bastante alta. Como veremos más adelante esto supone un inconveniente para su aplicación directa al suelo o incluso para el proceso de compostaje. En cualquier caso, la relación C/N de los alperujos extraídos es inferior a la de los alperujos húmedos.

Los contenidos en fósforo son bajos, sin embargo, poseen una notable riqueza en potasio.

A diferencia de otros residuos agroindustriales poseen un bajo contenido en sodio (Díaz, 1999).

Tabla IV. 1. Características químicas de los alperujos.

		ALPERUJOS HÚMEDOS	ALPERUJOS SECOS (sin extraer)	ALPERUJOS SECOS (extraídos)
Humedad (%)	Media	65,3	14,9	11,3
	ES	0,89	3,39	1,96
Ph	Media	5,62	6,06	5,88
	ES	0,10	0,10	0,04
CE (mS cm ⁻¹)	Media	6,16	8,72	10,5
	ES	0,35	0,76	0,40
COT (%)	Media	50,9	50,1	50,4
	ES	1,36	1,48	1,20
N-Kjel. (%)	Media	0,90	0,95	1,02
	ES	0,05	0,11	0,10
C/N	Media	58	56	52
	ES			
P ₂ O ₅ (%)	Media	0,34	0,33	0,41
	ES	0,02	0,04	0,04
K ₂ O(%)	Media	1,94	2,37	2,93
	ES	0,13	0,19	0,18
Na (mg kg ⁻¹)	Media	720	630	640
	ES	50	30	60
Ca (%)	Media	1,60	2,43	1,91
	ES	0,41	0,61	0,17
Mg (%)	Media	0,38	0,45	0,34
	ES	0,07	0,20	0,09

COT, carbono orgánico total; N-Kjel., nitrógeno Kjeldahl; ES, error estándar.

En general el contenido en nutrientes es mayor para los alperujos secos que para los alperujos húmedos. Dentro de los alperujos secos, es mayor para los extraídos que para aquellos a los que todavía no se les ha extraído el aceite. Este hecho debe asociarse a la concentración que se produce.

Los contenidos en metales pesados pueden considerarse como muy bajos (Tabla IV.2) cuando se comparan con otros residuos orgánicos como lodos de depuradora o residuos sólidos urbanos (Madejón *et al.*, 2001)

Tabla IV.2. Contenido de metales pesados en los alperujos.

		ALPERUJOS HÚMEDOS	ALPERUJOS SECOS (sin extraer)	ALPERUJOS SECOS (extraídos)
Cd (mg kg ⁻¹)	Media	0,096	0,00	0,00
	ES	0,051	0,00	0,00
Co (mg kg ⁻¹)	Media	1,41	1,85	1,44
	ES	0,47	0,43	0,37
Cu (mg kg ⁻¹)	Media	26,3	21,4	26,2
	ES	1,56	1,31	2,40
Fe (mg kg ⁻¹)	Media	1645	2365	2396
	ES	361	411	376
Mn (mg kg ⁻¹)	Media	47,6	70,4	58,3
	ES	7,52	19,7	6,51
Pb (mg kg ⁻¹)	Media	0,340	40,3	41,7
	ES	0,017	3,67	2,83
Zn (mg kg ⁻¹)	Media	23,5	43,5	37,8
	ES	3,11	8,28	6,48

ES, error estándar.

IV. 2. CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA ORGÁNICA DE LOS ALPERUJOS

El alperujo es un material orgánico, aproximadamente el 85-90% de su composición es materia orgánica. De los análisis realizados se observa (Tabla IV.3) que no existen diferencias apreciables en el contenido de materia orgánica total dependiendo del tipo de alperujo (húmedo, seco sin extraer o extraído).

Tabla IV. 3 Caracterización de la materia orgánica de los alperujos

		ALPERUJOS HÚMEDOS	ALPERUJOS SECOS (sin extraer)	ALPERUJOS SECOS (extraídos)
MO (%)	Media	88,6	87,2	87,7
	ES	2,37	2,57	1,96
Lignina (%)	Media	37,8	35,4	35,1
	ES	0,71	2,03	0,76
Grasas (%)	Media	2,94	5,57	0,91
	ES	0,43	0,86	0,16
CHS (mg kg ⁻¹)	Media	93,7	47,8	56,1
	ES	10,8	4,18	5,08
EHT (%)	Media	15,2	14,4	12,7
	ES	1,24	-	-
AH (%)	Media	3,91	5,07	2,20
	ES	0,05	-	-

MO, materia orgánica; CHS, carbono hidrosoluble; EHT, extracto húmico total; AH, ácido húmico, ES, error estándar.

Casi el 50% de la materia orgánica del alperujo es lignina. La lignina en términos generales es una estructura compleja y variable difícilmente biodegradable. Se trata de polímeros aromáticos tridimensionales con enlaces irregulares C-C, y C-O-C (Witney y Lynch, 1996). La mayoría de los residuos agroindustriales son de naturaleza lignocelulósica aunque el alperujo presenta un contenido en lignina superior al de otros residuos agroindustriales (Costa *et al.*, 1991; Haug, 1993).

Se observa un contenido de carbono hidrosoluble superior en los alperujos húmedos que en los secos, prácticamente el doble. Entre los alperujos secos extraídos y sin extraer no se observan diferencias significativas.

Evidentemente, la riqueza grasa es muy inferior en los alperujos extraídos. El proceso de extracción que actualmente llevan a cabo las extractoras deja un producto final que apenas alcanza el 1% de riqueza grasa.

En cuanto a las sustancias húmicas, puede observarse que los valores de contenidos de EHT y AH son superiores en el caso de los alperujos sin extraer (tanto húmedos como secos). Este hecho no es más que un error analítico, ya que al extraer las sustancias húmicas con pirofosfato y sosa, se extraen además las grasas. Por este motivo se observa como la cantidad de AH es muy superior para alperujos sin extraer que para alperujos extraídos.

IV. 3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS ALPERUJOS

En la Tabla IV.4 se muestran los valores medios de densidad aparente, densidad real, capacidad de retención de agua (CRA), la porosidad total (P) y la granulometría de los alperujos.

Tabla IV.4. Características físicas de los alperujos.

		ALPERUJOS HÚMEDOS	ALPERUJOS SECOS (sin extraer)	ALPERUJOS SECOS (extraídos)
CRA (%)	Media	40,8	28,6	36,0
	ES	2,73	0,81	1,86
ρ_{ap} (g cm ⁻³)	Media	0,42	0,36	0,34
	ES	0,04	0,01	0,01
ρ_r (g cm ⁻³)	Media	1,63	1,64	1,63
	ES	0,02	0,02	0,02
P (%V)	Media	74,2	77,8	79,0
	ES	2,17	0,73	0,34
Granulometría(%)				
<5mm		12,7	2,56	2,33
<2mm		56,3	50,8	49,4
<1mm		16,1	30,4	27,3
<0,5mm		14,7	16,6	20,8

CRA, capacidad de retención de agua; ρ_{ap} , densidad aparente; ρ_r , densidad real, P, porosidad total, ES, error estándar.

Se observan valores comprendidos entre 0,34-0,42 g cm⁻³ para la densidad aparente y 1,63-1,64 g cm⁻³ para la densidad real. Estos valores son aceptables según Abad *et al.*, (1992) para sustratos de cultivos.

Sin embargo los valores de capacidad de retención de agua (28,6-40,8%) y de porosidad total (74,2-79%) son bajos según este mismo autor por lo que no cumplen los niveles óptimos para considerar a los alperujos como buenos sustratos hortícolas.

En la Tabla 4 también se muestra la granulometría de las diferentes muestras de alperujo. Como se puede observar, las fracciones mayoritarias son las fracciones de 2 y 1 mm. La fracción de 2 mm está constituida fundamentalmente por los huesos, la fracción de 1mm en su gran mayoría por pulpa y algunos huesos fragmentados o más pequeños.

La fracción de 5 mm podemos considerarla como un error en esta determinación, ya que en esta habrán quedado retenidos agregados formados en el proceso de preparación de la muestra (secado).

IV. 4. APROVECHAMIENTO DE LOS ALPERUJOS

IV. 4.1. Empleo como combustible

Tal como se puede observar en los análisis realizados (Tabla IV. 2) y en la bibliografía, los alperujos y los subproductos que estos originan tras su paso por la extractora poseen una gran cantidad de materia orgánica. Esto hace que puedan ser usados como combustible ya que en dicha reacción de combustión se desprende una gran cantidad de energía además de dióxido de carbono y agua. Esta es una manera fácil de conseguir energía a buen precio. Se pueden usar como combustible para las calderas de la propia extractora o en otras industrias que lo compran.

Ante todo se busca la rentabilidad económica por lo que se han de tener en cuenta factores como son el precio del transporte, la distancia a la que han de ser transportado, etc. Esto hace que en la mayoría de los casos estos alperujos se almacenen en balsas para su evaporación, para disminuir la masa de residuo a transportar.

Por todo esto, se buscan otras soluciones al problema de la eliminación de estos residuos. Actualmente existe un gran interés por las plantas de cogeneración de energía eléctrica que podrían abastecer a la red pública gracias al empleo de estos subproductos.

Hasta el momento no son muchas las que existen, pero cada vez se van creando más ya que presentan dos grandes ventajas: por un lado permite la eliminación de los residuos de una manera tal que no se produzca impacto ambiental y por otra parte pueden proporcionar una mayor rentabilidad económica que otras soluciones.

IV. 4.2. Uso agrícola de los alperujos

La conservación del suelo es uno de los aspectos medioambientales de mayor interés. Es indispensable preservar el suelo agrícola. Sin embargo, la utilización cada vez más intensiva de los suelos así como las prácticas inadecuadas de cultivo y el uso de maquinaria pesada, ha dado lugar a una disminución del contenido de materia orgánica de los mismos (Costa *et al.*, 1991). La materia orgánica del suelo, a pesar de constituir una pequeña fracción de la fase sólida del mismo, desempeña una importante función.

La estrecha relación entre el contenido de materia orgánica del suelo y la fertilidad del mismo es algo constatado y aceptado universalmente (Brady, 1990). La materia orgánica mejora la estructura de los suelos, con el incremento de la estabilidad de los agregados y del espacio poroso, factores imprescindibles para un buen suministro de agua y nutrientes en las plantas, así como para el desarrollo de una adecuada actividad biológica y bioquímica de la microflora y microfauna del suelo. Tradicionalmente se aplicaba materia orgánica a los suelos mediante el enterramiento de los residuos de las cosechas, pero la incineración o el depósito en vertederos de los mismos han roto en la actualidad esta práctica. Por otra parte, la aplicación de materia orgánica en forma de estiércoles y turbas se ve reducida ya que estos recursos son cada vez más costosos.

Todas estas circunstancias hacen necesaria la búsqueda de nuevos materiales orgánicos de bajo coste. En este sentido los residuos orgánicos y especialmente el alperujo pueden constituir una importante fuente de materia orgánica para los suelos andaluces.

Su contenido en MO y algunos nutrientes hacen interesante su utilización como fertilizante, aunque con ciertos límites debido alta relación C/N que podía provocar riesgos de "hambre de N" en los cultivos y su carácter semi-sólido que dificulta su manejo. Por otra parte, la aplicación al suelo de una materia orgánica poco estabilizada puede dar lugar a la disminución de oxígeno en el ámbito radicular y a la elevación de la temperatura del suelo, que puede alcanzar niveles incompatibles con el desarrollo normal de la planta.

Por todo esto, es aconsejable someter alperujo a un proceso de estabilización como es el de compostaje. Además, dicho proceso de compostaje permitiría la eliminación de los polifenoles presentes en los alperujos y evitar así el efecto negativo que estos producen sobre los cultivos ya que son sustancias fitotóxicas. (Madejón *et al.*, 1998).

Otro uso agrícola del alperujo podría ser su empleo como sustrato en horticultura. Para evaluar el posible uso de un material orgánico como sustrato hay que realizar un estudio de sus propiedades físicas, estas propiedades se consideran más importantes que el contenido en nutrientes. En la discusión de la Tabla IV.4 se han comentado las propiedades físicas de los alperujos en comparación con las de otros materiales que son normalmente usados como sustratos en horticultura.

El estudio de estas propiedades físicas nos lleva a concluir que este residuo, para poder ser usados como sustrato, tendrían que someterse previamente a un proceso de compostaje en el que mejoraran sus propiedades físicas. En cualquier caso seguramente deberían ser mezclados con otros residuos o turba para ensayar su posible uso como sustrato.

IV.5 AGUAS DE LAVADO

La Tabla IV.5 muestra los valores medios de los parámetros medidos en las aguas de lavado procedentes de 8 almazaras y extractoras. Es importante hacer notar que en algunas visitas los empleados y propietarios de las instalaciones nos pusieron muchas dificultades para obtener muestras de aguas. El destino de estos efluentes se indica en el apartado IV.1.

Tabla IV.5. Valores máximos y mínimos de algunos parámetros en las aguas de lavado de almazaras

	Mínimo	Máximo
pH	3,89	6,73
CE (mS cm ⁻¹)	0,52	7,56
DQO (mg l ⁻¹)	1070	90300
Sólidos (mg l ⁻¹)	206	31250
B (mg l ⁻¹)	0,015	2,91
Ca (mg l ⁻¹)	78,7	1341
Co (mg l ⁻¹)	nd	0,045
Cu (mg l ⁻¹)	0,072	2,84
Fe (mg l ⁻¹)	0,24	91,3
K (mg l ⁻¹)	45,1	3536
Mg (mg l ⁻¹)	12,2	178
Mn (mg l ⁻¹)	0,030	4,19
Na (mg l ⁻¹)	16,0	88,7
Ni (mg l ⁻¹)	0,015	0,86
P (mg l ⁻¹)	2,27	200
Pb (mg l ⁻¹)	nd	0,15
Zn (mg l ⁻¹)	0,14	1,82
Rendimiento graso (%)	0,015	0,70

En primer lugar hay que resaltar la gran heterogeneidad en las características de las aguas muestreadas. En particular, hacer notar que un agua en concreto (procedente

de una de las cooperativas de Lucena) presentó una carga contaminante mucho mayor que la del resto de las aguas tomadas, comparable incluso a la del alpechín. Los valores señalados en la tabla como máximos estadísticos (exceptuando el pH que este caso es el mínimo estadístico) se obtuvieron para esta muestra.

En general, y exceptuando esta muestra que podemos considerar como “anómala”(Tabla IV.6), la carga contaminante de esta agua es bastante inferior a la que presentaba el alpechín aunque por sus características (DQO, Sólidos en suspensión) no podría verterse a cauces públicos. Las aguas presentan valores de CE, DQO , sólidos en suspensión y contenido en nutrientes inferiores a los que presentan otros efluentes de las industrias agroalimentarias, los lixiviados de vertederos, purines, vinazas etc. El contenido en metales pesados de estas aguas es también muy bajo quedando en muchas ocasiones por debajo de los límites de detección del aparato

Tabla IV.6. Valores medios de algunos parámetros en las aguas de lavado de almazaras*.

	Media	Error estándar
pH	5,20	0,35
CE (mS cm ⁻¹)	3,30	0,92
DQO (mg l ⁻¹)	23677	10539
Sólidos (mg l ⁻¹)	4998	3763
B (mg l ⁻¹)	0,99	0,36
Ca (mg l ⁻¹)	486	158
Co (mg l ⁻¹)	0,017	0,006
Cu (mg l ⁻¹)	0,58	0,33
Fe (mg l ⁻¹)	20,3	10,9
K (mg l ⁻¹)	1144	430
Mg (mg l ⁻¹)	58,5	19,6
Mn (mg l ⁻¹)	1,11	0,50
Na (mg l ⁻¹)	50,6	11,3
Ni (mg l ⁻¹)	0,18	0,099
P (mg l ⁻¹)	57,1	23,8
Pb (mg l ⁻¹)	0,070	0,018
Zn (mg l ⁻¹)	0,72	0,24
Rendimiento graso (%)	0,10	0,086

Valores medios en los que no se han incluido los valores del agua de la cooperativa de Lucena

IV.6 OTROS RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DEL ACEITE DE OLIVA

La Tabla IV. 7 muestra algunas características de los huesos y las hojas recogidos en las almazaras y extractoras.

Tabla IV. 7. Características de los huesos y las hojas.

	*Huesos	*Hojas
Humedad (%)	8,0	38,8
MO (%)	97,4	86,5
COT (%)	55,8	49,7
N (%)	0,12	1,10
C/N	482	43,4

* Valores medios de 6 muestras de cada residuo.

Los huesos, constituidos fundamentalmente por materia orgánica y con un bajo contenido en humedad son normalmente vendidos a buen precio para la obtención de energía. La naturaleza de estos productos (con una altísima relación C/N y un muy pobre contenido en nutrientes) hace que sea difícil encontrar otra solución para la reutilización de los mismos.

Las hojas presentan en cambio un bajo contenido en humedad y un apreciable contenido en nutrientes (datos no mostrados). Algunos autores han recomendado su uso como agentes estructurantes para co-compostar con lodos y materiales de características físicas semejantes como pueden ser los alperujos húmedos.

V CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que en lo que respecta a los alperujos existe una gran homogeneidad en la composición física y química en las muestras tomadas en las distintas provincias. De su composición química cabe destacar su alta riqueza en materia orgánica (de la que más de la mitad es lignina), un moderado contenido en N y K y una bajo contenido en metales pesados.

El destino final de los alperujos esta siendo en la mayor parte de los casos, la planta del Tejar, obteniéndose energía. Sin embargo, los altos precios del transporte y la creciente preocupación del sector por la agricultura integrada hace que abra una vía para su utilización agrícola. Teniendo en cuenta su alta relación C/N (45-55) es aconsejable someter el alperujo a un proceso de co-compostaje con un sustrato (residuo) rico en nitrógeno y que actúe como agente estructurante ya que los altos contenidos de humedad del alperujo dificultarían el flujo de aire necesario para el proceso. Las hojas

de olivo de las propias almazaras junto con un pequeño aporte de estiércol (para disminuir la relación C/N) podrían utilizarse para el co-compostaje del alperujo.

Las aguas de lavado presentan una gran heterogeneidad dependiendo de su procedencia. En la mayoría de los casos estudiados las aguas de lavado mostraron una carga contaminante muy inferior a la del alpechín, sin embargo en alguna almazara visitada las muestras de agua presentaron una alta carga contaminante.

El compostaje puede dar también una solución a esta agua de lavado ya que si las plantas de tratamiento se instalan en las proximidades de las almazaras éstas pueden utilizarse para regar las pilas de compost con el consiguiente aporte de los elementos nutritivos que contienen.

VI. BIBLIOGRAFÍA

ABAD, M.; MARTÍNEZ-HERMOSO, M. D.; MARTÍNEZ GARCÍA, P.F. Y MARTÍNEZ CORTES, J. 1992. Evaluación agronómica de los sustratos. Actas de Horticultura 11, 141-154.

ALBA, J. 1994. El orujo de aceituna. Evolución, estado actual y perspectivas. Agricultura 746, 812-814.

ANSORENA, J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Ediciones Mundiprensa.

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.

BENÍTEZ, C.; GIL, J.; GONZÁLEZ, J.L. 2000. Influencia de la humedad en la evolución de parámetros químicos de un suelo tras la adición de alperujo. Boletín de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo 7-2, 215-220.

BRADY, N.C. (Ed) 1990. The Nature and properties of soils (Tenth edition). MacMillan Publishing Company. New York.

CABRERA, F. 1994. Reutilización de Residuos. Olivicultura, Fundación La Caixa y Agro-Latino. Barcelona, 121-127.

COSTA, F.; GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T.; POLO, A. 1991. Residuos orgánicos urbanos. Manejo y Utilización. Caja Murcia.

DÍAZ, M.J. 1998. Proceso de co-compostaje de mezclas de vinaza de melaza de remolacha con tres residuos agroindustriales. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.

GARCÍA, C; HERNÁNDEZ, T.; COSTA, F. 1990. Study on water extract of sewage sludge compost. Soil Sci. Plant. Nutr. 37, 399-408.

GARCÍA-ORTIZ, A.; FRÍAS, L. 1994. El empleo de alpechín y orujos húmedos. Agricultura 746, 815-819.

HAUG, R.T. 1993. The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers. Boca Raton. Florida, 717p.

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. Junta de Andalucía. Conserjería de Agricultura y pesca.

INBAR, Y.; HADDR, Y. Y CHEN, Y. 1993. Recyding of cattle manure: the composting process and characterization of maturity. J. Environ. Qual. 22(4), 857-863.

LÓPEZ CAMINO. 1993. Evaluación de la experiencia de las plantas prototipo de depuración de alpechines en la cuenca del río Guadalquivir. Proc. IX. Congr. Nacional de Química, Sevilla, Vol. II, 295-317.

LÓPEZ, R.; CABRERA, F: 1993. La situación del tratamiento de alpechines en España. Boletín Agropecuario. Fundación La Caixa 30, 30-35.

LÓPEZ, R.; MARTÍNEZ BORDIÚ, A.; DUPUY DE LOME, E.; CABRERA, F.; MURILO, J.M. 1992. Land Application of liquid wastes from olive oil industry ("alpechín"). Fresenius Environ. Bull. 1, 129-134.

MADEJÓN, E.; BURGOS, P.; MURILLO, J.M.; CABRERA, F. 2001. Phytotoxicity of Organic Amendments on Activities of select Soil Enzymes. Commun. Soil Sci. Plant. Anal.

MADEJÓN, E.; GALLI, E. AND TOMATI, U. 1998a. Bioremediation of olive mill pomaces for agricultural purposes. Fresenius Environmental Bulletin 7:873-879.

MADEJÓN, E.; GALLI, E. AND TOMATI, U. 1998b. Composting of wastes produced by low water consuming olive mill technology. Agrochimica, 42, 173-183
Año

MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN DE ESPAÑA. 1986. Métodos oficiales de análisis. Vol. II.

SAINZ, H.; BENÍTEZ, E.; MELGAR, R.; ALVAREZ, R.; GÓMEZ, M.; NOGALES, R. 2000. Biotransformación y valorización agrícola de subproductos del olivar, orujos secos y extractados, mediante vermicompostaje. Boletín de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo 7-2,103-111.

SEQUEIRAS, L.; MENDEZ, M.; SOUSA, M. 1995. Tecnología de obtención de aceite de oliva por dos fases. Seguimiento y situación actual en Andalucía. Tecno ambiente 52, 59-62.

SOUSA, M. 1992. Estudio del vertido de alpechines. I Jornadas de Evaluación de Impacto Ambiental en Agricultura, Sevilla.

STANNERS, D. Y BORDEAU, P. 1995. Waste. En "Europe's Enviroment. The Dobris Assessment". European Enviroment Agency, Copenhagen, 230-260.

TOMATTI, U. Y GALLI, E. 1992. The fertilizing value of waste waters from the olive procesing industry. En: "Humus, its strucure and role in agriculture and enviroment" (Ed. Kubat, J.), Elsever Sci. Pub., 117-126.

VALERO-YAÑEZ, M. 1987. El reciclaje: camino ecológico de los residuos. En: "Resíduos urbanos y medioambiente". (Eds. I. Herráez, J. López, L. Rubio y M.E. Fernández). Ediciones Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 189-205.

WALKEY, A. Y BLACK, J.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modificatiopn of the chromic acid titration method. Soil. Sci. 37, 29-38.

WITNEY, P.J.; LYNCH, J.M. 1996. The importance of lignocellulosic compounds in composting. The Science of composting, 533-541

ZUCCONI, F. Y DE BERTOLDI, M. 1987. Compost specification for the production and characterization of compost from municipal soil waste. En "Compost: Production, Quality and Use". (M Bertoldi, M.P. Ferranti, P. L'Hermite y F. Zucconi).Elsevier Applied Science Publisher, Londres, 276-295.