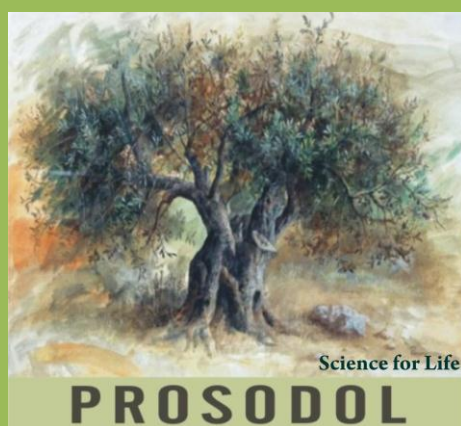


STRATEGIES TO IMPROVE AND PROTECT SOIL QUALITY FROM THE  
DISPOSAL OF OLIVE OIL MILLS WASTES IN THE MEDITERRANEAN  
(PROSODOL)

***Análisis de la Legislación Nacional  
y Europea relativa a los Residuos  
de Almazara y la Protección del  
Suelo.***



**Estrategia Integrada de Acciones, Medidas y Medios adecuados  
para los Países del Área Mediterránea.**

**2012**

**MARIA K. DOULA  
FEDERICO TINIVELLA  
JOSÉ L. MORENO  
VASSILIS J. INGLEZAKIS**

**LIFE07/ENV/GR/000280**



**Contactos:**

Dr. Maria Doula: Hellenic Agricultural Organization “DEMETRA” – Soil Science Institute of Athens, Sof. Venizelou 1, 14123 Likobrisi, Grecia.  
e-mail: mdoula@otenet.gr

Dr. José Luis Moreno: Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura – Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Departamento de Conservación de Suelos y Aguas y Manejo de Residuos Orgánicos. Apartado de Correos 164, 30100-Espinardo, Murcia  
e-mail: jlmoreno@cebas.csic.es

Dr. Federico Tinivella: Center for Agricultural Experimentation and Assistance, Regione Rollo 98, 17031 Albenga (SV), Italia.  
e-mail: federico.tinivella@alice.it

Dr Vassilis J. Inglezakis: SC European Focus Consulting srl., Banatului 16, Bacau, Rumania  
E-mail: v\_inglezakis@yahoo.com  
Web: www.efcon-group.ro

## Contenido

1	Residuos generados y actuales prácticas de gestión de los residuos del sector .....	3
2	UE y legislación nacional en materia de residuos, agua y suelos.....	4
2.1.1	Establecimiento de valores límite: VLE y NCA.....	5
2.1.2	Esparcimiento de los residuos en tierra .....	6
2.2	Legislación nacional en el ámbito de los residuos del aceite de oliva en los países participantes .....	7
2.2.1	Italia .....	8
2.2.2	España.....	9
2.2.3	Grecia.....	11
2.2.4	Valores de límite de emisión para los vertidos en aguas superficiales y en la red de alcantarillado .....	12
3	Recomendaciones legislativas para el tratamiento de los residuos de almazara..	12
3.1	Propuestas de normativa legal .....	12
3.2	Propuestas de normativa de cumplimiento voluntario.....	14
4	Protección del suelo .....	16
4.1	Introducción.....	16
4.2	Propuestas de normativa legal .....	16
4.2.1	Registro de las zonas de vertido de los residuos de almazara .....	17
4.2.2	Caracterización de las zonas de vertido - evaluación de riesgos .....	17
4.2.3	Establecimiento de las condiciones para el vertido de las aguas residuales de almazara en el suelo .....	18
4.2.4	Adopción de indicadores de calidad del suelo .....	23
4.2.5	Monitorización de los indicadores del suelo y evaluación de los resultados obtenidos.....	24
4.3	Recomendaciones y directrices técnicas .....	25
4.3.1	Medidas para una vigilancia continua de las zonas de vertidos de los residuos de almazara.....	26
4.3.2	Remediación de suelos.....	30



## 1 Residuos generados y actuales prácticas de gestión de los residuos del sector

Los residuos generados por el sector olivarero, principalmente desechos sólidos (como el orujo o alpechín) y aguas residuales de almazaras (LIFE Focus, 2010), dependen del proceso de producción. Los rendimientos de los procesos bifásicos y trifásicos del aceite de oliva se comparan en la Tabla 1 (IPPC BREF, 2006).

**Tabla 1:** Comparación de los procesos bifásicos y trifásicos del aceite de oliva

Datos		Proceso bifásico		Proceso trifásico	
		Datos del proyecto IMPEL	Datos de España	Datos del proyecto IMPEL	Datos de España
Insumos	Aceitunas (t)	1	1	1	1
	Agua (m <sup>3</sup> )	0	0	0,5	0,7-1
Resultados	Aceite (t)	0,18	0,2	0,18	0,2
	Aguas residuales (m <sup>3</sup> )	0	0	0,72	1-1,2
	Orujo (t)	0,82	0,8	0,60	0,5-0,6

A continuación se presentan los métodos más comunes empleados para la eliminación, almacenamiento y tratamiento de los residuos líquidos y sólidos de la aceituna generados a partir de los procesos de extracción del aceite de oliva que se aplican en los países olivareros del mundo (Nair y Markham, 2008; Saadi et al., 2010):

- Dispersión controlada de orujos en tierras agrícolas a un ritmo de entre 100 - 200 m<sup>3</sup>/h/año
- Riego de cultivos arbóreos con aguas residuales de almazara a un ritmo de 80 m<sup>3</sup>/h/año
- Adición controlada de las aguas residuales de almazara en Italia con un proceso trifásico de extracción (continuo) sobre un suelo a una dosis de 80 m<sup>3</sup>/h/año y para un proceso de extracción clásico (discontinuo) a una dosis de 50 m<sup>3</sup>/h/año
- Dispersión controlada del orujo crudo o compostado en Italia.
- El Ministerio de Protección Medioambiental de Israel permite la dispersión de aguas residuales de almazara en suelo a un ritmo de 40-50 m<sup>3</sup>/ha/año, cada dos años en la misma zona y una dispersión controlada del orujo generado en el proceso de extracción trifásico a un ritmo de 40 m<sup>3</sup>/h/año cada dos años en la misma parcela
- Riego de los olivos con aguas residuales de almazara en Grecia a un ritmo de 1,5 m<sup>3</sup>/árbol/año
- Descarga incontrolada de aguas residuales de almazara en las plantas municipales de tratamiento de aguas residuales de Israel
- Almacenamiento de las aguas residuales de almazara en estanques anaerobios abiertos
- Almacenamiento de las aguas residuales de almazara por medio de dispositivos de flotación
- Almacenamiento de las aguas residuales de almazara en depósitos de decantación abiertos



- Métodos limitados de compostaje de los residuos sólidos del aceite (tratamiento). En Andalucía, España, existe un consorcio de almazaras que produce *compost* a partir de los residuos semisólidos (*compost* de alpeorujo) para su utilización en la agricultura biológica. Esta actividad es financiada y promovida por la Junta de Andalucía: (<http://www.juntadeandalucia.es/agricultu-raypesca/portal/areas-tematicas/produccion-ecologica/produccion/compostaje/index.html>)
- Biofiltros para el tratamiento de los residuos líquidos de la aceituna (tratamiento)
- Producción de biogás (metano) a partir del tratamiento de residuos sólidos de la aceituna.

Los residuos sólidos del prensado en almazara (trifásico) se emplean normalmente para la extracción de aceite de orujo. Otra alternativa es el compostaje y tratamiento de suelos. En el caso de los lodos bifásicos, Italia se decanta por la práctica del compostaje, mientras que España también lo utiliza como combustible - biomasa (IMPEL, 2003). Además, los comentarios más relevantes del estudio relacionado con las Mejores Técnicas Disponibles y prioridades del sector son (IMPEL, 2003):

- La eliminación o tratamiento completo de los residuos no es ni una opción viable ni aceptable.
- La aplicación al terreno (suelo) parece ser la opción más adecuada para la reutilización de los residuos.
- La necesidad de soluciones prácticas para la reutilización del orujo da lugar a sistemas bifásicos.

## 2 UE y legislación nacional en materia de residuos, agua y suelos

En relación con la gestión del tratamiento de residuos del olivar, la reforma de la política agrícola común en materia de aceite de oliva no proporciona disposiciones concretas sobre la gestión de los residuos de almazara (MORE, 2009), lo que implica que cada Estado Miembro (EM) debe desarrollar legislación nacional que regule esta área y que se ajuste a la normativa de la UE.

En determinadas condiciones, el explotador de la almazara, como productor de residuos, se considera responsable de gestionar adecuadamente los residuos antes de su recuperación o tratamiento. En base a los preceptos de la Directiva Marco del Agua (DMA), el explotador de la almazara tiene las siguientes opciones (Taccogna, 2010):

- Recuperación o vertido en el emplazamiento mediante la instalación de un sistema adecuado en la almazara.
- Gestión de los residuos en el marco de un acuerdo específico con los servicios públicos de gestión de residuos municipales.
- Envío de los residuos, por medio de un recolector de residuos autorizado, a instalaciones de recuperación o vertido certificadas
- Envío de los residuos, por medio de un recolector de residuos autorizado, a una entidad de tratamiento autorizada para su homogeneización o mezcla, re-



empaquetado y almacenamiento que posteriormente los entregará para las operaciones de recuperación o vertido autorizadas.

- La situación, al menos en el caso de las almazaras más pequeñas, se simplificaría si los residuos del aceite de orujo de oliva se tratasen como residuos municipales. En tal caso, el productor sólo debería enviar los residuos a un servicio municipal, sin que fuese necesario disponer de un acuerdo concreto y abonando únicamente las cuotas o impuestos asociados a la gestión de residuos.

De acuerdo con el estudio de la red europea para la aplicación y el cumplimiento de la legislación en materia de medio ambiente (IMPEL), los residuos de los procesos de tratamiento de la aceituna no deberían considerarse desechos si existe la posibilidad de reutilizarlos. La utilización de efluentes para el regadío y la utilización de lodos como fertilizantes tras el compostaje parecen ser algunas de las opciones válidas existentes (IMPEL, 2003). En los siguientes párrafos se analizan las excepciones.

Con arreglo al Artículo 5 de la **Directiva 2008/98/EC** del Parlamento Europeo y del Consejo sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas (19 de noviembre de 2008), el subproducto es una sustancia u objeto resultante de un proceso de producción cuyo objetivo principal no sea la producción de dicha sustancia. A fin de ser clasificado como subproducto y no como residuo, una sustancia u objeto deberá cumplir las siguientes condiciones:

- (a) uso ulterior cierto de la sustancia u objeto;
- (b) la sustancia u objeto puede utilizarse directamente sin ningún tratamiento ulterior distinto de la práctica industrial habitual;
- (c) el uso ulterior de la sustancia u objeto es parte integral de un proceso de producción; y
- (d) el uso ulterior es legal, es decir la sustancia u objeto cumple todos los requisitos pertinentes para la aplicación específica relativos a la protección de los productos, el medio ambiente y la salud.

### 2.1.1 Establecimiento de valores límite: VLE y NCA

Un componente importante en relación con la protección de la calidad medioambiental es la regulación de los vertidos de fuente puntual, los cuales suelen expresarse en términos de límites de "etapa final" aplicados a ciertos parámetros físicos o a las concentraciones de sustancias químicas específicas (Whitehouse, 2001). Los **Valores de Límite de Emisión (VLE)** se basan en la Mejor Tecnología Disponible en materia de emisiones y se aplican a todas los vertidos específicos del sector, sin tomar en consideración la capacidad de dilución de los medios receptores y expresados generalmente como normas mínimas jurídicamente vinculantes. Por tanto, los VLE tienen una base tecnológica y económica sólida y pueden variar en las distintas disciplinas industriales de cada sector. Pueden expresarse como concentración química en el efluente final o como carga (masa) vertida por unidad de producción (Whitehouse, 2001). Por su parte, las **Normas de Calidad Ambiental (NCA)** se refieren a las sustancias químicas o parámetros específicos que describen los umbrales por debajo de los cuales no se prevé un impacto negativo en el medio receptor y que tienen en cuenta las características específicas de los medios en cuestión. Las NCA aplican a emplazamientos concretos y fijan las concentraciones máximas de cada sustancia que



pueden verterse desde un punto de descarga concreto. Por tanto, las NCA tienen una fundamentación más biológica que tecnológica, y se basan, en última instancia, en los peligros concretos que los productos químicos tienen para la vida acuática (Whitehouse, 2001).

### 2.1.2 Esparcimiento de los residuos en el terreno

Además de eliminar los residuos sólidos o semisólidos, los efluentes generados por la industria alimentaria suelen esparcirse directamente en los terrenos agrícolas. Varios estudios han demostrado que la dispersión controlada de los residuos de las almazaras en los terrenos agrícolas pueden constituir una solución válida para la eliminación de dichos efluentes, especialmente en las zonas con terrenos pobres en materia orgánica (Ouzounidou et al., 2010). Los residuos de las almazaras son productos naturales ricos en compuestos orgánicos y contienen cantidades significativas de azúcares, minerales y otras sustancias que facilitan el crecimiento de las plantas. Esta aplicación podría ser sostenible siempre y cuando se tengan en cuenta y/o eliminen sus propiedades fitotóxicas y determinados efectos adversos para las propiedades del suelo (Ouzounidou et al., 2010). Aunque muchos experimentos evidencian los efectos beneficiosos que la aplicación controlada de aguas residuales de almazara tiene para la fertilidad del suelo, en ocasiones su aplicación en las prácticas agrícolas se ha visto limitada debido a la carga contaminante de este residuo y a su efecto inhibitor en la germinación de semillas. Los efectos tóxicos se asocian a la lixiviación de los nitratos y a los impactos negativos sobre los microorganismos cuando se aplican altas dosis de aguas residuales de almazara no tratadas (100-200 m<sup>3</sup>/ha) (Ouzounidou et al., 2010; Cabrera et al., 1996). La fitotoxicidad está relacionada con los compuestos fenólicos y los contenidos en sales, mientras que como conclusión general se puede establecer que los posibles peligros por fitotoxicidad son considerablemente inferiores en los suelos ricos en materia orgánica ya que, como varios estudios han demostrado, estos suelos son susceptibles de reducir la carga fenólica (Casa et al., 2003; Ouzounidou et al., 2010; Cabrera et al., 1996). Los estudios recientes también han demostrado que la contaminación con sustancias fenólicas puede afectar a las aguas subterráneas debido al fenómeno de la lixiviación (Shadou et al., 2009).

El principio fundamental que soporta el esparcimiento de residuos en tierra es que se favorece la recirculación de nutrientes y de materia orgánica en el suelo, que en los casos de destrucción térmica o eliminación en vertederos se perdería (EC-DG, 2001). Los posibles inconvenientes del esparcimiento en tierra son:

- peligro para la salud de las personas y de los animales debido a la presencia de patógenos
- contaminación del suelo provocada por compuestos orgánicos o elementos persistentes tóxicos, así como efectos negativos a largo plazo en la fertilidad del suelo
- degradación periódica de los suelos provocado por la sobrecarga de sales
- contaminación del agua (superficial y subterránea)
- molestias (olor, imagen)
- daño en la estructura del suelo a causa de las actividades de esparcimiento



Es necesario recordar que el esparcimiento en tierra está relacionado con la calidad del suelo así como con la calidad de las aguas subterráneas. El término "vulnerabilidad de las aguas subterráneas" se emplea para representar las características geológicas e hidrogeológicas intrínsecas que determinan la probabilidad de que las actividades humanas contaminen las aguas subterráneas. Dicha probabilidad normalmente depende de la naturaleza (arenosa, arcillosa, etc.) y profundidad del suelo/subsuelo que recubre un acuífero (por ejemplo, su superficialidad). El tiempo de propagación, la capacidad de atenuación de los subsuelos (es decir, su capacidad de filtrar impurezas) y la naturaleza de los elementos, son elementos importantes a la hora de determinar la vulnerabilidad de las aguas subterráneas (consulte la Tabla 2, preparada en 2004 por la EPA - Agencia de Protección Medioambiental de los EEUU).

**Tabla 2:** Condiciones geológicas e hidrogeológicas que determinan las categorías de los mapas de vulnerabilidad

Espesor del subsuelo	Requisitos hidrogeológicos				
	Recarga difusa			Recarga puntual	Zona no saturada
	Tipo y permeabilidad del subsuelo				
	Permeabilidad alta (arena/gravilla)	Permeabilidad moderada (subsuelo arenoso)	Permeabilidad baja (subsuelo arcilloso, arcilla, turba)	Simas, sumideros	(Sólo acuíferos, arena y gravilla)
0-3 m	<b>Extremo</b>	<b>Extremo</b>	<b>Extremo</b>	<b>Extremo (radio de 30 m)</b>	<b>Extremo</b>
3-5 m	<b>Alto</b>	<b>Alto</b>	<b>Alto</b>	<b>N/A</b>	<b>Alto</b>
5-10 m	<b>Alto</b>	<b>Alto</b>	<b>Moderado</b>	<b>N/A</b>	<b>Alto</b>
>10 m	<b>Alto</b>	<b>Alto</b>	<b>Bajo</b>	<b>N/A</b>	<b>Alto</b>
Notas: (i) N/A = no aplicable (ii) Las clasificaciones de permeabilidad están relacionadas con el comportamiento técnico descrito en BS5930					

## 2.2 Legislación nacional en el ámbito de los residuos del aceite de oliva en los países participantes

Actualmente, la Unión Europea no dispone de legislación que regule la gestión de residuos de almazara, por lo que son los países a título individual los que establecen la normativa necesaria. Dicho esto, tanto Italia, Portugal (Ouzounidou et al., 2010) como recientemente España, todos ellos países productores de aceite de oliva, disponen de legislación que regula la eliminación y aplicación de residuos en los terrenos agrícolas. Además, Italia y Portugal han abordado y resuelto la consideración del orujo como "residuo" (no se considera un residuo peligroso); el resto de países carecen de legislación específica al respecto (IMPEL, 2003).





## 2.2.1 Italia

El Decreto Legislativo N° **152 de 1999**, transposición de las Directivas Europeas 91/271/CEE y 91/676/CEE, regula la protección de las aguas contra la contaminación. El artículo 38 de esta ley hace referencia a la **ley italiana n°574 de 1996** con consideraciones a la utilización agronómica de los lodos residuales y otros residuos como las aguas residuales de almazara. La ley N°574 permite la utilización agronómica de estos subproductos en el suelo siempre y cuando se tengan en cuenta la composición y características de este. Dicha utilización debe ser autorizada siempre por la autoridad pública competente mediante la mera presentación de documentación, aunque quedará sujeta a posibles limitaciones, comprobaciones y sanciones que permitan evitar el desarrollo de actividades fraudulentas que contaminen las capas freáticas (MORE, 2008). Esta ley permitió la **aplicación directa de aguas residuales de almazara** sin la necesidad de un tratamiento previo (Kapellakis et al., 2008). La ley 574/96 establece los siguientes aspectos técnicos (MORE, 2008; RES-HUI, 2006):

1. límite de tolerancia máximo para suelos: 50 m<sup>3</sup>/ha/año para las aguas residuales de almazara (aguas residuales de aceite de oliva) generadas en instalaciones tradicionales (sistemas de extracción discontinua); 80 m<sup>3</sup>/ha/año para el alpechín generado por extracción centrífuga (sistemas de extracción continua);
2. posibilidad de que el alcalde de cualquier municipio modifique dichos límites o suspenda la fertirrigación en caso de riesgo medioambiental;
3. envío del informe agronómico al municipio con una antelación mínima de 30 días antes de las actividades de esparcimiento. El informe debe redactarlo un técnico experto y abordar aspectos específicos como por ejemplo las características del suelo y el tiempo y método de esparcimiento;
4. esparcimiento uniforme para evitar que esparce para evitar el escurrimiento superficial;
5. está prohibido esparcir alpechín en:
  - tierras que estén a menos de trescientos metros de áreas de conservación para la recogida de agua destinada al consumo humano;
  - tierras que estén a menos de 200 metros de zonas habitadas;
  - tierras cultivadas con cosechas vegetales;
  - tierras en las que las capas freáticas estén a una profundidad inferior a los 10 metros;
  - tierras congeladas, cubiertas por nieve, inundados o saturados con agua.
6. Almacenamiento de residuos en la almazara en un periodo inferior a 30 días (límite prolongado a 3 meses – D Lgs 22/1997)

El **Decreto del 6 de julio de 2005**, "*Criterios y reglas técnicas relacionadas con la normativa regional para la utilización agronómica de las aguas residuales y otros residuos de almazara*", que hace referencia al artículo N°38 del Decreto N°152 con fecha 11 de mayo de 1999, incorpora nuevas excepciones (RES-HUI, 2006):

- Distancia <10m de las riberas de los ríos
- Distancia <10 m de las aguas de los lagos o zonas arenosas
- Terrenos con una pendiente >15% y con propiedades agrícolas e hidráulicas deficientes
- Bosques



- Jardines y zonas públicas
- Canteras

Además, el mismo Decreto prohíbe mezclar el agua residual de aceite de oliva con otras aguas residuales (por ejemplo, purines) o desechos. Por último, el agua de almazara mezclada con fragmentos del hueso y partes fibrosas de la fruta puede utilizarse en la agricultura y no queda sujeta a la Ley de Fertilizantes N° 748.

Según la **Ley N° 574 de 1996**, los orujos húmedos pueden utilizarse como enmienda del suelo a pesar de las indicaciones incluidas en la **Ley italiana N° 748 de 1984** en materia de fertilizantes las modificaciones subsiguientes como el **Decreto legislativo N° 217 del 29 de abril de 2006 "Revisión de la normativa sobre la utilización de fertilizantes"**. Este último indica que los **orujos húmedos** pueden considerarse como una "*enmienda vegetal no compostada sencilla*" y por tanto se permite su aplicación en suelos sin ningún tipo de limitación específica siempre y cuando cumplan con los límites que el decreto establece para determinados parámetros específicos como por ejemplo la humedad, el pH, el carbón orgánico, el nitrógeno orgánico, Cu total referido a la materia seca, Zn total referido a la materia seca, contenido total de turba y otros contenidos en metales pesados.

Tanto la **D.M. 05/02/1998** como la **D. Lgs N. 22/97** permiten la comercialización en el mercado de los subproductos procedentes del prensado de aceite de oliva. El mismo decreto especifica que el orujo no es un residuo peligroso y que puede utilizarse en el sector de la energía, tal y como se establece en el DPCM 08/10/2004 (MORE, 2008; RES-HUI, 2006). Por último, el vertido de aguas residuales de cualquier tipo, entre las que se incluyen las de almazara, en el sistema de alcantarillado o en masas de agua superficial (ríos, lagos, etc.), queda regulado en el Decreto 152/2006. Los umbrales específicos que fija el Decreto para todos los parámetros que deben cumplirse en las tareas de vertido, se incluyen en la Tabla 3 del Anexo 5 de dicho Decreto. Los VLE tienen carácter nacional (IPPB BREF, 2006b).

### 2.2.2 España

Tras la introducción de los procesos trifásicos en la década de los 70, surgió un problema significativo de contaminación de las aguas superficiales debido a la presencia de grandes cantidades de aguas residuales de almazara. En 1981 el gobierno español adoptó un marco legal que, por un lado, prohibía el vertido de aguas residuales de almazara no tratadas en los ríos y, por, otro financiaba la construcción de aproximadamente 1000 balsas de almacenamiento durante los períodos de molienda con el objetivo de conseguir la evaporación de las aguas durante los calurosos veranos andaluces (Kapellakis et al., 2008). Estas iniciativas tuvieron como resultado la mejora de la calidad de las aguas en los ríos y arroyos de la zona. Tanto en 1991 como en 1992 se pasó del sistema trifásico al bifásico, con lo que se redujeron los vertidos de aguas residuales. En la actualidad, más de un 90% de las almazaras utilizan sistemas bifásicos (Kapellakis et al., 2008).

En España existe un decreto ministerial que regula las operaciones de valorización y vertido de residuos, y se dispone asimismo de la lista europea de residuos. (O.M. MIMAM 304/2002, 19 de febrero de 2002, actividades de valorización y eliminación de



desechos). La legislación española no suele considerar peligrosos los residuos generados por procesos bifásicos y las aguas residuales de las almazaras. Este tipo de residuos se califican como productos secundarios que pueden ponerse en valor para evitar la contaminación del suelo o del agua. Sin embargo, las almazaras producen otros residuos considerados peligrosos, como por ejemplo: aceites para motores, compuestos de lubricación, partículas de calderas, sustancias químicas rechazadas, tubos fluorescentes y otros residuos que contienen mercurio, etc.

Recientemente la Junta de Andalucía ha publicado el **Decreto 4/2011** para regular la utilización de **aguas residuales** generadas en almazaras como enmienda de tierras agrícolas. En particular, el Artículo 7 especifica que:

- El volumen de efluentes que puede aplicarse en parcelas agrícolas no puede superar la cantidad de 50 m<sup>3</sup>/ha/año.
- Las aplicaciones deben diseñarse de tal forma que no provoquen escurrimiento superficial, lixiviación o lesiones invasivas en la capa freática del suelo.
- La aplicación sobre el terreno de los efluentes se hará respetando las siguientes áreas de exclusión:
  - Las situadas a menos de 500 metros con respecto a núcleos urbanos.
  - La zona de policía de 100 metros respecto al Dominio Público Hidráulico, definida en el artículo 6.2.b) del Reglamento de Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.
  - La zona de servidumbre de protección de 100 metros respecto al Dominio Público Marítimo Terrestre, definido en el artículo 23.1 de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.

La legislación española también regula determinados aspectos relacionados con las operaciones en las almazaras y en las plantas de tratamiento de aguas residuales. En general, las aguas residuales se envían a balsas donde se evaporan o infiltran en el suelo mediante las prácticas de riego. Sin embargo, las aguas residuales pueden afectar a la red hidráulica pública, por lo que la legislación española emitió la **Ley 46/1999** el 13 de diciembre de 1999 que modificaba la anterior **Ley 29/1985**, del 2 de agosto. La nueva ley establecía la obligatoriedad de que los explotadores de las almazaras dispusiesen de autorizaciones específicas para cada una de las actividades de captación de aguas continentales, tanto superficiales como subterráneas. Igualmente, se exigía una autorización para todas las actividades de vertido que pudieran provocar la contaminación o degradación del dominio público hidráulico. Dicha autorización podía implicar la necesidad de realizar estudios medioambientales, hidrogeológicos o de planificación hidrológica, así como la solicitud de cualquier tipo de documentación que se considerase oportuna. Existen determinados parámetros del agua residual que deben tenerse en cuenta a la hora de seleccionar el mejor tratamiento para su depuración. En la actualidad, España prohíbe el vertido de aguas residuales de almazara a la red hidráulica. El **Real Decreto 849/86** del 11 de abril de 1986, que lleva por título “*Reglamento del Dominio Público Hidráulico*”, especifica en el Anexo al título IV una serie de límites de emisión que dependen tanto del grado como de la eficacia del tratamiento aplicado a las aguas residuales. Los Valores de Límite de Emisión (VLE) se establecen a nivel nacional (IPPB BREF, 2006b). El **Real Decreto 258/1989** del 10 de marzo de 1989, que regula los vertidos de aguas residuales al mar tanto de forma directa



como indirecta, establece que los límites de emisión se establecerán de forma específica para cada una de las instalaciones industriales.

### 2.2.3 Grecia

Grecia no dispone de regulaciones específicas con respecto a la descarga de aguas residuales de almazara. Los principios más importantes para la gestión de las aguas residuales de almazara se basan en la **Ley 1650/86 "para la protección del ambiente"** según la cual los propietarios de las almazaras están obligados a entregar un estudio de evaluación del impacto ambiental. La actualización de la circular YM/5784/23-1-1992 (No 4419/23-10-1992) hace mención a los problemas provocados por la eliminación de las aguas residuales de almazara, así como a la necesidad de un tratamiento eficaz previo y a la adopción de medidas que permitan evitar el vertido de residuos a los recursos acuíferos. La situación legislativa actual en Grecia (Leyes 1650/86 y 3010/2002) no permite que se apliquen residuos de almazara no tratados sobre la superficie del suelo.

Cada una de las prefecturas es responsable de adoptar las prácticas de gestión de aguas residuales de almazara adecuadas que permitan el desarrollo de distintas fórmulas de gestión de residuos. Por ejemplo, la prefectura de Messinia fundamenta la gestión de aguas residuales de almazara en la modificación del sistema de decantación trifásico en uno bifásico. Hasta hace pocas fechas, la prefectura de Lesvos permitía la descarga de aguas residuales de almazara no tratadas en los ecosistemas acuáticos. La prefectura de Iraklio, por su parte, prohíbe expresamente el vertido de residuos en el entorno acuático (Kapellakis et al., 2008).

Los valores límite para las aguas residuales no los fija la administración nacional, sino la mayor parte de las prefecturas regionales (IPPC BREF, 2006b). Los límites se aplican a cualquier tipo de vertido, incluidos los de la industria alimentaria (IPPC BREF, 2006b; ECOIL, 2005). Sin embargo, los valores en la Tabla 11 fijados por la Ley 1180/1981 se consideran valores de referencia, sobre todo en el caso de las emisiones asociadas a la producción y tratamiento de aceite (sector industrial: "producción y procesado de aceites y grasas vegetales/animales"). Cabe reseñar que los valores límite definitivos para los vertidos al agua los establecen las autoridades regionales de acuerdo con la ubicación concreta del curso de agua (ECOIL, 2005).

**Tabla 11:** Valores límite de las aguas residuales generadas por la industria alimentaria en Grecia

Contaminante	Valor límite - máximo diario (kg/tonelada de producto)	Valor límite – media mensual (kg/tonelada de producto)
<b>DBO</b>	4,0	2,0
<b>DQO</b>	6,0	3,0
<b>Sólidos suspendidos</b>	5,0	2,0
<b>Aceites</b>	1,0	0,5

Por último, la reciente **Decisión Ministerial Conjunta (KYA) 145116/2011** regula la reutilización de aguas residuales tratadas para diversos usos, entre los que se incluye el riego en tierras cultivables. El requisito mínimo es la utilización de unidades de desinfección y tratamiento biológico.



## 2.2.4 Valores de límite de emisión para los vertidos en aguas superficiales y en la red de alcantarillado

En la siguiente Tabla 15 se muestran algunos valores de los límites de emisión relevantes establecidos para los vertidos en aguas superficiales y en las redes de alcantarillado de Italia, Grecia, España y Portugal. Dichos valores vienen marcados por la normativa nacional de cada uno de estos países y pueden consultarse en la bibliografía disponible (IPPC BREF, 2006b; IMPEL, 2003). Los valores para Grecia son los establecidos en Salónica y Atenas, tal y como se especifica en **ΦΕΚ 582/B/2-07-79** y **ΦΕΚ 82/B/94**. Otras regiones del país heleno pueden aplicar valores distintos.

**Tabla 15:** VLE para vertidos en aguas superficiales y redes de alcantarillado (entre paréntesis) en Italia, Grecia, España y Portugal

Parámetro	Italia	Grecia	España	Portugal
pH	5,5-9,5 (5,5-9,5)	6-9 (6-9,5)	5,5-9,5	6-9
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	40 (250)	15-60 (250-500)	40-300	40
DQO (mg/l)	160 (500)	45-180 (1000)	160-500	150
TSS (mg/l)	80 (200)	25-1000 (500-3000)	30-300	60
Aceite/grasa (mg/l)	20 (40)	5-40 (40-100)	20-40	15
Fenoles (mg/l)	0,5 (1)	0,005-0,5 (5-10)	0,5-1	0,5
Total P (mg/l)	10 (10)	0,2-10 (10)	10-20	10
Total N (mg/l)	15 (30)	10-15 (25)	15-50	15
Cl libre (mg/l)	0,2 (0,3)	0,4-1 (5)	0,5	0,5
Nitratos (mg/l)	20 (30)	4-50 (20)	10-20	50
Nitritos (mg/l)	0,6 (0,6)	1-3 (4)	-	-

## 3 Recomendaciones legislativas para el tratamiento de los residuos de almazara

### 3.1 Propuestas de normativa legal

Tras el análisis de los capítulos anteriores, presentamos las siguientes propuestas normativas:

- El vertido de aguas residuales y residuos no tratados al medio ambiente debería estar terminantemente prohibido



- Es necesario tratar las aguas residuales y residuos, independientemente de su grado de peligrosidad, antes de realizar su vertido en aguas superficiales o en los terrenos. Igualmente, deben definirse los valores de límites de emisión, especialmente en aquellos casos de esparcimiento en tierra para los que no exista normativa vigente (algunos países cuentan con dosis máximas permitidas de aplicación).
- Los residuos del aceite de oliva son potencialmente peligrosos, por lo que la normativa debería establecer límites legales, especialmente en el caso de los fenoles, que dejen claro qué residuos se consideran peligrosos y cuáles no. Convendría centrarse en la categorización H14 (ecotóxico) y en los límites, así como en la creación de pruebas y medidas de vigilancia para los medios receptores, como por ejemplo las aguas superficiales y los suelos.
- El acto legislativo debe especificar claramente la necesidad de analizar los residuos para determinar sus características fisicoquímicas, incluyendo prácticas como por ejemplo los ensayos vegetativos, pruebas de germinación, pruebas de fitotoxicidad, pruebas de crecimiento, etc. Esto se hará con el objetivo de comprobar su posible toxicidad y la relación de ésta con el desarrollo de la planta y del medio ambiente en general. En este punto podrían introducirse los procedimientos analíticos y de muestreo armonizado para toda la UE.
- Debe establecerse una categorización de las industrias productivas de acuerdo con su capacidad de producción y/o generación de residuos para de esta forma conformar medidas específicas de gestión de residuos, como por ejemplo la instalación de unidades de gestión de aguas residuales y residuos dentro del complejo productivo, o la creación de planes de recogida en el caso de los centros productivos más pequeños.
- En caso de disponer de balsas de evaporación, el requisito mínimo debe ser la utilización de capas protectoras (diseño de balsas de evaporación).
- Al ser el esparcimiento en tierra una práctica común de bajo coste, sobre todo en el caso de las unidades de producción pequeñas, es necesario desarrollar normativas concretas. Para un análisis adicional sobre esta materia, consulte los Capítulos 2.1.1 (subproductos), 2.3.4 (esparcimiento en tierra) y 4.2.4 (suelos).
- En el caso del esparcimiento en tierra y suponiendo que las aguas residuales y los residuos cumplan con los requisitos de la normativa vigente, el agua de las almazaras podría considerarse fertilizante. En tal caso, la estimación de dosis anual debería ajustarse a las normas generales de fertilización de suelos, las cuales tienen en cuenta las propiedades de la tierra y la finalidad del uso.
- En cuanto a la reutilización de las aguas residuales tratadas para el regadío de las parcelas agrícolas, deben desarrollarse directrices de aplicación que ofrezcan un nivel de protección sanitaria y medioambiental homogéneo
- Si los subproductos del aceite de oliva se consideran un residuo, la normativa nacional debería permitir que los residuos generados por las almazaras pequeñas se consideren residuos municipales
- La Comisión de la CE debe proporcionar especificaciones técnicas de conformidad con el artículo 5 de la Directiva 2008/98, la cual hace referencia a las condiciones de utilización de los residuos del aceite de oliva como un subproducto, independientemente de su valor económico y de la posible necesidad de una fase de secado y/o eliminación





- Las leyes nacionales deben adaptarse a este nuevo concepto de subproducto, especialmente en lo que respecta a su valorización económica (como en el caso de la normativa italiana)
- Las normativas deben tomar en cuenta (a) la utilización de la tierra (agricultura, productos alimenticios, productos no comestibles, zona residencial/jardines, comercial e industrial), (b) el tipo de suelo y (c) el período de reutilización.
- Las aguas de almazara normalmente se vierten en pequeñas cuencas de captación (<math><10\text{ km}^2</math>) que no quedan recogidas en la directiva marco sobre el agua 2000/60/CE. Por lo tanto, es necesario incluir los pequeños cursos de agua en los planes de evaluación y vigilancia porque, como se ha visto, dichos cursos contribuyen a la carga de contaminación de las cuencas hidrográficas.
- La Directiva de la UE debe fijar las NCA de la misma forma que se hace con las masas de agua recogiendo, como requisito mínimo, la necesidad de considerar el tipo de suelo. Los umbrales para la concentración de sustancias contaminantes (como los fenoles) en el suelo deben fijarse en valores que reflejen las concentraciones de fondo máximo en el suelo presentes en los suelos naturales que permanecen intactos.
- La normativa nacional, como en los casos de Italia y España, debe establecer los VLE y, como en el caso de Grecia, las regulaciones regionales han de tener en cuenta las condiciones locales.
- Deben introducirse normativas nacionales más favorables que permitan que las instalaciones que generan energía a partir de biomasa, sobre todo las más pequeñas, puedan obtener los permisos de una forma más fácil

### 3.2 Propuestas de normativa de cumplimiento voluntario

- Promoción de un cambio tecnológico a un proceso bifásico de extracción de aceite de oliva que permita minimizar los residuos y las aguas residuales. La utilización de un sistema bifásico permite reducir el consumo de agua dulce así como eliminar los caudales de aguas residuales.
- Sería recomendable introducir leyes que permitan expresamente a los municipios construir instalaciones destinadas a ampliar sus servicios públicos. Igualmente, sería interesante llegar a acuerdos regionales con las almazaras y otras partes involucradas, a fin de proporcionar biomasa para la generación de energía y otros usos alternativos
- La ley nacional debería establecer de forma explícita que, en ausencia de la iniciativa privada necesaria, los municipios están capacitados para construir dichas instalaciones y operarlas dentro del marco de los servicios públicos que ofrecen
- La normativa sobre prevención y reducción integrada de la contaminación, documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en las industrias de la alimentación, las bebidas y la leche, en su capítulo sobre la industria del aceite de oliva, debería adaptarse para incluir las últimas novedades del sector en gestión de residuos. De la misma manera, los países interesados deberían preparar los documentos nacionales de referencia MTD (DRMTD) a fin de incluir todas las unidades industriales (tanto las relacionadas con la prevención y el control integrados de la contaminación como las que no lo están)



- Promoción de la instalación de sistemas de tratamiento centralizados/comunes (ver más abajo)

Gracias a la utilización de datos de una cuenca griega y de las herramientas adecuadas, se ha llegado a la conclusión de que existen soluciones viables que permiten prácticas de gestión centralizada y descentralizada. Se analizaron dos planes alternativos (Kapellakis et al., 2006):

- Un plan centralizado por el que se recogían y enviaban aguas residuales de almazaras a plantas de tratamiento centralizado. Este plan se basaba en la recogida de aguas a través de una red de tuberías, su tratamiento en plantas convencionales centralizadas, y la reutilización de todas las aguas residuales de almazara recuperadas en actividades de regadío. El coste de las plantas de tratamiento centralizado sería muy elevado, y existen incertidumbres con respecto a la posibilidad de amortización. El hecho de que las almazaras se encuentren geográficamente dispersas y de que operen de forma estacional, sobre todo las más pequeñas, constituye una limitación en términos de mantenimiento, tanto para las instalaciones de tratamiento como para la red de tuberías.
- Un plan descentralizado basado en un tratamiento *in-situ* de las aguas residuales de almazara. Este plan se basa en el empleo de sistemas de tratamiento natural, como por ejemplo humedales artificiales y sistemas lentos de recolección, tratamiento y reutilización de las aguas residuales de almazara generadas. En comparación con las tecnologías convencionales, los sistemas de tratamiento natural representan un método de tratamiento más rentable que necesita amplias extensiones de terreno. Todos los efluentes de aguas residuales generadas en el entorno de la almazara se recogerían y tratarían en la misma instalación, por lo que el tratamiento se efectuaría en distintas plantas pequeñas. Para que esto sea posible es necesario que todos los pueblos donde existe una almazara cuenten con una planta de este tipo.

El plan de plantas de tratamiento centralizado también se ha propuesto para Creta, Grecia (JHACE, 2012). Las ventajas de este sistema son las siguientes:

- Un control más efectivo de la calidad de los efluentes, ya que el control lo efectúa personal especializado y la supervisión la ejercen organismos centrales
- Procedimientos de vigilancia simplificados por las razones ya argumentadas y siempre que el número de unidades centralizadas sea pequeño
- Simplificación del mantenimiento, reparación y sustitución de equipos en las unidades centralizadas
- Desarrollo sostenible del sistema de gestión ya que la inversión y los costes operacionales se distribuyen entre las unidades de producción de aceite de oliva interconectadas

Por último, una ventaja significativa de un sistema centralizado de tratamiento de aguas residuales es la posibilidad de reutilizarlas para el regadío. Este aspecto es de vital importancia, especialmente en los países mediterráneos donde la escasez de agua es una realidad y constituye un grave problema que deberá abordarse en los





próximos años. Para consultar la normativa de la UE, vaya al Capítulo 2.2.2 "*Reutilización de las aguas residuales*".

## 4 Protección del suelo

### 4.1 Introducción

Tras examinar las diferentes opciones, la Comisión propone una Directiva Marco como la mejor forma de asegurar un enfoque integrado que garantice la protección del suelo a la vez que un respeto pleno de la subsidiariedad. Se solicitará de los Estados Miembro que adopten medidas específicas para abordar las amenazas que afectan al suelo, aunque la Directiva les dará un amplio margen en la aplicación de este requisito. Así pues, se deja a la discreción de los Estados Miembro la aceptabilidad del riesgo, el nivel de ambición de los objetivos definidos y la opción de las medidas para alcanzarlos. Según la Directiva, algunas amenazas, como la erosión, la pérdida de materia orgánica y la contaminación, se producen en zonas de riesgo específicas que han de ser identificadas. Igualmente, la Directiva considera que la gestión de las zonas con contaminación debe ajustarse a los siguientes requisitos:

- Identificación y registro de las zonas contaminadas
- Establecimiento de una estrategia nacional de recuperación
- Prevención de la contaminación a través de un requisito que limite la introducción de sustancias peligrosas en el suelo

Para garantizar el cumplimiento de estos requisitos:

- Se propone un conjunto de recomendaciones adecuadas que han de integrarse en los marcos normativos nacionales y/o europeos. Las recomendaciones emanan directamente de los resultados del proyecto PROSODOL y de las acciones de vigilancia de suelos llevadas a cabo en las zonas de vertido de los residuos de almazaras. El cumplimiento con estas recomendaciones se estima necesario para garantizar la protección de un suelo de calidad. Se considera que su incorporación como obligación de los estados miembro en el marco normativo de la CE y/o de los estados miembros en la cuenca mediterránea, asegurará una vigilancia efectiva de las zonas de vertido legal e ilegal que facilitará a su vez una gestión sostenible de dichas zonas.
- Se presenta un conjunto de normas técnicas que podrían utilizarse como mejores técnicas disponibles para la vigilancia del suelo y la mejora de la calidad del suelo, o bien como anexos en actos legislativos y directivas futuras que ayuden a las autoridades gubernamentales, regionales, locales y nacionales a implantar estrategias para la vigilancia, protección y mejora de la calidad del suelo en las zonas de vertido de los residuos de las almazaras.

### 4.2 Propuestas de normativa legal

En todos los países europeos mediterráneos, independientemente de que dispongan de leyes específicas, se prohíbe el vertido incontrolado de los residuos de las almazaras. Es decir, antes de poder verterlos, es necesario que los residuos se sometan a un tratamiento previo tal y como establecen las directrices descritas en los marcos



normativos nacionales. En los casos en los que no exista marco normativo, el requisito mínimo exigible podría ser el tratamiento de los residuos con cal para aumentar el pH y reducir la carga orgánica y los sólidos totales. Aunque la descripción de tecnologías de pre-tratamiento no es uno de los objetivos de este documento, se realizó un estudio extenso dentro del marco del proyecto LIFE05 ENV/GR/000245. Este estudio, que tiene por título "*Tecnologías respetuosas con el medio ambiente para el desarrollo rural-ENVIFriendly*", puede encontrarse en el trabajo de Nikolaidis et al. (2008).

Se propone la inclusión de las seis medidas siguientes en el marco normativo europeo así como en los marcos nacionales de los estados miembros de la cuenca mediterránea productores de aceite de oliva:

- 1) Registro de las zonas de vertido de los residuos de las almazaras
- 2) Caracterización de las zonas de vertido - evaluación de riesgos
- 3) Evaluación del riesgo
- 4) Establecimiento de las condiciones para el vertido de las aguas residuales de almazara en el suelo
- 5) Adopción de indicadores de calidad del suelo
- 6) Monitorización de los indicadores del suelo - evaluación de los resultados

#### **4.2.1 Registro de las zonas de vertido de los residuos de almazara**

Cada país debe identificar en su territorio las zonas de vertido de los residuos de las almazaras y registrarlas en un inventario nacional que contenga todas las zonas de vertido certificadas y el mayor número posible de las no certificadas. El primer paso es la creación de inventarios locales cuya responsabilidad sea de las autoridades regionales y locales. Posteriormente, dichos inventarios se integrarán en un inventario nacional gestionado por los organismos gubernamentales pertinentes. Se recomienda firmemente el establecimiento de bases de datos digitales y el levantamiento de mapas de las zonas de vertido usando sistemas de información geográfica.

#### **4.2.2 Caracterización de las zonas de vertido - evaluación de riesgos**

El segundo paso consiste en que las autoridades locales y gubernamentales realicen una caracterización completa y detallada de las zonas de vertido, así como estudios de evaluación del riesgo.

Las áreas de vertido de los residuos de almazara registradas incluirán información sobre su ubicación, hidrogeología, fisiografía, geomorfología, utilización del suelo, textura, estructura del suelo, permeabilidad al agua, coeficiente de conductividad hidráulica (saturada o no saturada), porosidad, presencia y profundidad de capas de suelo impermeable. Adicionalmente, los datos recabados pueden incluir la historia del sitio, la posible extensión y los tipos de contaminantes, el régimen hidrogeológico e hidrológico para la zona más amplia, el comportamiento y la presencia conocida/anticipada de receptores, muestras de suelo y de aguas subterráneas, una comparación con los estándares de calidad o los valores de referencia, modelos específicos del emplazamiento con información sobre el destino, transporte y exposición y comparación con los valores toxicológicos, así como otros parámetros que pudieran considerarse necesarios para una caracterización completa de la zona. Dicha caracterización permitirá la realización de un estudio de evaluación del riesgo de la zona



y la identificación de los emplazamientos con un mayor nivel de riesgo para el medio ambiente y la salud de las personas.

Para que exista un riesgo debe haber una *fuentes* (o peligro o presión), una *vía* y un *receptor* (u objetivo). Esta es la base del modelo conceptual de gestión medioambiental *Fuente-Vía-Receptor*. Un modelo conceptual también proporciona información útil para el alcance de cualquier investigación ya que identifica los emplazamientos que presentan un mayor riesgo para las personas y para el medio ambiente, e identifica las conexiones *Fuente-Vía-Receptor* más peligrosas (Daly, 2004). Por tanto, la información detallada obtenida con esta evaluación ayudará a determinar el alcance de las medidas necesarias para gestionar el riesgo, que en algunos casos puede suponer la rotura de la vía, la eliminación de la fuente, o la vigilancia del receptor.

A título indicativo, un estudio de evaluación del riesgo podría comprender:

1. Una investigación preliminar (estudio teórico, reconocimiento de la zona y en determinadas ocasiones una investigación exploratoria limitada). El objetivo de esta etapa preliminar es valorar si se han producido actividades potencialmente contaminantes en el emplazamiento, eliminar sospechas sobre una contaminación del suelo y/o agua y, en algunos casos, confirmar la existencia de contaminación. En resumen, esta fase se centra en la identificación de peligros.
2. Investigación detallada. Los objetivos de la fase de investigación del emplazamiento principal son (a) definir el alcance y grado de la contaminación, (b) valorar los riesgos asociados a los receptores y peligros identificados y (c) determinar la necesidad de recuperación a fin de reducir o eliminar los riesgos para los receptores contaminados o actuales.
3. Investigaciones de viabilidad o complementarias para definir mejor la necesidad y el tipo de acciones de recuperación o vigilancia. El objetivo puede ser evaluar la viabilidad de varias técnicas de recuperación, entre las que se incluye una caracterización química y física más detallada de los suelos, así como un análisis de laboratorio para determinar la tratabilidad de las aguas subterráneas y los suelos. Las investigaciones complementarias también pueden diseñarse para mejorar el conocimiento de la naturaleza y del alcance y comportamiento de las sustancias contaminantes.

Dicho esto, la evaluación del riesgo no ha de limitarse a los elementos tóxicos, como por ejemplo los polifenoles, que pueden suponer un riesgo para la salud de las personas y de los animales, sino que debe tener en cuenta la posible degradación progresiva del suelo provocada por la presencia en los residuos de almazara de otros elementos menos peligrosos e incluso inertes como los nutrientes y los elementos inorgánicos de los residuos.

#### **4.2.3 Establecimiento de las condiciones para el vertido de las aguas residuales de almazara en el suelo**

Es muy probable que aunque algunas zonas presenten un riesgo de degradación/contaminación bajo o incluso inexistente, las características específicas de su suelo provoquen una negativa a autorizar el vertido de residuos de almazara. Para asegurar un vertido seguro de los residuos de almazara, los datos sobre el suelo y el



terreno deben analizarse teniendo en cuenta las prácticas de gestión y las condiciones bioclimáticas. En último extremo, el objetivo debe ser aplicar o verter los residuos de almazara en el terreno de tal forma que el suelo filtre los posibles elementos tóxicos de manera eficaz, o que los descomponga o absorba electroquímicamente para que una solución limpia pase a través del perfil del suelo. El suelo no debe sobrecargarse con elementos inorgánicos y es necesario que mantenga todas sus funciones y capacidad de absorción a fin de asegurar la sostenibilidad del sistema.

Sugerimos que la decisión de la distribución en los terrenos se fundamente en los criterios de idoneidad apropiados, como los que se presentan en la Tabla 17, en la cual se definen dos tipos de idoneidad: (S para la idoneidad y N para la no idoneidad) y cinco clases de idoneidad dependiendo del grado de sus limitaciones (S1 para las limitaciones leves, S2 para las moderadas y S3 para las severas; N1 para una no idoneidad temporal de la aplicación de residuos y N2 para una no idoneidad permanentemente (Sociedad Estadounidense de la Ciencia del Suelo, 1986; MAFF, Ministerio de Ambiente, 1989; Theocharopoulos et al, 1998).

**Tabla 17:** Criterios de idoneidad para el vertido de los residuos de almazaras en los terrenos

Propiedad	S1	S2	S3	N1	N2
Inundación	nunca	raramente	a menudo	siempre	Igual que N1
Profundidad al lecho de roca, cm	>300	>180	100-180	<100	<50
Profundidad a la capa impermeable, cm	>200	>180	100-180	<100	<50
Cobertura con agua	nunca	nunca	raramente	a menudo	siempre
Nivel de las aguas subterráneas, cm	>300	>180	100-180	<100	<50
Tasa de infiltración, cm/h 30-150cm	2,0-6,5	0,5-6,5	0,5<,>6,5	0,5<,>6,5	Igual que N1
Pendiente, %	<3	3-8	8-12	>12	>15
Piedras, % (>7,5 cm)	<20	<35	>35		
Textura	Todo menos CL, SC, SiCL, SiC, C, L, S o con gravas	Todo menos SiC, C, L, S o con gravas	Todo menos C o con gravas	Arcillas (vertisoles), muy arenosos	Igual que N1
Estructura	angular granular - bloque	bloque o prismático	Laminar masivo compacto	vertic	Igual que N1
SAR	<12	<12	>12		
pH	7,3-8,4	6,6-7,3	5,6-6,5	<5,6	Igual que N1
EC, mmhos/cm	<4	<8	<16	16-40	>40
CEC, meq/100g	>16	8-16	<8	<8	
Sales, %	<0,09	0,09-0,16	0,16-0,26	>0,41	



Teniendo en cuenta las propiedades específicas de los suelos en las zonas de vertido, las particularidades locales y las limitaciones de la Tabla 17, deben seguirse los siguientes pasos para una adopción y aplicación segura de los residuos de almazara.

*Paso 1: Definición de suelos adecuados e inadecuados para el vertido de residuos de almazara*

Las características químicas y/o físicas permanentes de los suelos deben analizarse para determinar la conveniencia de que en dichos suelos se apliquen, distribuyan o viertan residuos de almazara (Tabla 17). Además, antes de adoptar la decisión final y de modo complementario a los parámetros de la Tabla 17, debe evaluarse la presencia de condiciones tóxicas en el suelo mediante la utilización de métodos estándar que permitan determinar (a) la nitrificación y mineralización de nitrógeno en los suelos y la influencia de las sustancias químicas en estos procesos (ISO 14238:1997); (b) los efectos sobre las lombrices de tierra (ISO 11268-1:1993); (c) la toxicidad crónica en las plantas superiores (ISO 22030:2005); y (d) la biomasa del suelo o respiración del suelo (ISO 14240-1:1997). La selección de estos métodos estándar debe basarse en varios factores, como por ejemplo la calidad actual del suelo, la utilización pasada, presente y futura de la zona, la cantidad de residuos generados, así como el nivel de tratamiento. Los residuos de almazara deben analizarse en función de la DBO<sub>5</sub>, DQO<sub>5</sub>, pH, sólidos totales, total de sólidos en suspensión, total de sólidos volátiles, cenizas, total de carbón orgánico, nitrógeno total, fósforo total, conductividad eléctrica, azúcares totales, grasas y aceites, fenoles totales, potasio, sodio, calcio, magnesio, azufre total, cloro total, hierro, manganeso, zinc, cobre, níquel, cromo y molibdeno.

*Paso 2: Estimación de la cantidad máxima permitida de residuos de almazara*

Los suelos cuyas características permiten la aplicación de residuos de almazara deben estudiarse con más profundidad para definir la **cantidad máxima permitida** (o cantidad máxima que pueden asimilar) de residuos de almazara. Para ello se tendrán en cuenta las propiedades fisicoquímicas y la composición de los residuos de almazara, y se establecerán límites de aplicación legales en base a dichas propiedades. Teniendo en cuenta que no existe ninguna norma o directiva en la CE, la estimación de la tasa anual de aplicación de residuos de almazara debe establecerse en función de los niveles máximos permitidos de elementos potencialmente tóxicos, tal y como define la Comunidad Europea (Directiva del Consejo de Europa 86/278) para la aplicación de lodos residuales, y también en función de los umbrales marcados por la bibliografía existente, sobre todo la que aplica a los macro y micro nutrientes no tóxicos. El Capítulo 2.3 ofrece un análisis más detallado del esparcimiento en tierra, los fertilizantes y las enmiendas del suelo.

Con respecto a los metales pesados, la Directiva del Consejo de Europa establece límites para el Cd, Cu, Ni, Pb, Zn y Hg. En cuanto a los residuos de almazara, existe un riesgo potencial asociado a la presencia de Ni, Cr y Mo (proveniente de los componentes de acero de la maquinaria de la almazara) en los residuos de almazara (líquidos y sólidos). Sin embargo, no es de esperar que existan altas concentraciones de estos tres metales (ni de otros metales pesados) en los residuos de almazara, por lo que se considera improbable detectar cantidades de metales pesados que superen los límites legales fijados en la Directiva (vea restricción específica abajo). La Directiva tampoco menciona altas concentraciones de otros metales pesados cuya presencia es improbable en los residuos de almazara. En cualquier caso y tal como indica la Directiva, deben



establecerse valores límite para la concentración de metales pesados en el suelo antes de estimar la cantidad máxima permitida de residuos de almazara.

### *Paso 3: Estimación de la aplicación anual permitida de residuos de almazara*

Es necesario determinar la tasa anual de distribución y los períodos de aplicación de residuos, independientemente de que se vayan a distribuir las aguas residuales, los residuos sólidos de las almazaras (como por ejemplo los orujos secos, orujos húmedos y el *compost* de todos los subproductos de almazara) o los residuos generados por la operación de sistemas bifásicos. La tasa anual de distribución y los períodos de aplicación de residuos pueden determinarse teniendo en cuenta los niveles máximos permitidos de metales potencialmente tóxicos, tal y como establece la Comunidad Europea (Directiva del Consejo de Europa 86/278) para la aplicación de lodos residuales, y también en función de los umbrales marcados por la bibliografía existente, especialmente para los macro nutrientes no tóxicos (P, K, N) y para las formas disponibles de metales. La aplicación anual permitida debe fijarse tras evaluar la calidad del suelo y las condiciones medioambientales específicas del lugar. Como la mayor parte de los elementos que componen los residuos de almazara no son tóxicos y además se consideran nutrientes con un alto valor (N, P, K, materia orgánica, Fe, etc.), la aplicación de los residuos de almazara podría ser beneficiosa para la calidad del suelo y para la posible mejora de su fertilidad. Sin embargo y debido a la muy alta carga de residuos de almazara en estos elementos, el vertido en tierra debe ajustarse a restricciones y normas y es necesario que su aplicación anual tenga en cuenta los siguientes puntos:

- La concentración de los elementos/sustancias específicas en el suelo
- La concentración de los elementos/sustancias específicas en los residuos de almazara
- Las condiciones climáticas, geomorfológicas y ambientales específicas de la zona que pudieran afectar al comportamiento de estos elementos/sustancias en el suelo (lixiviación, absorción, descomposición, etc.)
- La cantidad máxima permitida de cada uno de estos elementos/sustancias que pueden verse en el suelo sin alterar su calidad

La distribución de residuos de almazara puede provocar un aumento significativo de los polifenoles en el contenido del suelo y, por tanto, se considera un factor que limita de forma significativa el uso agronómico de los residuos de almazara. Todos los estudios realizados han puesto de manifiesto que inmediatamente después de la aplicación de los residuos o tras unos pocos meses, se produce un aumento notable en el contenido de compuestos fenólicos en los suelos (Kavvadias et al., 2011). Sin embargo, un suelo sano es capaz de reducir la concentración de fenoles mediante procesos naturales de biodegradación (Mechri et al. 2008; Nikolaidis et al. 2008). Varios estudios demuestran que la toxicidad en los suelos abonados con residuos de almazara tiende a desaparecer pocos meses después de la aplicación. Dicho esto, es necesario tener en cuenta las características y el comportamiento de los polifenoles en el suelo al planificar la distribución en éste. En este punto cabe recordar que los fenoles no se desplazan de forma rápida por el perfil del suelo (Chartzoulakis et al., 2010), que su lixiviación es prácticamente nula en suelos ricos en materiales arcillosos y carbonatos, que pueden ser absorbidos por los componentes orgánico-minerales del suelo y que, por tanto, pueden detectarse en altas concentraciones incluso a profundidades de 125 cm (Sierra et al.,





2007) mientras que los niveles residuales de polifenoles en el suelo mantienen niveles significativos durante muchos años cuando los residuos aplicados no han recibido un tratamiento previo (Feria, 2000; Mekki et al., 2006). Aparte de los polifenoles, dos cuestiones que siempre deben preocupar son los bajos niveles de pH de los residuos de almazara y el impacto que un nivel bajo de acidez tiene sobre muchas de las propiedades biológicas y fisicoquímicas del suelo.

Con respecto al contenido en nutrientes, los residuos de almazara pueden considerarse material nutritivo (como los fertilizantes), por lo que la estimación de dosis anual debe ajustarse a las normas generales de fertilización de suelos, las cuales a su vez tienen en cuenta las propiedades del suelo y la finalidad de su uso.

En general, las alteraciones en la calidad del suelo pueden evaluarse midiendo los parámetros del suelo y comparándolos con las NCA en distintos intervalos de tiempo, para un uso específico y en un sistema-zona concreta. El mantenimiento de las NCA en valores aceptables asegura buenas condiciones en la salud del ecosistema del suelo. La peculiaridad del efecto de los residuos de almazara en los suelos es que, además de los polifenoles tóxicos, la mayor parte de los parámetros del suelo afectados de una forma más significativa están relacionados con los elementos inorgánicos, sobre todo los que corresponden a las propiedades del suelo asociadas a la fertilidad y no tanto a las sustancias contaminantes más clásicas, como por ejemplo los metales pesados. Por todo esto, no se han incluido en las leyes nacionales ni en las directivas de la UE. No obstante, en la bibliografía internacional pueden encontrarse límites generales ya que estas propiedades han sido ampliamente estudiadas durante muchos años.

Dada la complejidad de establecer límites y la singularidad de cada región o zona, tal vez sea más eficiente desarrollar directrices que ayuden a fijar límites en función de las condiciones medioambientales y del terreno concretas. Así, aunque puede concretarse una definición general de los umbrales de los parámetros del suelo tras buscar en la literatura internacional y en los marcos normativos nacionales y de la UE, debe destacarse que la definición de umbrales en cada una de las zonas sería más efectiva y representativa si se estableciese tras una evaluación de los datos recabados en las áreas de interés y de las características y valores locales de los parámetros del suelo obtenidos en las muestras de control representativas.

En el caso de los polifenoles, cuya evaluación de su concentración en el suelo se considera difícil y presenta un alto grado de incertidumbre, y debido a la falta de un umbral aceptado de forma general (ver también la recomendación en el párrafo 3.2 - propuesta nº3), se recomienda que los valores normales y de referencia sean umbrales específicos para una zona concreta y un emplazamiento determinado (Zhou, 1996; Swartjes, 1999; Sierra et al., 2001; Mekki et al., 2007; Di Serio et al., 2008; Kavvadias et al., 2010).

El general, los valores límite y la bibliografía correspondiente a la mayor parte de los elementos constituyentes del suelo se incluyen en las Tablas 1 y 2 del Anexo 1. Se propone que todos los Estados Miembro de la EU consideren estos valores y puedan adoptarlos como NCA.

#### *Paso 4: Período de aplicación de los residuos de almazara*

En el caso de los residuos sólidos o aguas residuales de almazara utilizadas para el esparcimiento en tierra, el período de aplicación debe definirse en base al índice de precipitación anual, la intensidad y distribución a lo largo del año, la temperatura, el

balance del agua, los procesos y propiedades del suelo, la actividad microbiana y la descomposición de los residuos de almazara. La filosofía básica aboga por la aplicación de los residuos de almazara durante los períodos en los que no se espera que las precipitaciones provoquen la lixiviación del agua en el suelo.

#### *Paso 5: Vigilancia del suelo*

El siguiente paso es vigilar periódicamente el impacto que los residuos de almazara tienen sobre el suelo, sobre las masas de agua y sobre el medio ambiente en las condiciones bioclimáticas específicas de la zona del Mediterráneo. Para ello se establecerá un programa de muestreo planificado y sistemático junto con una serie de pruebas eco-biotóxicas.

#### **4.2.4 Adopción de indicadores de calidad del suelo**

La vigilancia continua de una zona piloto en el marco del proyecto PROSODOL reveló que el vertido de residuos de almazara no afectaba a todos los parámetros medidos. De hecho, algunos de dichos parámetros permanecieron prácticamente inalterados o sufrieron cambios que no fueron significativos en comparación con las muestras de control de suelos utilizadas durante el análisis (por ejemplo, el Ca intercambiable). Por su parte, otros parámetros sí cambiaron pero sus valores se vieron modificados por otras variables de tipo ambiental, como por ejemplo las estaciones del año, por lo que su utilización como indicadores no se considera adecuada ( $Cl^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $NO_3^-$  y la actividad microbiana, entre otros). También hubo parámetros que sufrieron cambios significativos debido al vertido de residuos, pero estos cambios duraron muy poco tiempo una vez finalizados los vertidos. Hay que decir que estos casos las zonas quedaron bastante degradadas (por ejemplo N, B). Por último, algunos de los cambios significativos que afectaron a determinados parámetros guardaban una estrecha relación con el vertido de los residuos de almazara (por ejemplo la materia orgánica, el K intercambiable y el Fe disponible). La evaluación de los resultados obtenidos evidenció que como la degradación de los suelos en las zonas de vertido de los residuos de almazara también fue significativa en las zonas de vertido abandonadas o inactivas, los indicadores que se establezcan deberán tener en cuenta estos dos escenarios posibles, es decir, tanto las zonas de vertido activas como las abandonadas o inactivas.

Por tanto, para seleccionar los parámetros de suelo más adecuados, se tuvieron en cuenta cuatro características (relevancia, claridad, fiabilidad y accesibilidad de los datos), así como el porcentaje de muestras de suelo recogidas en todas las zonas de vertido (activas e inactivas durante muchos años) que mostraban valores altos en el caso de los parámetros medidos y comparados con las muestras de control. Los siguientes parámetros del suelo se proponen como indicadores de vigilancia de la calidad del suelo en las zonas de vertido de los residuos de almazara:

- Conductividad eléctrica,
- Materia orgánica,
- Nitrógeno total,
- Polifenoles totales,
- Fósforo disponible,
- Potasio intercambiable





- Hierro disponible, y
- pH del suelo (principalmente para los tipos de suelo ácido)

Todos estos parámetros del suelo se caracterizan por las cuatro características básicas que identifican a los indicadores de calidad (Adriaanse, 1993; OCDE, 1993):

- Relevancia: Todos los indicadores están relacionados con el vertido de residuos de almazara y sus valores dependen únicamente de la actividad de vertido, como se ha observado durante las campañas de muestreo de suelos en el proyecto PROSODOL, durante los análisis realizados en diversos muestreos de suelos (afectados y controlados) y durante las distintas estaciones del año.
- Claridad: Todos los indicadores son parámetros del suelo que se llevan utilizando durante muchos años para caracterizar los sistemas del suelo y, por tanto, resultan muy claros incluso para las personas que no son expertas.
- Fiabilidad: Los indicadores propuestos son fiables, tal y como han demostrado muchos análisis de suelos, las muestras periódicas tomadas en los emplazamientos donde están esos suelos y la evaluación de los datos.
- Accesibilidad de los datos: Los indicadores proporcionan información oportuna y, como ha demostrado la vigilancia de las zonas de vertido, un único vertido es suficiente para provocar un incremento de estos parámetros a valores muy superiores a los de las muestras de control. También se pone de manifiesto que durante las campañas de muestreo de los suelos en el proyecto PROSODOL, el análisis de estos parámetros ha permitido identificar algunos emplazamientos no estudiados y desconocidos como lugares donde se realizaban vertidos.

Todos los laboratorios de suelos del mundo realizan análisis diariamente para determinar el valor de los parámetros propuestos como indicadores de suelos, tal vez con la excepción del contenido de polifenoles en suelo. Sin embargo, el hecho de que se hayan desarrollado muchos y diversos métodos de análisis para la mayor parte de los parámetros del suelo, suele provocar que los resultados obtenidos por distintos laboratorios no sean comparables. Por esta razón, es necesario que los indicadores propuestos se basen en la utilización de métodos y procedimientos que garanticen unos resultados trazables, repetibles y precisos. La adopción de métodos y procedimientos estándar asegurará la precisión, repetitividad, comparabilidad y trazabilidad. El anexo 2 incluye recomendaciones para la determinación y evaluación de los indicadores propuestos en base a los métodos estándar.

#### **4.2.5 Monitorización de los indicadores del suelo y evaluación de los resultados obtenidos**

Debido a la sencillez y facilidad de su análisis, los indicadores de la calidad del suelo deben vigilarse una vez al año, preferiblemente antes de la distribución de los residuos de almazara, para lo cual será necesario realizar análisis químicos y muestras de suelo anuales dentro del marco de una estrategia de vigilancia bien definida que deberán seguir tanto los usuarios como los contaminadores de los terrenos. El muestreo y el tratamiento de las muestras de suelo en el laboratorio deben realizarse bajo la responsabilidad del propietario del terreno. Los resultados del análisis químico serán



evaluados por un experto (por ejemplo un agrónomo) y posteriormente se remitirá un informe técnico a las autoridades responsables. El informe deberá no sólo incluir la evaluación de los resultados de los análisis de residuos y del suelo, sino también una descripción detallada del plan de distribución de residuos (cantidad, tiempo, utilización de la maquinaria). Las autoridades encargadas de la recogida y evaluación de los resultados podrán ser locales o regionales, dependiendo de la decisión adoptada en última instancia por los Estados Miembro. Para la evaluación de los indicadores de calidad del suelo en una zona considerada ecológica debe tenerse en cuenta (Arshad y Martin, 2002):

- La dirección del cambio - descenso o aumento, positivo o negativo, etc.
- La magnitud del cambio - porcentaje de cambio en relación con la NCA o con los valores de referencia de la zona
- El ritmo del cambio - duración: meses, años
- El alcance del cambio - porcentaje de la zona que se vigila, como por ejemplo qué porcentaje de la zona ha variado con respecto al indicador seleccionado para un período concreto.

Dependiendo de los resultados de la evaluación, las autoridades responsables decidirán si permiten el vertido de residuos de almazara. En los casos en los que el vertido de residuos de almazara en el suelo ya esté autorizado, será necesario determinar la dosis máxima en función del nivel de riesgo de la zona. Las autoridades competentes deberán establecer una estrategia de vigilancia periódica que permita identificar posibles riesgos en cualquier momento, así como crear un inventario específico (banco de datos) de cada zona de vertido que se actualizará anualmente. Estas medidas facilitarán la identificación inmediata de las zonas peligrosas y proporcionarán registros históricos del emplazamiento, con información sobre las características geomorfológicas locales específicas, las cantidades de residuos que se han vertido cada año, los resultados de los análisis químicos del suelo y de los residuos, así como cualquier otro dato que se considere útil y necesario para que la protección de la función y calidad del suelo sea efectiva.

Si por cualquier razón se observa que existe un riesgo de deterioro en el suelo de una zona de vertido, será necesario evaluar el nivel de riesgo y posteriormente, si procede, proponer cambios en los planes de distribución de los terrenos. Igualmente, las autoridades podrán solicitar el desarrollo e implantación de una estrategia de recuperación.

### **4.3 Recomendaciones y directrices técnicas**

En los siguientes apartados se presentan los estándares técnicos, los cuales pueden utilizarse como mejores técnicas disponibles para la protección del suelo, o bien como actos legislativos y directivas futuras. Aparte de las ya mencionadas medidas reglamentarias que aseguran una gestión sostenible de las zonas de vertido de residuos de almazara, existen otras medidas que pueden adoptarse de forma opcional para facilitarle a las autoridades locales y regionales las tareas de control continuo, así como para seleccionar y aplicar la técnica de recuperación de suelos adecuada en caso de que sea necesario.



Existen dos tipos de medidas opcionales propuestas:

- las medidas para una vigilancia continua de las zonas de vertidos de los residuos de almazara, y
- las tecnologías de recuperación adecuadas para las zonas de vertido de los residuos de almazara.

La adopción de estas medidas en combinación con las reglamentarias asegura un control integrado de las zonas de vertido de los residuos de almazara, pero principalmente la protección y mejora futura de la calidad del suelo. Como tal, se considera que están en plena consonancia con los requisitos para la protección de la calidad del suelo incluidos en la estrategia temática de protección de suelos de la CE.

#### **4.3.1 Medidas para una vigilancia continua de las zonas de vertidos de los residuos de almazara**

Se proponen tres medidas; dos que podrían ser adoptadas por las autoridades regionales y locales (casos 4.3.1.1 y 4.3.1.2), ya que su desarrollo y aplicación exige la contribución de científicos y de personal cualificado. La tercera medida (caso 4.3.1.3) está más adaptada a la utilización por parte de individuos (por ejemplo los propietarios de las zonas de vertido), aunque también podría ser utilizada por las autoridades locales gracias a su simplicidad y al hecho de que no exige de una cualificación y conocimiento específico.

##### *4.3.1.1. Adecuación de los vertidos de almazara - mapa de suelos*

Para facilitar la implantación de la medida propuesta nº 4 (que define las condiciones de los vertidos en tierra de los residuos de almazara - párrafo 4.2.4.), y debido a la importancia de la precisión espacial en la aplicación, se considera necesaria la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para definir la aplicación de residuos de almazara en terrenos agrícolas o de otro tipo de tierras. Esta ilustración facilitará aún más la toma de decisiones a la vez que permitirá la creación de una base de datos muy útil con mapas SIG. Para la creación de mapas SIG es necesario incluir información sobre la composición, procesos y propiedades del terreno, del suelo y de los residuos de almazara, así como sobre la variabilidad del clima, la utilización y gestión de los terrenos, y los posibles riesgos medioambientales. La propuesta para un sistema de idoneidad del terreno que permita la manipulación espacial de los datos de tierras y suelos ha sido diseñada y desarrollada en el Instituto de Ciencias del Suelo de Atenas (SSIA)-ELGO-DEMETER. Este Instituto ya ha diseñado sistemas parecidos para algunas zonas del país heleno, y en esta ocasión lo que ha hecho es adaptar su sistema a las peculiaridades del vertido de los residuos de almazara (FAO, 1976; Sociedad Estadounidense de la Ciencia del Suelo, 1986; MAFF, Ministerio del Medio Ambiente, 1989; Theocharopoulos et al., 1998;).

El sistema requiere un estudio inicial de los suelos a nivel regional o incluso más amplio que debe incluir un muestreo sistemático de los suelos y un mapeo de los resultados. El Anexo 3 incluye un ejemplo de aplicación de lodos residuales realizada por el Instituto de Ciencias del Suelo de Atenas en la prefectura de Viotia (Grecia). Cada unidad de mapeo se categorizó teniendo en cuenta los siguientes aspectos: tipo de polígono (mapeado, no mapeado, lago, mar), clase de drenaje, (evaluado a partir del de la



morfología de perfil), textura (clases y 3 tipos de profundidades: 0-25 cm, 25-75 cm y 75-150 cm), grava (clases), pendiente (clases), erosión (clases), carbonato cálcico (clases), orden, suborden y gran grupo del suelo, irrigación (disponibilidad de agua para el riego), limitaciones y clase de variabilidad, precipitaciones y geología de los materiales madre. Algunas de las unidades de mapeo también registraron datos relacionados con la tasa de infiltración y la presencia y profundidad de la capa impermeable. Cada unidad de mapeo incluía igualmente datos analíticos de las muestras del perfil o muestreo del barreno para cada horizonte. El sistema gestiona los datos y criterios de la Tabla 17 asignando unidades del mapa de suelo a las Ordenes de Idoneidad (S para la idoneidad y N para la no idoneidad) y Clases de idoneidad según el grado de sus limitaciones (S1 para las limitaciones leves, S2 para las moderadas y S3 para las severas; N1 para una no idoneidad temporal para la aplicación de residuos y N2 para una no idoneidad permanentemente).

La aplicación/vertido de los residuos de almazara directamente en el suelo debe tener en cuenta los datos relacionados con su ubicación, geología, fisiografía, geomorfología, hidrogeología, utilización del suelo, estructura del suelo, textura, permeabilidad al agua, coeficiente de conductividad hidráulica (saturada o no saturada), porosidad, presencia y profundidad de capas de suelo impermeable. Además, es necesario incluir los indicadores de calidad del suelo propuestos en el párrafo 4.2.5 (es decir, pH del suelo, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno total, polifenoles, potasio intercambiable, hierro disponible y fósforo disponible). También se recomienda la inclusión del contenido total en sales, la tasa de absorción de sodio y los indicadores de toxicidad.

Igualmente, deben analizarse los residuos de almazara en función de sus parámetros físicos y químicos, tal y como se establece en el párrafo 4.2.4.1 (Paso 1). La redacción de un archivo de orden o macro rutina se considera la manera más eficiente de generar un mapa de suelos de un único factor o un mapa de evaluación de terrenos para el vertido/aplicación de los residuos de almazara. En dicho archivo se especificarán los criterios de selección requeridos para generar el mapa de idoneidad del suelo. A partir de ese momento, la unidad de mapeo y/o los puntos de muestra se analizarán en profundidad la determinar si cumplen con las condiciones requeridas. Para poder evaluar la aplicación de los residuos de almazara, el proceso fundamental en todo este sistema es la comparación o cotejo de los requisitos de utilización del terreno (Tabla 17) con los atributos de las unidades de mapeo del terreno. El sistema propuesto debe construirse teniendo en cuenta los cinco pasos descritos en el párrafo 4.2.4.

#### *4.3.1.2. Vigilancia de la calidad del suelo - relación entre el tiempo y la profundidad con los mapas de distribución de los elementos constituyentes del suelo*

Para facilitar la implantación de la medida reglamentaria propuesta nº 6 (vigilancia de los indicadores del suelo - evaluación de los resultados - párrafo 4.2.6), se propone el desarrollo y utilización de mapas de la distribución de los elementos constituyentes del suelo en relación con el tiempo y la profundidad. Gracias a esta herramienta, las autoridades locales y regionales tendrán la oportunidad de cribar las áreas de vertido rápidamente, identificar las posibles condiciones de riesgo, implantar una vigilancia sistemática de las áreas de interés y facilitar la toma de decisiones en función de las medidas apropiadas que deben tomarse en campo o a escala municipal. La herramienta



propuesta integra la vigilancia continua de las zonas de vertido de los residuos de almazara como una responsabilidad habitual de las autoridades locales/regionales, con lo que se facilita la vigilancia continua y adecuada de dichas zonas.

Sin embargo, esto exige una verdadera cooperación entre los propietarios de las zonas de vertido ya que para crear y actualizar los mapas es necesaria la realización de muestreos continuos del suelo. La herramienta de aplicación propuesta utiliza superficies de interpolación que indican la distribución de los distintos parámetros físicos y químicos en la zona de interés, lo que permite al usuario disponer de forma rápida de información sobre la posible difusión de los parámetros químicos y el grado de peligro en las proximidades de las zonas de vertido de residuos. Esto favorecería el establecimiento de un Centro Operacional que podría ubicarse en las instalaciones de una municipalidad concreta y cooperaría con la Oficina de Protección Ambiental de la Administración Local (Distrito). Dicho centro podría encargarse de la vigilancia continua de las zonas de riesgo, así como de prestarles apoyo informativo y científico a los propietarios.

El diseño del paquete de software debe permitir la monitorización de un número de campos privados dispersos así como la realización de consultas en base a los distintos atributos químicos y espaciales. Así, se propone que para cada zona de vertido de residuos de almazara se desarrolle un mapeo inicial mediante un muestreo del suelo en distintas zonas y en cuatro momentos diferentes (con una periodicidad, por ejemplo, bimensual). Los emplazamientos de muestreo deben decidirse de acuerdo con las normas de muestreo del suelo aceptadas y siempre deberá estar presente una persona cualificada que mantenga el control general de dicho muestreo. El análisis de las muestras de suelo recogidas debe dar lugar a los parámetros propuestos como indicadores adecuados para las zonas de vertido de los residuos de almazara (párrafo 4.2.5). Los mapas creados no deben utilizarse más de 5-8 años, período tras el cual será necesaria su actualización tras repetir la aplicación de los procedimientos de muestreo. Mientras tanto, la calidad del suelo se evaluará utilizando la herramienta descrita en el párrafo 4.3.3 (la herramienta más sencilla que no requiere habilidades específicas y que puede ser utilizada por los propietarios de las zonas anualmente). La figura 4 presenta la interfaz de la aplicación de mapeo propuesta para la creación de las zonas de vertido.

La creación de las superficies de interpolación requiere datos relacionados con las áreas próximas a las zonas de vertido de los residuos de almazara, para así identificar la distribución de los distintos parámetros químicos en la zona y tener una idea más precisa de la posible difusión de los parámetros químicos y del grado de riesgo existente en las áreas adyacentes a las zonas de vertido de residuos. Aunque podrían utilizarse varios algoritmos de interpolación para trazar los parámetros específicos, se propone el método de Distancia Inversa Ponderada porque sus efectos secundarios son limitados (efecto ojo de buey alrededor de los puntos de muestreo aislados, tendencias extremas en puntos más alejados de las zonas de muestreo, etc.). El método de Distancia Inversa Ponderada calcula los valores de célula promediando los valores de los puntos de muestreo en las proximidades de cada célula y en relación con la distancia. La aplicación propuesta permite:

- *Selección de la medida* – El usuario selecciona el nombre del parámetro químico para ver el mapa de superficie interpolada correspondiente
- *Selección de la profundidad* – El usuario puede elegir la profundidad del suelo en la que desea ver el valor del parámetro químico seleccionado. Posteriormente, el





usuario puede enviar la información y la aplicación de mapeo comienza analizar los datos necesarios para presentar el mapa de superficie interpolada correspondiente.

- *Controles de navegación* – Gracias a los controles de navegación, el usuario puede navegar dentro del mapa en cualquier dirección, ángulo, plano y *zoom*, lo que facilita una visualización desde múltiples perspectivas.
- *Deslizador de Tiempo* - En el mapa de Google puede verse una animación del mapa de área superficial interpolado en distintos períodos de tiempo
- *Grado de la escala de riesgo – Leyenda* – Cuando se carga el mapa de superficie interpolada, aparece la escala del grado de riesgo correspondiente al parámetro químico seleccionado.

#### 4.3.1.3. *Vigilancia de la calidad del suelo - Software para la vigilancia del suelo por parte de los usuarios y de los contaminadores de los terrenos*

Para algunas personas, como por ejemplo los propietarios de las almazaras, los propietarios de las zonas de vertido y los agricultores que podrían utilizar residuos de almazara para las actividades de riego/fertilización o simplemente para distribuir el terreno, se propone una versión más sencilla de la herramienta de aplicación que les permitirá vigilar periódicamente la calidad del suelo y sus propiedades, identificar riesgos con antelación y tomar las medidas oportunas en colaboración con las autoridades locales pertinentes. Aunque esta herramienta no se propone como medida reglamentaria, sería muy útil su inclusión en las obligaciones anuales que tienen los propietarios de las zonas de vertido de facilitar información a las autoridades regionales y locales. Por tanto, anualmente los propietarios podrían enviarle a la autoridad local los resultados obtenidos con las herramientas, para así recibir consejos específicos sobre la gestión de su propiedad. La herramienta es un software fácil de manejar (descarga gratuita en la web del proyecto PROSODOL: <http://www/prosodol.gr/?q=node/3455>) que no requiere habilidades y conocimientos específico para poder aplicarse correctamente condiciones reales.

La herramienta de aplicación requiere tanto muestreos periódicos de suelo en sitios preestablecidos como la medición de los indicadores de calidad del suelo. El usuario introduce las mediciones en los distintos intervalos de tiempo y vigila la fluctuación temporal de los valores. Los resultados se presentan en diagramas predefinidos que muestran señales de alarma rojas y naranjas cuyo límite de notificación es adaptable. El usuario puede introducir varias zonas de vertido de residuos de almazara, exportar los datos en un formato *Excel* y utilizarlos en otras aplicaciones. La herramienta permite la vigilancia de hasta once parámetros químicos del suelo, como por ejemplo los indicadores de calidad del suelo mas el Cr, Mo y Ni. Los límites y el rango de los valores de las zonas de riesgo (rojo – riesgo alto; naranja – riesgo moderado) se muestran en las columnas la Tabla 18.

Para evaluar el grado de riesgo en el área cercana a la zona de eliminación de residuos, el usuario debe asignar los valores de algunos o de todos los parámetros químicos arriba indicados y posteriormente realizar una evaluación gráfica de los resultados en un diagrama de puntos XY. Tanto el software como el manual de uso en inglés, griego, italiano y español, se pueden descargar de manera gratuita en el sitio web del proyecto: [www.prosodol.gr](http://www.prosodol.gr).

**Tabla 18:** Parámetros del suelo que pueden vigilarse con la herramienta de aplicación de monitorización y del rango de los valores asociados a las distintas áreas de riesgo

Parámetros del suelo	Área naranja	Área roja	Límites	Referencias
Eléctrico Conductividad (mS/cm)	>2-4	>4	0,2-40	CCME, 2007; MAAF, 1988; Ilaco, 1985
Materia orgánica %	>5,0	>20	0,05-55	MAAF, 1988; Ilaco, 1985; Couwenberg, 2009
Fenoles totales (mg/kg)	>40	>150	0,1-700	CLEA, 2005; Swartjes, 1999
Nitrógeno total (%)	>0,3		0,02-3,00	MAAF, 1988; Ilaco, 1985
P disponible- Olsen (mg/kg)	29-59	>60 (potencial de alta movilidad del P)	1-500	MAAF, 1988; Ilaco, 1985; Carrow et al., 2004; McDowell et al., 2002
K intercambiable (cmol/kg)	>1,2-2,0	>2,0	0,1-30	MAAF, 1988; Ilaco, 1985; Marx et al., 1999
Fe disponible (mg/kg)	>20-40	>100	1-400	Mitra et al., 2009; Abreu et al., 2005
Cr total (mg/kg)	64-200	>200	5-1000	EA, 2001; Komnitsas et al., 2010
Ni total (mg/kg)	30-100	>100	5-500	Swartjes, 1999; Kabata-Pendias y Pendias, 1994; Linzon, 1978; Directiva del Consejo 86/278/EEC; Pollak y Favoino, 2004
Mo total (mg/kg)	3-4	>4	1-200	Swartjes, 1999; Kabata-Pendias & Pendias, 1994; Pollak & Favoino, 2004
pH	>8,0	>8,5	4,0-9,5	CCME, 2007;

#### 4.3.2 Remediación de suelos

De acuerdo con la Estrategia Temática de Protección de Suelos (COM 2006, 231 final), tanto las acciones como los medios han de orientarse a garantizar una utilización sostenible del suelo, por lo que los Estados miembro deben continuar con las acciones de recuperación en las zonas consideradas de alto riesgo de degradación del suelo, tal y como establece uno de los requisitos de la Estrategia: "*Restauración del suelo degradado para devolverle un nivel de funcionalidad que corresponda al menos a su utilización actual y prevista, considerando asimismo las repercusiones financieras de la restauración del suelo*". Además, las zonas con un riesgo medio también podrían estar sujetas a las actividades de remediación, aunque esta decisión la debe adoptar las autoridades regionales o locales teniendo en cuenta muchos factores que van más allá de la evaluación del valor de riesgo en el suelo.

Hasta ahora, no se ha desarrollado ninguna técnica específica para la remediación de zonas de vertido de residuos de almazara. En el marco del proyecto PROSODOL se



desarrollaron e implantaron dos métodos en una zona piloto de la Isla de Creta, al sur de Grecia. La evaluación de los resultados reveló que los dos métodos eran adecuados para las zonas de vertido de residuos de almazara, siempre y cuando se aplicasen de forma correcta y se ejerciese un control técnico y científico por parte de personas cualificadas. Las técnicas aludidas son (a) la biorremediación y (B) la aplicación de zeolita natural, conocida como clinoptilolita.

También es necesario reseñar que a pesar de su eficacia, las técnicas están dirigidas a distintas propiedades del suelo y elementos contaminantes, por lo que su aplicación depende del problema específico registrado en las zonas objetivo. Por tanto, la biorremediación se centra en los contaminantes orgánicos, como por ejemplo los polifenoles, mientras que la aplicación de la zeolita está más enfocada a los elementos inorgánicos del suelo. De estas afirmaciones se puede deducir que aunque existe una gran probabilidad de aplicar las dos técnicas en la misma zona de vertido de residuos, el tratamiento debe comenzar con la biorremediación. La correcta aplicación de las dos metodologías depende de una aplicación meticulosa de las directrices, tal y como se detalla a continuación, así como de una vigilancia periódica de su efectividad, por lo menos en lo que a la calidad del suelo se refiere.

#### *4.3.2.1. Biorremediación*

La biorremediación permite a los microorganismos metabolizar contaminantes gracias a procesos oxidativos o reductivos, por lo que se utilizan técnicas simples y de bajo coste que normalmente son bien aceptadas por la opinión pública y que pueden aplicarse directamente en el emplazamiento. Sin embargo, la biorremediación no resulta adecuada para todos los problemas, por lo que se necesita un estudio detallado de las condiciones locales del suelo para determinar si los contaminantes orgánicos pueden biodegradarse por medio de microorganismos del suelo y si los niveles de contaminantes residuales tras la implantación de la biorremediación son aceptables (Vidali, 2001). En condiciones favorables, los microorganismos pueden metabolizar los contaminantes orgánicos completamente y convertirlos en subproductos no tóxicos, como dióxido de carbono y agua o metano y ácidos orgánicos (USEPA 1991).

En general, la aplicación de la tecnología de la biorremediación incluye tres pasos:

1. Estudios de viabilidad para identificar el potencial de biorremediación del emplazamiento deseado
2. Implantación de la tecnología de biorremediación, y
3. Vigilancia de la eficacia

En la figura 5 se incluye un diagrama de flujo que muestra la estrategia de toma de decisiones asociada a las actividades de biorremediación.

#### Estudios de viabilidad

Generalmente, la biorremediación puede utilizarse en cualquier tipo de suelo con un contenido de humedad adecuado, aunque es difícil suministrar oxígeno y alimentos nutritivos en las tierras con una baja permeabilidad. Dicho esto, es necesario mencionar que una concentración muy alta de contaminantes puede ser tóxica para los microorganismos e inhibir su actividad. En el caso de los emplazamientos muy contaminados, la biorremediación puede no ser la mejor opción de recuperación del



suelo. Por lo tanto, antes de su implantación, será necesario realizar un estudio de viabilidad que determine si la biodegradación es una opción viable para un emplazamiento concreto, tipo de suelo y condiciones de los contaminantes (Aggarwal et al. 1990). Para determinar el potencial de biorremediación de un emplazamiento contaminado con residuos orgánicos, es necesario realizar estudios de tratabilidad que proporcionen información específica sobre el posible ratio y alcance de la biorremediación, así como el destino y comportamiento de los contaminantes orgánicos en la superficie del suelo y en la zona vadosa más profunda. Los estudios de tratabilidad incluyen análisis tanto en campo como en laboratorio. En la figura 6 se presenta un diagrama de flujo que permite determinar el potencial de biorremediación de un emplazamiento contaminado con residuos de almazara.

**Figura 6:** Diagrama de flujo para determinar el potencial de biorremediación de un emplazamiento de vertido de residuos de almazara.



El diseño racional de un sistema de biorremediación se basa en una caracterización adecuada del emplazamiento que incluya las características superficiales del suelo, la hidrología sub-superficial y las características microbiológicas.

Así, antes de proceder a la implantación es necesario clarificar los siguientes aspectos:

- Historia y características de la zona (por ejemplo los usos y enmiendas anteriores del suelo, la frecuencia y cantidad de residuos de almazara añadidos, usos presentes y futuros, así como los datos geomorfológicos e hidrológicos).
- Una caracterización físico-química completa de los residuos de almazara vertidos.

Se necesita una caracterización completa y detallada del emplazamiento de interés y de los residuos vertidos para determinar las aplicaciones y limitaciones potenciales de la tecnología.

La Tabla 19 incluye las características del suelo y del emplazamiento que deben considerarse y evaluarse antes de aplicar la biorremediación.

Tras una caracterización detallada del suelo en el emplazamiento, los análisis de laboratorio indicarán qué tipo de gestión/tratamiento del suelo es el más adecuado para incrementar la bioaumentación y bioestimulación de la comunidad microbiana del suelo y para vigilar, en estas condiciones, el riesgo de fitotoxicidad o ecotoxicidad así como la concentración de polifenoles a través de la incubación del suelo.

**Tabla 19** Características del suelo y del emplazamiento consideradas importantes para la aplicación de la biorremediación

Característica	Parámetro
Pendiente, topografía y ubicación del emplazamiento	
Tipo de suelo	Profundidad Textura* Estructura* Color Grado de moteado Densidad aparente
Propiedades del perfil de suelo	Contenido y tipo de arcilla Capacidad de intercambio catiónico* Contenido en materia orgánica* pH* Eh* Estado de aireación*
Propiedades y condiciones hidráulicas	Curva característica de infiltración Punto de marchitamiento permanente/capacidad del campo Capacidad de retención de agua* Permeabilidad Tasa de infiltración Profundidad a la capa impermeable o lecho de roca Profundidad a las aguas subterráneas, incluidas las variaciones estacionales Frecuencia de inundación Potencial de escorrentía*
Factores geológicos e hidrogeológicos	Características geológicas sub-superficiales Características y patrones del caudal de agua subterránea
Datos meteorológicos y climatológicos	Velocidad y dirección del viento Temperatura Precipitación Balance hídrico

\*Factores que pueden gestionarse para mejorar el tratamiento de los suelos.

### Implantación

Una vez desarrolladas las instrucciones, las autoridades locales y el personal cualificado serán los encargados de supervisar su implantación. La persona cualificada/departamento/agencia autorizada para desarrollar todos los trabajos de campo necesarios, deberá garantizar que el plan operativo incluye la frecuencia anticipada de adición de agua, nutrientes y aireación tal y como se concretó en los estudios de viabilidad, y también vigilar que la efectividad del proceso de implantación se vigila con regularidad. La estrategia general podría modificarse dependiendo de los



resultados de la vigilancia periódica de los suelos en tratamiento. Igualmente, el plan debe tener en cuenta las variaciones estacionales de precipitación y temperatura ambiental. En general, la frecuencia de la aireación y de las aplicaciones de agua y nutrientes debe incrementarse en los meses más cálidos y secos. Dependiendo de las condiciones locales, también existe la posibilidad de utilizar recubrimientos específicos del suelo (plásticos o compuestos textiles/geotextiles) que protejan la zona de implantación. En tal caso, debe comprobarse periódicamente el estado del recubrimiento para asegurar que permanece en su lugar y que no presenta roturas, desgarros o agujeros.

#### Vigilancia de la eficacia de la biorremediación "in situ"

Debe establecerse un programa de vigilancia cuyos objetivos específicos sean:

- Garantizar que los elementos tóxicos y peligrosos de los suelos contaminados se están degradando, desintoxicando o desactivando según el programa.
- Vigilar el ritmo de degradación de los elementos degradables.
- Garantizar que el escurrimiento o infiltración no provocan la entrada de concentraciones inaceptables de elementos contaminantes en las aguas.
- Determinar si la gestión del tratamiento debe ajustarse para mantener la idoneidad del proceso de tratamiento (por ejemplo, ¿se encuentra el pH en un rango apropiado? ¿es necesario un ajuste de la humedad en el suelo? etc.).

Un programa de vigilancia completo debe incluir los medios incluidos en la Tabla 20 (adaptado de la US-EPA, 1983).

**Tabla 20:** Requisitos de un programa de vigilancia completo

<b>Medios a vigilar</b>	<b>Objetivo</b>
<b>Suelo en zona de tratamiento</b>	Determinar el grado de degradación, transformación e inmovilización; estado de los nutrientes y pH; así como cualquier otro factor o sustancia que afecte a la implantación del tratamiento y a su eficacia.
<b>Capas del suelo (zona no saturada)</b>	Determinar el movimiento lento de los contaminantes
<b>Líquido en los poros del suelo (zona no saturada)</b>	Determinar los elementos con una alta movilidad
<b>Agua subterránea</b>	Determinar los elementos móviles
<b>Agua de escorrentía</b>	Determinar la migración fuera de los contaminantes absorbidos, suspendidos o solubles.
<b>Aire</b>	Determinar los peligros para la salud del personal y de la población en general

La persona cualificada/departamento/agencia autorizada para desarrollar todos los trabajos de campo necesarios, deberá garantizar que el plan de vigilancia se describe en detalle e incluye la vigilancia del suelo en tratamiento para la reducción de contaminantes y las condiciones de biodegradación (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S), la monitorización del aire para las emisiones de vapor cuando hay elementos volátiles



presentes, la vigilancia de las aguas subterráneas y del suelo para detectar la posible migración de componentes, así como el muestreo de agua de escorrentía (si aplica) para los permisos de descarga. En el método de recogida de suelos, tanto el número de muestras recogidas en la zona como las áreas de muestreo deben ajustarse a las normativas nacionales. Un plan típico de la vigilancia es mostrado en las Tabla 21.

**Tabla 21:** Plan de vigilancia típico para la implantación de la biorremediación

<b>Medio a vigilar</b>	<b>Frecuencia de muestreo</b>	<b>Parámetro a analizar</b>
<b>Suelo en tratamiento</b>	Mensual a trimestral durante el período de biorremediación	Población bacteriana, concentraciones de contaminantes, pH, amoníaco, fósforo, contenido de humedad, otras condiciones limitantes
<b>Aire</b>	Durante las dos primeras aireaciones, trimestral o para cumplir con los requisitos de calidad del aire	Partículas, contaminantes volátiles
<b>Agua de escorrentía</b>	Según las normativas nacionales	Componentes solubles o suspendidos, tal y como establecen las normativas nacionales
<b>Suelo de horizontes más profundos</b>	Trimestral o dos veces durante el período de biorremediación	Componentes peligrosos
<b>Agua subterránea</b>	Anualmente durante el período de biorremediación	Componentes peligrosos y solubles

#### 4.3.2.2 Aplicación de la zeolita

Las zeolitas son materiales (naturales y sintéticos) en los que tetraedros ( $\text{SiO}_4$ )<sup>4-</sup> y ( $\text{AlO}_4$ )<sup>5-</sup> se unen compartiendo átomos de oxígeno para crear estructuras anulares que a su vez se unen para formar estructuras tridimensionales que contienen canales regulares y cavidades (en forma de panal) con unos tamaños parecidos a los de las moléculas pequeñas y medianas (Fig.7a). Como tal, son tamices moleculares ideales que en presencia de los ácidos  $\text{AlO}^4$  que contienen, pueden alcanzar un alto nivel de selectividad en el intercambio iónico y la catálisis (Shaw, 1992). En muchas zeolitas estas retículas están abiertas, por lo que las moléculas de agua y los cationes presentes en las cavidades y canales de las estructuras pueden moverse con libertad. Esta facilidad de movimientos permite un mejor intercambio catiónico y pérdida de agua (Dyer, 1995).

#### Clinoptilolita

La clinoptilolita tiene numerosos usos y ventajas que permiten mantener y mejorar la calidad del aire, agua, desechos sólidos y aguas residuales. Al igual que otras zeolitas naturales y sintéticas, la clinoptilolita se ha estudiado ampliamente para determinar la idoneidad de su utilización en muchas aplicaciones medioambientales en todo el mundo, entre las que se incluyen la protección, mejora y recuperación de la calidad del



suelo. A diferencia de otras enmiendas del suelo (por ejemplo la cal) las zeolitas no se rompen con el tiempo sino que permanecen en el suelo para mejorar la retención de nutrientes. Por lo tanto, la adición al suelo se anticipa para reducir los costes de agua y fertilizantes gracias a la retención de nutrientes beneficiosos en la zona de las raíces, mientras que la estructura porosa ayuda a que el ecosistema del suelo se mantenga húmedo y aireado. Las zeolitas no son ácidas sino alcalinas, aunque muy levemente, por lo que facilitan la amortiguación de suelos en casos de vertidos de residuos ácidos (como por ejemplo los residuos de almazara).

En la bibliografía se han publicado muchos trabajos de investigación relacionados con la aplicación de las zeolitas a la remediación de suelos y, debido a sus excelentes características de amortiguación, algunos investigadores también sostienen que las zeolitas naturales pueden utilizarse como revestimiento en los vertederos (Kayabali y Kezer, 1998). Las zeolitas, cuya capacidad para inmovilizar contaminantes en los suelos contaminados ha sido ampliamente probada (Shanableh y Kharabsheh, 1996; Eduardo et al., 1999). suelen tener una alta capacidad de intercambio catiónico (CIC), por lo que se las considera candidatas perfectas para la remediación de metales tanto en suelos como en efluentes. En general, la inmovilización de metales en el suelo se debe a un aumento de la CIC en el suelo y en el pH provocado por la adición de zeolitas. El aumento del pH del suelo favorece la absorción de metales y la formación de hidróxidos metálicos insolubles.

#### Toxicidad del sodio provocada por la aplicación de zeolitas en el suelo

Varios estudios han demostrado que la adición de zeolitas puede causar la liberación de iones de Na y aumentar por consiguiente la salinidad del suelo (Geebelen et al., 2002; Coppola et al., 2003). Por tanto, la posibilidad de "toxicidad de Na" en los suelos circundantes es un fenómeno que debe preocupar durante la remediación de terrenos degradados o contaminados.

#### Implantación en zonas de vertido de los residuos de almazara

Antes de aplicar la clinoptilolita deben realizarse actividades de preparación del terreno. En particular, es necesario utilizar maquinaria ligera en campo (por ejemplo arados, excavadoras, palas mecánicas) a una profundidad de hasta 25 cm para homogeneizar la zona de vertido. Es preferible quitar las piedras. La adición de clinoptilolita en 5% (peso/peso) se considera adecuada para las zonas de vertido de residuos de almazara siempre y cuando no se viertan residuos de este tipo en el futuro. Para un contenido de zeolitas del 5%, la cantidad de clinoptilolita a añadir es casi 150tn/ha. Se recomienda que el tamaño del grano de la clinoptilolita sea pequeño para favorecer su efectividad y distribución. Así, puede aplicarse como polvo con unas partículas cuyo diámetro sea inferior a 0,8mm (Fig. 7b), o bien tener un tamaño más grande, en cuyo caso el diámetro de las partículas estaría entre 0,8mm y 2.5cm. Aunque cuando el tamaño del grano es muy pequeño la efectividad aumenta, también es cierto que su distribución es más difícil debido al polvo que se produce durante la aplicación. Sin embargo, puede considerarse la posibilidad de utilizar una mezcla de clinoptilolita (en forma de polvo y con un tamaño de grano de 0,8mm-2,5cm), la cual debe distribuirse de forma homogénea y labrarse muy bien.



Tras la aplicación, es posible que sea necesario regar de forma periódica a fin de evitar una lixiviación de sodio excesiva. La cantidad de agua aplicada debe definirse en base a la infiltración neta acumulada total (restando la evaporación estimada y sumando las precipitaciones), teniendo en cuenta los parámetros hídricos (propiedades químicas) y las propiedades del suelo (por ejemplo la densidad aparente del suelo, el coeficiente de humedad, la conductividad eléctrica, la textura y los cationes intercambiables). Esta forma de gestión persigue lograr una lixiviación más eficaz gracias, entre otras cosas, a la eliminación de la mayor cantidad posible de sal por unidad de agua de lixiviación. Esta mayor eficacia se logrará mediante una lixiviación intermitente en condiciones continuas de no saturación en la superficie del suelo, con lo que se minimizará la posibilidad de encharcamiento.

### Vigilancia de la calidad del suelo

La calidad del suelo debe vigilarse anualmente, tomando muestras y realizando análisis del suelo de acuerdo con las normativas nacionales y de la CE. Los resultados se mantendrán en un inventario y se evaluarán de tal forma que las mejoras realizadas y los posibles problemas queden registrados en el momento oportuno y puedan valorarse adecuadamente. Será necesario analizar las muestras de suelo para poder conformar los ocho indicadores de suelo propuestos.

Como ya se ha mencionado, el contenido en Na de la zeolita podría ser un factor limitativo a la hora de aplicar zeolita en los suelos ya que la lixiviación de Na esperada podría provocar una concentración excesiva de Na en el suelo. En cualquier caso, la aplicación de zeolita en la zona piloto del proyecto PROSODOL y la vigilancia subsiguiente de los suelos reveló que la concentración de Na intercambiable permanece alta durante un breve espacio de tiempo (casi 2 meses después de la aplicación), periodo tras el cual es de esperar que existan cantidades muy pequeñas de Na en el suelo.

Por tanto, se recomienda que la estrategia habitual de vigilancia de suelos incluya los cálculos del contenido total en sales y el porcentaje de sodio intercambiable. En el caso especial de las aplicaciones de zeolita, las muestras de suelo deberán analizarse cada dos meses y durante un período de seis meses tras su aplicación para determinar el contenido total en sales y el porcentaje de sodio intercambiable. En caso de que los valores del contenido total en sales y el porcentaje de sodio intercambiable excedan los límites superiores ( $13\text{cmol/kg}^{1/2}$  para el contenido total en sales y 15% para el porcentaje de sodio intercambiable) en tres muestreos sucesivos, será necesario implantar un plan de contingencia que incluya riegos periódicos del suelo.

### Beneficios esperados

En general, la clinoptilolita funciona muy bien para controlar incrementos en los distintos parámetros del suelo provocados por el vertido de residuos de almazara, por lo que no se registraron cambios rápidos e irregulares, a diferencia de lo que es de esperar en suelos que reciben residuos de almazara sin un tratamiento de las zeolitas (un ejemplo excelente sería el caso de la reducción y estabilización de la materia orgánica en el suelo y el contenido total de nitrógeno).

Es de esperar que la clinoptilolita afecte positivamente a:





- El contenido en materia orgánica. La utilización de clinoptilolita como enmienda de suelos debe servir para estabilizar y mantener los valores de materia orgánica en el suelo constantes. Esto se debe a la mejora de la aireación del suelo y por tanto a una actividad de los microorganismos del suelo más óptima que favorece la biodegradación de la materia orgánica. La aireación del suelo puede mejorarse utilizando zeolitas de un grano mayor (0,8-2,5mm).
- El nitrógeno total. El efecto de la zeolita en el contenido total de N es parecido al que ejerce sobre la materia orgánica y se debe a las mismas razones.
- Fósforo disponible. Es de esperar una reducción del P disponible tras la aplicación de zeolita.
- Potasio intercambiable y metales disponibles (Fe, Cu y Mn), cuyo contenido en el suelo es de esperar que aumente debido a la retención de especies iónicas de la clinoptilolita. Sin embargo, el aumento no se atribuye al incremento de estos elementos en las partículas del suelo, sino a la red de la zeolita. Por consiguiente, este aumento no lleva a una mayor lixiviación de K, Fe, Mn y Cu, sino a una menor descarga de la zeolita a las soluciones del suelo, con lo que se mejora la calidad de éste y se previene la saturación de los sistemas cercanos.
- La conductividad eléctrica del suelo, cuya intensidad es de esperar que disminuya debido a la retención de iones en la estructura de la zeolita. Por tanto, a pesar del aumento de K intercambiable y del contenido de metales pesados disponibles en el suelo, estas cantidades no provocan un incremento de la conductividad eléctrica del suelo porque los iones quedan retenidos en o sobre la estructura de la zeolita.
- pH del suelo. Para los suelos ácidos y con bajo contenido en  $\text{CaCO}_3$ , es de esperar que la adición de clinoptilolita aumente la neutralización de acidez inherente a los residuos de almazara.

Por otro lado, no se espera ningún efecto significativo sobre el contenido en polifenoles, por lo que en el caso de zonas degradadas que permiten el vertido de residuos de almazara, se propone combinar los métodos de biorremediación y aplicación de la clinoptilolita, siempre y cuando se comience por el primero de ellos. Por tanto, es de esperar que los polifenoles se degraden durante la biorremediación mientras que la aplicación de zeolita garantizará la estabilización y reducción del contenido total de fósforo y nitrógeno en la materia orgánica, a la vez que permitirá controlar la concentración de K y de metales disponibles.

Además, se propone la utilización de clinoptilolita como aditivo del suelo en una cantidad que no superior al 2% (peso/peso) en caso de que los residuos de almazara se utilicen para el riego. Esto es así para ayudar al sistema del suelo (especialmente los que sean muy arenosos) a retener los nutrientes y a mejorar la capacidad de intercambio catiónico, propiedades que se reducen debido a la acidez de los residuos de almazara.

