



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  

---

**FACULTAD DE CIENCIAS  
EXPERIMENTALES  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
QUÍMICA, AMBIENTAL Y DE LOS  
MATERIALES**

**TESIS DOCTORAL  
APROVECHAMIENTO DEL ALPERUJO COMO  
ENMIENDA ORGÁNICA EN EL OLIVAR**

**PRESENTADA POR:  
CONCEPCIÓN GARCÍA-ORTIZ CIVANTOS**

**DIRIGIDA POR:  
DRA. DÑA. ANTONIA FERNÁNDEZ HERNÁNDEZ  
DR. D. RAFAEL PACHECO REYES**

**JAÉN, 10 DE FEBRERO DE 2016**

**ISBN 978-84-16819-60-7**

**SEBASTIÁN SÁNCHEZ VILLASCLARAS**, Catedrático de Universidad en el área de Ingeniería Química y Director del Grupo de Investigación Bioprocesos (TEP-138) de la Universidad de Jaén

**INFORMA:**

Que el presente trabajo de investigación titulado ***Aprovechamiento del alperujo como enmienda orgánica en el olivar***, ha sido realizado por la Ingeniera Agrónoma Dña. Concepción García-Ortiz Civantos, en el Centro IFAPA Venta del Llano de Mengíbar y en el Departamento de Ingeniería Química, Ambiental y de los Materiales de la Universidad de Jaén, bajo la dirección de los Dres. Dña. Antonia Fernández Hernández y D. Rafael Pacheco Reyes, para optar al grado de Doctora.

Jaén, diciembre de 2015

Los Directores

Fdo.: Antonia Fernández Hernández

Fdo.: Rafael Pacheco Reyes

Memoria de Tesis presentada por la Ingeniera Agrónoma, Concepción García-Ortiz Civantos, para optar al grado de Doctora por la Universidad de Jaén

Jaén, diciembre de 2015

Fdo.: Concepción García-Ortiz Civantos

## **Agradecimientos**

A IFAPA Centro Venta del Llano  
a la Universidad de Jaén en concreto al Departamento de  
Ingeniería Química, Ambiental y de los Materiales  
al CEBAS-CSIC de Murcia  
y a todas las personas de estas Instituciones que hicieron posible la  
ejecución de esta Tesis Doctoral

A mis Directores:

A Dra. Antonia Fernández Hernández una persona muy especial  
para mí, compañera durante todo este tiempo de arduo, tedioso y  
gratificante trabajo. Gran parte del trabajo de esta Tesis  
no habría podido realizarse sin su colaboración.

Gracias por enseñarme todo lo que me has enseñado.

A Dr. Rafael Pacheco Reyes por su dedicación y paciencia infinita  
hasta que ha visto la luz esta Tesis Doctoral. Por brindarme su  
apoyo y especialmente por su amistad.

A todo el personal del laboratorio:

Mari Carmen, Maite, Gloria por colaborar conmigo de forma  
desinteresada en todo el trabajo llevado a cabo entre disolventes e  
instrumentación.

A mis amigos y compañeros:

Lola, Juan Carlos, Laura, Juan, José Antonio, Josefina, Micaela, Elenita, Elena, Maica,...son tantos... que todos ellos han sembrado una semillita en la realización de esta Tesis Doctoral....gracias.

Al Dr. Miguel Ángel Sánchez Monedero por introducirme y enseñarme todo sobre el fascinante mundo del compostaje.

A José Javier, mi marido y compañero por quererme y apoyarme en todo, a mi hija Concha con su sonrisa y a mi próximo hijo que pronto estará con nosotros, a todos ellos tengo que agradecerles todo el tiempo que les he robado.

A mi madre, seguirás siendo mi ejemplo  
A mi padre, intentado seguir tu camino profesional  
A mis hermanos

.....muchas gracias.

# ÍNDICE



<b>I. RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>II.1. EL OLIVO, SU ORIGEN E HISTORIA.....</b>	<b>7</b>
<b>II.2. HISTORIA DE LA FERTILIZACIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>II.2.1. La Agricultura empírica .....</b>	<b>13</b>
<b>II.2.2. La Agricultura científica.....</b>	<b>14</b>
<b>II.3. EFECTOS DE LOS FERTILIZANTES .....</b>	<b>19</b>
<b>II.3.1. Efectos positivos de la fertilización.....</b>	<b>19</b>
<b>II.3.2. Efectos perniciosos de la fertilización .....</b>	<b>21</b>
<b>II.4. LA IMPORTANCIAS DE LA MATERIA ORGÁNICA (MO)</b>	
<b>EN EL SUELO .....</b>	<b>27</b>
<b>II.4.1. Influencia de la materia orgánica sobre las propiedades</b>	
<b>físicas del suelo.....</b>	<b>31</b>
<b>II.4.2. Influencia de a materia orgánica sobre las propiedades</b>	
<b>químicas del suelo .....</b>	<b>32</b>
<b>II.4.3. Influencia de la materia orgánica sobre los organismos</b>	
<b>del suelo.....</b>	<b>33</b>
<b>II.5. AGRICULTURA INDUSTRIALIZADA.....</b>	<b>35</b>
<b>II.6. LOS RESIDUOS AGROINDUSRIALES .....</b>	<b>37</b>
<b>II.7. EVOLUCIÓN EN EL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DEL</b>	
<b>ACEITE DE OLIVA .....</b>	<b>43</b>
<b>II.7.1. Sistema de extracción de prensas.....</b>	<b>44</b>

<b>II.7.2. Sistema continuo de centrifugación de tres fases .....</b>	<b>45</b>
<b>II.7.3. Sistema de centrifugación de dos fases .....</b>	<b>48</b>
<b>II.7.4. Características, composición y problemática de los residuos generados en la almazara .....</b>	<b>50</b>
II.7.4.1. Efluentes líquidos. Alpechín .....	50
II.7.4.2. Orujo.....	52
II.7.4.3. Alperujo .....	52
II.7.4.4. Otros subproductos .....	55
<b>II.7.5. Valorización de los residuos generados en la almazara.....</b>	<b>55</b>
II.7.5.1. Efluentes líquidos. Alpechín .....	55
II.7.5.2. Alperujo .....	59
<b>II.8. COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS PARA SU USO COMO ABONOS Y ENMENDANTES PARA SUELOS .....</b>	<b>63</b>
<b>II.8.1. Concepto y funciones del compostaje .....</b>	<b>64</b>
<b>II.8.2. Factores que afectan al proceso de compostaje.....</b>	<b>68</b>
II.8.2.1. Parámetros de seguimiento del proceso .....	68
II.8.2.2. Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato.....	72
<b>II.8.3. Sistemas de compostaje.....</b>	<b>74</b>
<b>II.8.4. Calidad del compost. Parámetros a considerar y regulación .....</b>	<b>77</b>
<b>II.9. COMPOSTAJE DE ALPERUJO .....</b>	<b>85</b>
<b>II.9.1. Materias primas empleadas en el compostaje de alperujo.....</b>	<b>85</b>

II.9.2. Características del proceso de compostaje de alperujo.....	87
II.9.3. Características y calidad de los compost de alperujo .....	90
<b>II.10. APROVECHAMIENTO Y APLICACIONES AGRONÓMICAS Y</b>	
<b>MEDIOAMBIENTALES DEL COMPOST.....</b>	<b>93</b>
II.10.1. Aprovechamiento agronómico.....	93
II.10.2. Aprovechamiento como enmiendas orgánicas para la	
<b>Mejora del suelo .....</b>	<b>94</b>
II.10.2.1. Efecto sobre el suelo .....	95
II.10.2.2. Efectos del compost de alperujo.....	104
II.10.3. Aprovechamiento como abonos orgánicos y	
<b>órgano-minerales .....</b>	<b>106</b>
II.10.4. Aprovechamiento como sustrato de cultivo .....	107
II.10.5. Empleo para el control biológico frente a agentes	
<b>patógenos .....</b>	<b>109</b>
II.10.6. Empleo para la recuperación de suelos contaminados.....	112
II.10.7. Empleo como fuente de materia orgánica soluble.....	116
II.10.8. Otras posibles aplicaciones .....	118
<b>II.11. EL ACEITE DE OLIVA.....</b>	<b>121</b>
<b>II.12. COMPOSICIÓN MINERAL DE LA HOJA DE OLIVO.....</b>	<b>131</b>
<b>III. OBJETIVOS.....</b>	<b>137</b>
<b>IV. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>143</b>

---

<b>IV. MATERIAL</b> .....	145
<b>IV.1.1. Equipos</b> .....	145
<b>IV.1.2. Reactivos</b> .....	146
<b>IV.2. LOCALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS</b> .....	149
<b>IV.2.1. Parcelas de ensayo</b> .....	149
<b>IV.2.2. Planta de compostaje</b> .....	152
<b>IV.3. DISEÑO EXPERIMENTAL</b> .....	155
<b>IV.3.1. Tratamientos</b> .....	155
<b>IV.3.2. Compostaje de alperujo</b> .....	158
IV.3.2.1. Etapas de elaboración del compost .....	158
IV.3.2.2. Proceso de compostaje.....	163
IV.3.2.2.1. <i>Control de temperatura</i> .....	164
IV.3.2.2.2. <i>Control de la humedad</i> .....	164
IV.3.2.2.3. <i>Control de la aireación</i> .....	166
<b>IV.4. ETAPA DE PREPARACIÓN DE MUESTRAS</b> .....	167
<b>IV.4.1. Preparación de las muestras de hojas</b> .....	167
<b>IV.4.2. Preparación de las muestras de materias primas y</b> <b>compost</b> .....	168
<b>IV.4.3. Preparación de las muestras de fruto</b> .....	169
<b>IV.4.4. Extracción del Aceite de Oliva Virgen</b> .....	170
<b>IV.4.5. Preparación de las muestras de suelo</b> .....	172
<b>IV.5. DETERMINACIONES ANALÍTICAS</b> .....	173
<b>IV.5.1. Determinación de elementos minerales en hoja</b> .....	173

IV.5.1.1. Determinación de Nitrógeno.....	173
IV.5.1.2. Determinación de Fósforo .....	173
IV.5.1.3. Determinación de Boro .....	175
IV.5.1.4. Determinación de K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn.....	176
<b>IV.5.2. Determinaciones analíticas en compost y materias primas ..</b>	<b>178</b>
IV.5.2.1. Humedad .....	178
IV.5.2.2. Determinación del Carbono .....	179
IV.5.2.3. Determinación del pH y de la conductividad eléctrica (CE).....	179
IV.5.2.4. Contenido en polifenoles totales .....	180
IV.5.2.5. Determinación de elementos minerales .....	181
<b>IV.5.3. Caracterización del fruto .....</b>	<b>181</b>
IV.5.3.1. Peso medio .....	181
IV.5.3.2. Índice de madurez.....	182
IV.5.3.3. Humedad del fruto.....	183
IV.5.3.4. Contenido graso en fruto.....	183
<b>IV.5.4. Caracterización química del Aceite de Oliva Virgen .....</b>	<b>185</b>
IV.5.4.1. Parámetros de calidad reglamentada .....	185
IV.5.4.1.1. <i>Determinación de la acidez</i> .....	185
IV.5.4.1.2. <i>Determinación del índice de peróxidos</i> .....	186
IV.5.4.1.3. <i>Determinación de la absorbancia en el ultravioleta a 270 nm y 232 nm</i> .....	187
IV.5.4.2. Composición del Aceite de Oliva Virgen .....	188

IV.5.4.2.1. Ésteres metílicos de los ácidos grasos .....	188
IV.5.4.2.2. Contenido en polifenoles totales .....	189
IV.5.4.2.3. Medida del amargor ( $K_{225}$ ).....	190
IV.5.4.2.4. Estabilidad oxidativa .....	191
<b>IV.5.5. Caracterización de los suelos .....</b>	<b>191</b>
IV.5.5.1. Determinación de la textura (Método de Boyoucos) .....	191
IV.5.5.2. Determinación del pH.....	193
IV.5.5.3. Determinación del contenido de materia orgánica oxidable .....	193
IV.5.5.4. Determinación del Nitrógeno total .....	194
IV.5.5.5. Determinación del Fósforo asimilable .....	196
IV.5.5.6. Determinación del Potasio asimilable .....	197
<b>IV.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....</b>	<b>199</b>
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>201</b>
<b>V.1. ESTADO Y CONTROL DEL PROCESO DE COMPOSTAJE .....</b>	<b>203</b>
V.1.1. Caracterización de las materias primas.....	203
V.1.2. Elaboración del compost de alperujo .....	204
V.1.3. Control del proceso de compostaje .....	206
V.1.3.1. Temperatura.....	206
V.1.3.2. Humedad .....	209
<b>V.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS ENMIENDAS ORGÁNICAS .....</b>	<b>213</b>

<b>V.2.1. Caracterización físico-química de los compost .....</b>	<b>215</b>
<b>V.2.2. Caracterización del alperujo fresco.....</b>	<b>219</b>
<b>V.3. INFLUENCIA DEL TIPO DE FERTILIZACIÓN, INORGÁNICA Y</b>	
<b>    ORGÁNICA.....</b>	<b>223</b>
<b>V.3.1. Estado nutricional del olivo .....</b>	<b>223</b>
V.3.1.1. Nitrógeno .....	224
V.3.1.2. Fósforo.....	226
V.3.1.3. Potasio .....	229
V.3.1.4. Calcio y magnesio.....	232
V.3.1.5. Micronutrientes.....	233
<b>V.4. CARACTERÍSTICAS POMOLÓGICAS DEL FRUTO .....</b>	<b>237</b>
<b>V.5. CALIDAD Y COMPOSICIÓN DEL ACEITE DE OLIVA VIRGEN .....</b>	<b>243</b>
<b>V.5.1. Calidad Reglamentada.....</b>	<b>243</b>
V.5.1.1. Acidez .....	244
V.5.1.2. Índice de peróxidos.....	245
V.5.1.3. Absorbancia en el ultravioleta a 270 nm y 232 nm.....	246
<b>V.5.2. Calidad nutricional del Aceite de Oliva Virgen .....</b>	<b>247</b>
V.5.2.1. Amargor (K225).....	247
V.5.2.2. Polifenoles totales.....	249
V.5.2.3. Estabilidad .....	250
V.5.2.4. Ácidos grasos.....	252
<b>V.6. COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL SUELO .....</b>	<b>257</b>

**VI. CONCLUSIONES** .....271

**VII. BIBLIOGRAFÍA** .....277

# **ÍNDICE DE FIGURAS**



Figura II.1. Imagen de un olivo .....	8
Figura II.2. Raíces de olivo.....	9
Figura II.3. Hojas de olivo.....	10
Figura II.4. Aceitunas pertenecientes a distintas variedades de olivo .....	11
Figura II.5. Partes del fruto.....	11
Figura II.6. Consumo de productos fertilizantes NPK en España (MARM, 2013).....	17
Figura II.7. Tecnologías de extracción de aceite empleadas en los países europeos productores (IMPEI, 2003) .....	44
Figura II.8. Sistema de prensas para la extracción de Aceite de Oliva Virgen. Esquema del proceso .....	45
Figura II.9. Esquema de un decanter centrífugo de tres fases .....	47
Figura II.10. Esquema del proceso de extracción de Aceite de Oliva Virgen de tres fases .....	48
Figura II.11. Esquema del proceso de extracción de Aceite de Oliva Virgen de dos fases.....	50
Figura II.12. Evolución temporal de los principales parámetros de seguimiento y sucesión microbiana del proceso de compostaje .....	72
Figura II.13. Pila de compost con volteo dinámico .....	75
Figura II.14. Esquema de pilas de compostaje estáticas con aireación forzada .....	75

Figura II.15. Sistema de compostaje semi-cerrado .....	76
Figura II.16. Reactor horizontal rotativo .....	77
Figura IV.1. Vista aérea de la parcela en donde se aplican los distintos tratamientos fertilizantes objeto de esta Tesis Doctoral .....	149
Figura IV.2. Curvas de nivel de la parcela de ensayo .....	151
Figura IV.3. Planta piloto-experimental de compostaje de alperujo.....	152
Figura IV.4. Detalle del volteo de las pilas de compost .....	153
Figura IV.5. Diseño de la parcela de ensayo.....	156
Figura IV.6. Detalle de máquina esparcidora de compost en las parcelas de ensayo.....	157
Figura IV.7. Vista del alperujo en la mezcla inicial .....	158
Figura IV.8. Estiércol de oveja.....	159
Figura IV.9. Hoja procedente de la limpiadora .....	160
Figura IV.10. Dimensionamiento de la pila de compost .....	162
Figura IV.11. Aspecto inicial de la pila de compost I .....	163
Figura IV.12. Aspecto inicial de la pila de compost II .....	163
Figura IV.13. Zona de medida de la temperatura .....	164
Figura IV.14. Detalle de la medida de la temperatura .....	164
Figura IV.15. Riego y volteo de compost.....	166
Figura IV.16. Abencor .....	171

Figura V.1. Evolución de la temperatura a lo largo del proceso de compostaje para los cinco años de ensayo .....	207
Figura V.2. Evolución de la humedad a lo largo del proceso de compostaje para los cinco años de ensayo .....	210
Figura V.3. Contenido de nitrógeno en los árboles de las parcelas de ensayo para cada tratamiento de fertilización y año.....	226
Figura V.4. Contenido de fósforo en los árboles de las parcelas de ensayo para cada tratamiento de fertilización y año.....	228
Figura V.5. Contenido de potasio en los árboles de las parcelas de ensayo para cada tratamiento de fertilización y año.....	231
Figura V.6. Contenido de B, Zn, Cu, Fe y Mn en los árboles de las parcela de ensayo para cada tratamiento de fertilización y año.....	236
Figura V.7. Producción de Aceite de Oliva Virgen a lo largo de los cinco años de ensayo.....	240
Figura V.8. Amargor del Aceite de Oliva Virgen procedente de los distintos tratamientos de fertilización al quinto año de aplicación .....	248
Figura V.9. Contenido en polifenoles totales del Aceite de Oliva Virgen procedente de los distintos tratamientos de fertilización al quinto año de aplicación.....	250
Figura V.10. Estabilidad del Aceite de Oliva Virgen procedente de los distintos tratamientos de fertilización al quinto año de aplicación .....	251

- Figura V.11. Relación de ácidos grasos Insaturados/Saturados del Aceite de Oliva Virgen procedente de los distintos Tratamientos de fertilización al quinto año de aplicación ..... 255
- Figura V.12. Relación ácidos grasos Monoinsaturados/Poliinsaturados del Aceite de Oliva Virgen procedente de los distintos tratamientos de fertilización al quinto año de aplicación..... 256
- Figura V.13. Contenido de la materia orgánica total del suelo de olivar (0-20 cm de profundidad) al principio (inicio) y después de 5 años (quinto año) de aplicación agronómica de los Fertilizantes inorgánicos y diferentes enmiendas orgánicas .... 259
- Figura V.14. Contenido de nitrógeno total del suelo de olivar (0-20 cm de profundidad) al principio (inicial) y después de 5 años (quinto año) de aplicación agronómica de los fertilizantes inorgánicos y diferentes enmiendas orgánicas..... 262
- Figura V.15. Contenido de fósforo asimilable del suelo del olivar (0-20 cm de profundidad) al principio (inicial) y después de 5 años (quinto año) de aplicación agronómica de los fertilizantes inorgánicos y diferentes enmiendas orgánicas..... 265
- Figura V.16. Contenido de potasio asimilable del suelo olivar (0-20 cm profundidad) al principio (inicial) y después de 5 años (quinto año) de aplicación agronómica de los fertilizantes Inorgánicos y diferentes enmiendas orgánicas ..... 267

# **ÍNDICE DE TABLAS**



Tabla II.1. Características y composición de diferentes alperujos según diversos estudios .....	54
Tabla II.2. Clasificación de las metodologías utilizadas para el tratamiento del alpechín .....	57
Tabla II.3. Parámetros a considerar para valorar la calidad del compost .....	79
Tabla II.4. Parámetros a considerar para evaluar la calidad de un Compost dependiendo del uso final del mismo .....	80
Tabla II.5. Normativa española y propuesta europea referente a los requerimientos mínimos de calidad de compost .....	82
Tabla II.6. Relación de los compost de alperujo y parámetros químicos seleccionados en los mismos con objeto de su uso agrícola y medio ambiental .....	92
Tabla II.7. Efectos principales de los compost sobre las propiedades Y funcionalidad de los suelos cultivados .....	97
Tabla II.8. Componentes del aceite de oliva desde el punto de vista analítico .....	123
Tabla II.9. Composición en ácidos grasos del aceite de oliva según Norma Codex Alimentarias 1993 (en % m/m de ésteres metálicos) .....	124
Tabla II.10. Niveles críticos de nutrientes en hojas de olivo recogidas en julio .....	135
Tabla IV.1. Compuestos químicos.....	146
Tabla IV.2. Compuestos químicos. Continuación.....	147

Tabla IV.3. Parámetros físico-químicos del suelo perteneciente a la Parcela de olivar en estudio .....	150
Tabla IV.4. Dosis de aplicación de enmendantes orgánicos .....	157
Tabla IV.5. Composición de los distintos compost (% peso) .....	161
Tabla IV.6. Condiciones de análisis e intervalos de concentraciones de los patrones para los elementos minerales analizados en absorción atómica .....	178
Tabla V.1. Caracterización de las materias primas .....	204
Tabla V.2. Composición de los distintos compost .....	205
Tabla V.3. Requisitos que deben cumplir los compost de alperujo, Especificaciones en el Anexo I de la Orden PRE/630/2011, de 23 de marzo, por la que se modifican los anexos I a VI del Real Decreto 824/2005 sobre productos fertilizantes .....	214
Tabla V.4. Caracterización físico-química del compost I y compost II .....	216
Tabla V.5. Caracterización físico-química media de los años de estudio del alperujo fresco utilizado .....	220
Tabla V.6. Contenido de nitrógeno (N) en la hoja de olivo .....	224
Tabla V.7. Contenido de fósforo (P) en la hoja de olivo .....	227
Tabla V.8. Contenido de potasio (K) en la hoja de olivo .....	230
Tabla V.9. Contenido de calcio (Ca) y magnesio (Mg) en la hoja de olivo .....	232
Tabla V.10. Caracterización del fruto de los tratamientos de fertilización al quinto año de aplicación .....	238

Tabla V.11. Parámetros de calidad del Aceite de Oliva Virgen procedente de los tratamientos al quinto año de aplicación .....	244
Tabla V.12. Composición acídica del Aceite de Oliva Virgen procedente de los distintos tratamientos de fertilización al quinto año de aplicación. Resultados expresados en % .....	253
Tabla V.13. Valores de pH y textura del suelo de olivar (0-20 cm de profundidad) al principio y tras cinco años de aplicación agronómica de diferentes compost.....	258



## **I. RESUMEN**



Los problemas medioambientales producidos en la década de los 90 por la industria de extracción de aceite de oliva por vertidos de alpechines a ríos, contaminación de suelos, aguas superficiales, etc., provocó una reforma tecnológica importante de este sector originando la modernización del proceso por la sustitución de los sistemas de extracción de tres fases por extracción continua mediante centrifugas horizontales de dos fases. Sistema ventajoso porque, permite eliminar gran parte de los efluentes líquidos que tantos problemas planteaban. Estos cambios dieron lugar a la generación de un nuevo subproducto, un orujo más húmedo al que se obtenía con el sistema de tres fases, denominado alperujo. Debido a la carga de este subproducto, es un hecho, que las vías de utilización y aprovechamiento que de él se obtengan, son fundamentales para su uso sostenible en la agricultura.

Actualmente, las grandes cantidades de alperujo generadas en las distintas campañas productivas del olivar, así como, la escasez del contenido en materia orgánica de los suelos agrícolas y el incremento de la pérdida de medio de cultivo por erosión, han hecho que surjan iniciativas donde se opta por la valorización de este subproducto, aprovechando sus propiedades fertilizantes (nutrientes minerales) y como enmendante orgánico (materia orgánica).

La aplicación al suelo de la materia orgánica contenida en estos subproductos, estabilizada mediante compostaje, es el uso más adecuado para éstos ya que confiere al mismo una mejora en sus propiedades físico-químicas enriqueciéndolo en compuestos similares a las sustancias húmicas y aumentando la disponibilidad de nutrientes. Por medio de este proceso de compostaje, se busca que aquellas características que hacen del alperujo una sustancia que pueda afectar negativamente al suelo, sean mejoradas y corregidas.

Por todo ello y en especial teniendo en cuenta las características que hacen del compost de alperujo un buen fertilizante y enmendante orgánico, en esta Tesis Doctoral, se estudia la influencia, en el olivar, de distintos tipos de compost elaborados (compost I y compost II) y alperujo fresco sin compostar, junto a un abonado mineral característicos de olivar tradicional, analizando su influencia en el estado nutricional de los árboles, en la composición físico-química del suelo, en características físico-químicas del fruto y en la calidad y composición nutricional del Aceite de Oliva Virgen obtenido.

## **II. INTRODUCCIÓN**



## II.1. EL OLIVO, SU ORIGEN E HISTORIA

Según Zohary y Spielgel-Roy (1975), el cultivo del olivo tuvo su origen cuatro milenios a.C. al norte del mar Muerto, y para Vavilov (1951), el origen del olivo cultivado, proviene del denominado creciente fértil, situado en Siria e Irán. Pudiendo iniciarse ello, mediante clonación (multiplicación asexual o vegetativa), dado que dicho cultivo posee una gran capacidad de propagación, al igual que la vid, la palmera datilera o la higuera, que fueron las primeras especies frutales cultivadas, ocurriendo ello, mediante propágulos de gran tamaño, como la estaca, plantón o garrote (Zohary y Spielgel-Roy, 1975). Fue precisamente en el área de origen, en la que existían numerosas poblaciones de olivos silvestres, donde primero se empezará a domesticar.

En España, el cultivo se introdujo con los fenicios, pero fueron los romanos los que lo expandieron y mejoraron las técnicas de producción de aceite. Hacia el siglo X a.C. se introdujo en Andalucía, a partir del momento en que los fenicios establecieron las primeras factorías en el Río Guadalquivir. Con el imperio romano alcanzó su mayor esplendor, siendo el sur de la península una zona de gran producción y comercio del aceite de oliva, lo que se mantuvo con la dominación islámica (Zahory y Hopf, 1994).

En el continente americano, el olivo se introdujo en el S. XVI en Perú, a través de los misioneros y de aquí se fue expandiendo a lo largo del mismo (Fiorino y Nizzi-Grifi, 1992).

Entre finales del S.XIX y principios del S.XX, el cultivo se extendió a otros países, como Australia, África del Sur, China, India, Japón, Paquistán, Nueva Zelanda, Nepal, Tailandia, etc. (del Río y Caballero, 1999).

Hay que señalar que los términos aceite y aceituna derivan del vocablo griego, `az-zait´ (jugo de aceituna) y `zaitum´, que proviene del hebreo `zait´ (aceituna).

El olivo (*Olea europaea* L.) pertenece a la familia botánica *Oleaceae*, de árboles y arbustos, a veces trepadores, en la que también destacan especies como el fresno, jazmín, etc. Al género *Olea* corresponden los olivos cultivados y los acebuches, siendo el olivo, la única especie con fruto comestible incluida en dicho género.

De acuerdo con Rapoport (2008), el olivo es un árbol de tamaño mediano que llega a alcanzar de 4 a 10 metros de altura; se trata de un árbol polimórfico que adquiere gran cantidad de formas en fase juvenil y adulta, dependiendo de la variedad, de tronco grueso, color gris-verde grisáceo y copa redondeada más o menos lobulada.



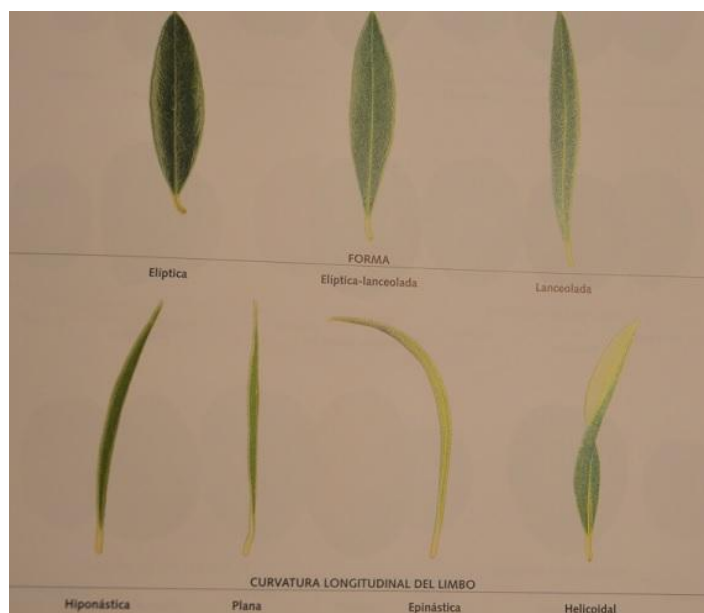
**Fig. II.1.** Imagen de un olivo

El desarrollo radicular depende de su origen y condiciones de cultivo. Así, si proviene de semilla, desarrolla una raíz principal que está presente los primeros años, sin que se formen raíces laterales importantes; si por el contrario proviene de enraizamiento de estaquillas, entonces desarrolla raíces adventicias en la zona basal y la mayoría de ellas se comportan como raíces múltiples principales en el árbol. La profundidad y el desarrollo, dependen en buena medida del tipo de suelo, contenido en humedad y aireación del mismo (Fernández y cols., 1991).



**Fig. II.2.** Raíces de olivo

Su hoja es simple, de forma lanceolada y con bordes enteros. La nervadura central es muy marcada y las secundarias muy poco aparentes. El pecíolo es corto y presenta una capa gruesa de cutícula en el haz. El envés es blanco plateado con pelos aparasolados. Sus hojas se disponen de forma decusada a lo largo del tallo (Rapoport, 2008).



**Fig. II.3.** Hojas de olivo

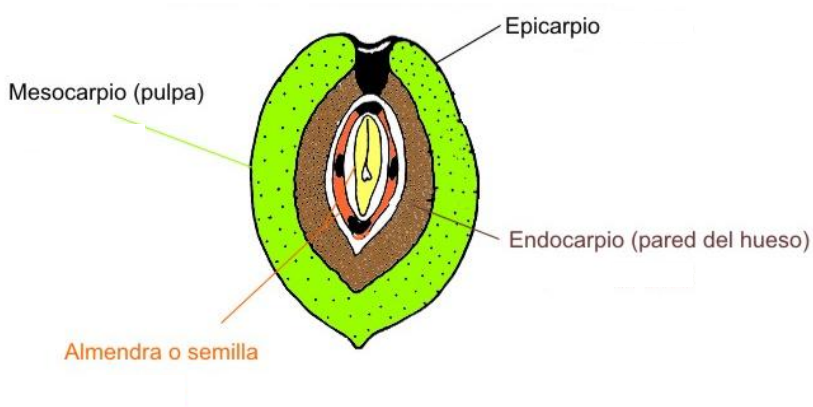
La inflorescencia es una canícula, que posee un eje central del que salen ramificaciones que a su vez también pueden ramificarse. En las ramificaciones de las inflorescencias, las flores pueden estar aisladas o formar grupos de tres a cinco, que pueden ser perfectas y estaminíferas. Las perfectas son hermafroditas y están compuestas de estambres y pistilo, bien desarrollados, que luego darán lugar al fruto. Las estaminíferas o masculinas, tienen el ovario rudimentario o ausente y consecuentemente, no darán lugar a la formación del fruto. La presencia de flores imperfectas puede llegar hasta el 50% en años normales.

El fruto del olivo, la aceituna, es de tamaño pequeño, de forma elipsoidal a globosa según las variedades; normalmente, tiene una longitud entre 1 - 4 cm y 0.6 - 2 cm de diámetro. Entre las variedades con fruto de tamaño grande destaca 'Gordal Sevillana', que se destina para mesa, y entre las de tamaño pequeño 'Arbequina', cuyo destino fundamental es la producción de aceite.



**Fig. II.4.** Aceitunas pertenecientes a distintas variedades de olivo

La aceituna es una drupa, fruto con una sola semilla compuesto por tres tejidos principales: endocarpo, mesocarpo y exocarpo. El endocarpo es el hueso en cuyo interior se encuentra la semilla, el mesocarpo la pulpa o carne, y exocarpo la piel o capa exterior compuesta por la epidermis con su cutícula, que es la capa gruesa protectora.



**Fig. II.5.** Partes del fruto

A nivel mundial, existen 10 millones de hectáreas de olivar y 1000 millones de olivos, de los cuales el 98% se encuentran en los países de la

cuenca Mediterránea, el 1.2 % en el continente americano, un 0.4% en Asia oriental y el 0.4% en Oceanía.

La superficie de olivar en España es de 2.503.675 hectáreas (MAGRAMA, 2012), lo que supone casi el 25% de la superficie mundial. De esta superficie, Andalucía cuenta con 1.540.426 ha (61%), concentrándose el 38 % en la provincia de Jaén (MAGRAMA, 2012).

En cuanto a producción de Aceite de Oliva Virgen, en el mundo se producen cerca de 2.5 millones de toneladas, de los cuales, España produce 618.000 de toneladas, concentrándose el 77% en Andalucía (COI, 2013). En España existen 1.765 almazaras, 822 de las cuales se encuentran en Andalucía (aica, 2015), siendo en esta comunidad autónoma donde se concentra el mayor porcentaje (46%), acumulándose en Jaén, el 40% de las industrias ubicadas en esta CCAA.

Por otra parte, si se considera el orujo sin desgrasar, España produjo cerca de 2.5 millones de toneladas, de las cuales, el 79% en Andalucía (MAGRAMA, 2012).

## II.2. HISTORIA DE LA FERTILIZACIÓN

El aporte de nutrientes al suelo para obtener una repercusión productiva, no es una práctica moderna. Se puede decir, en todo caso, que ha cambiado drásticamente la forma y la capacidad para realizarse, lo que tiene efectos positivos al permitir la alimentación de una población en rápido crecimiento, pero también presenta riesgos ambientales y sanitarios que se han ido manifestando y que deben ser corregidos y prevenidos para mantener los recursos, fundamentalmente del agua y del suelo, compatibilizándolo con las altas producciones necesarias.

Cabe establecer, en la historia de las prácticas de fertilización, dos grandes etapas bien diferenciadas. La primera, desde los inicios de la agricultura hasta el siglo XVI d. C., denominada *empírica*; y la segunda, hasta nuestros días, en la que se introduce el conocimiento científico de los elementos químicos componentes de la materia vegetal y la posibilidad de aportar esos componentes al suelo.

### II.2.1. La Agricultura empírica

Los primeros aportes de estiércol al suelo, con intención de mejorar las cosechas, de los que se tienen noticias, están datados hacia el 4000 a. C. Prácticamente desde los inicios de la agricultura, el hombre comprobó el efecto positivo de los aportes orgánicos. También, es conocido desde muy antiguo el efecto positivo de las leguminosas, utilizándose como cultivo mejorante de suelo, o incluso en cultivos asociados. Estas prácticas reproducen en el cultivo situaciones observadas en la naturaleza.

El uso de estiércoles, de restos orgánicos o de residuos domésticos como cenizas, y también la introducción de cultivos “mejorantes” en la rotación,

son técnicas de las que existe un conocimiento ancestral. El uso de estos productos o técnicas tradicionales en la agricultura, se ha basado en un conocimiento empírico, adquirido a través de la observación de sus efectos durante generaciones. Sin embargo, la disponibilidad de nutrientes para aportar al suelo queda prácticamente limitada a la presencia de ganadería productora de estiércol.

### **II.2.2. La Agricultura científica**

El conocimiento científico de la necesidad de aportes fertilizantes al suelo puede considerarse que arranca con la publicación, en 1840, de la obra de Justus von Liebig “Química en relación con la agricultura y el crecimiento de las plantas”.

Fue Liebig, quien enunció la “Ley del mínimo” según la cual, “un elemento que falte, o que se halle presente en una cantidad insuficiente, impide a los restantes producir su efecto normal o por lo menos disminuye su acción nutritiva”, siendo esta, la base de la fertilización moderna, que se fundamenta en el método científico, pero que, necesariamente, está menos introducida en el acervo cultural del agricultor.

Aún después de Liebig, las técnicas de fertilización modernas requerirán algunos conocimientos adicionales, como la diferencia entre fertilizantes más o menos solubles, o las técnicas analíticas necesarias para determinar los elementos asimilables presentes en el suelo. Y, sobre todo, se requerirá la capacidad de producción de fertilizantes que permitiesen eliminar ese “factor limitante” en particular, que permitiesen aportes importantes de nitrógeno.

El primer fertilizante nitrogenado comercializado en Europa fue el nitrato

sódico, procedente de depósitos naturales en Chile, que comenzó a importarse hacia los años 1830. La producción de superfosfato simple a escala industrial, comenzó en Inglaterra en 1843 y la primera mina de potasio se abrió en Alemania en 1862.

La producción de nitrógeno, procedente de las minas chilenas o de algunos subproductos industriales, se manifestó pronto escasa, y a partir de 1900 surge la necesidad de disponer de mayores fuentes de este elemento. La síntesis de sustancias nitrogenadas se inicia en Noruega en 1905 utilizando el sistema del arco eléctrico, pero no prospera a nivel industrial hasta que el químico alemán Fritz Haber descubre, en 1910, el sistema de fijación de nitrógeno atmosférico produciendo amoníaco; descubrimiento que le valió el premio Nobel en 1918.

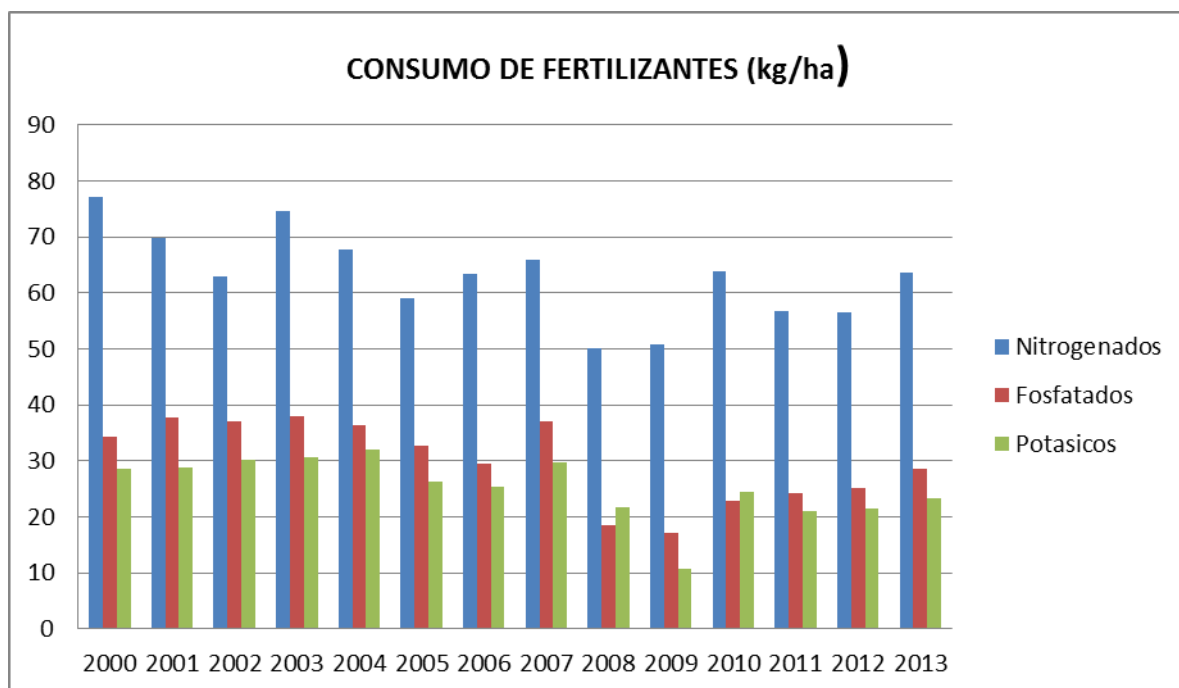
El método Haber requería el aporte de grandes presiones y temperaturas lo que dificultaba su aplicación industrial. Fue el químico alemán Carl Bosch quien las solventó, y la primera planta, por el sistema Haber-Bosch entró en funcionamiento en Alemania en 1913. El primer uso del amoníaco obtenido fue militar, siendo utilizado por los alemanes en la guerra química, durante la I Guerra Mundial, de cuya aplicación fue responsable Fritz Haber, y pronto se extendió su producción con fines agrícolas.

A partir de los años 50 del siglo XX, fue posible disponer, de forma paulatina, de los elementos nutrientes mayoritarios para las plantas, en cantidades muy superiores a las que se conocían hasta ese momento, pues se encontraban limitadas por la disponibilidad de estiércoles. También se introdujeron técnicas de análisis de suelos y fertilizantes que permitieron evaluar las necesidades de fertilizante.

Consecuencia de lo anterior fue que en cien años, la producción media de cereales en Europa Occidental, se incrementó desde los 1000 kg ha<sup>-1</sup>, hasta los 1600 kg ha<sup>-1</sup> alcanzados en los primeros años 50 del pasado siglo.

A partir de 1950, y sobre todo desde el final de la década de los 60, se fueron introduciendo nuevas variedades de cereales que eliminaban los problemas generados por la alta disponibilidad de nitrógeno. Esto permitió seguir incrementando las producciones con mayores aportes nitrogenados. El consumo de fertilizantes en Europa Occidental, aumentó rápidamente hasta alcanzar el máximo, para el fósforo y el potasio, a mitad de los años 70; mientras que el consumo de nitrógeno siguió incrementándose hasta mediados de los años 80. Posteriormente, el consumo se ha mantenido o ha decaído, como consecuencia de la mejora en las técnicas agrícolas y del uso más eficiente de los estiércoles y restos orgánicos (Isherwood, 2005).

En España, se ha observado una tendencia ascendente en el consumo de fertilizantes hasta el año 2008 que desciende notablemente, según datos provisionales de MAGRAMA (Fig. II.6). Así, la cantidad de fertilizantes por hectárea aplicada en 2008, ha descendido un 30.2% con relación al año anterior, pasando de los 132.5 kg/ha en 2007 a 92.4 kg/ha en 2008. Esta disminución registrada en los tres tipos de fertilizantes, queda especialmente patente en los fertilizantes fosfatados, que disminuyeron un 49.6% con respecto al año anterior; de igual modo, los abonos nitrogenados y potásicos sufrieron una reducción en su consumo del 23.3% y 26.0%, respectivamente.



**Fig. II.6.** Consumo de productos fertilizantes NPK en España (MARM, 2013)

La causa de esta reducción en el uso de fertilizantes, se puede atribuir al importante aumento en los precios de estos compuestos, que se inicia en el año 2007 y alcanza su máximo en el 2008. De forma que, las explotaciones agrarias españolas no pueden absorber este espectacular aumento de precios que repercute de forma directa en los costes de explotación.



### **II.3. EFECTOS DE LOS FERTILIZANTES**

La disponibilidad de fertilizantes minerales, ha hecho posible revolucionar el ciclo del carbono para producir más alimentos y mantener una población mucho mayor, sin embargo, el uso generalizado de formas de dichos fertilizantes, a menudo muy solubles, ha llevado consigo la generación de algunos efectos no deseables cuyo desarrollo se ha detectado en los últimos decenios. Hoy, se trata de adoptar medidas para reducir los efectos adversos, desde el convencimiento de que la práctica de la fertilización de los suelos agrícolas es imprescindible.

#### **II.3.1 Efectos positivos de la fertilización**

El examen de la evolución de la población humana, da idea de la creciente demanda de alimentos existentes, siendo básicamente las técnicas de cultivo aplicadas en la agricultura, y entre ellas la fertilización, las que han hecho posible responder a esa demanda.

La especie humana apareció sobre la tierra hace aproximadamente 500.000 años, y en el momento que se inicia la práctica de la agricultura, entre 8000 y 11000 años, se puede suponer una población mundial de 5 millones de personas. Actualmente, el ritmo de crecimiento de la población mundial es de casi 7 millones de personas al mes, 84 millones al año, lo que supone aproximadamente dos veces la población de España, (Sartori, G. 2003). Ello implica que cada día hay que proveer alimentos para una nueva ciudad de 240.000 habitantes.

El crecimiento cada vez más acelerado de la población, ha tenido una correspondencia en mejoras de la capacidad de obtención de alimentos. En los primeros tiempos de la agricultura, el incremento de la producción se

conseguía incrementando la superficie de tierras de cultivo (sistema que también fue utilizado a principios del siglo XX). Después, mediante mejora genética de los cultivos, (especialmente los cereales desde mediados del siglo pasado), y también, mejorando la nutrición de los cultivos mediante fertilizantes.

Si bien en algunos casos, en países desarrollados, esta nueva agricultura ha llevado a la generación de importantes excedentes de alimentos, es cierto que la disponibilidad de nutrientes minerales asimilables por las plantas es hoy imprescindible para el mantenimiento de la población.

En el año 2000, se produjeron en el mundo 2.000 millones de toneladas de cereal. Asumiendo que una persona requiere 200 kg anualmente (2000 a 2200 kilocalorías diarias), esa producción puede abastecer a unos 10.000 millones de personas, que es la población prevista para mediados del siglo XXI (Ryuichi Ishii, 2005).

Las altas producciones conseguidas tras la denominada “Revolución Verde”, se fundamentan en elevados insumos de energía y productos, entre ellos fertilizantes minerales, y existen hoy tendencias hacia la reducción de insumos, pero no se pueden sacrificar las altas producciones. El reto está en conseguir una agricultura sostenible manteniendo altos rendimientos (Ryuichi Ishii, 2005).

Por otra parte, desde un punto de vista ambiental, no debe olvidarse que la producción agraria tiene un importante efecto como “sumidero” de carbono, de modo que las elevadas producciones que son posibles gracias a la aportación de nutrientes al cultivo, significan también una mayor utilización de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera y su fijación en forma de alimentos o de materia orgánica del suelo.

### II.3.2 Efectos perniciosos de la fertilización

Al respecto, hay que indicar que ya en 1971, la publicación “Land Degradación”, de la FAO, se interesaba por la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de actividades agrícolas, si bien en aquella época no parece que se evaluase como un problema importante (Porta y cols., 1999).

El Instituto Europeo del Agua destacaba, en un informe realizado en 1990, la existencia de un aumento preocupante de los niveles de nitratos en el medio acuático, con dos importantes consecuencias:

- Una peligrosa degradación de la calidad del agua de abastecimiento a poblaciones
- La eutrofización de las aguas continentales y costeras

Según Silveira (2005), el contenido de nitrato en el agua se viene incrementando desde la era pre-industrial con las actividades del hombre, lo que ha acelerado el ritmo al que el nitrógeno atmosférico es fijado y puesto en circulación.

Parece claro que existe una relación directa entre el incremento del contenido de nitratos en las aguas freáticas y el uso de fertilizantes nitrogenados. Los investigadores Fushiwaki y Magara realizaron, en el año 2005, un análisis de la relación existente entre la polución del agua y diferentes factores, entre ellos la densidad de población, la precipitación anual, el uso de fertilizantes por unidad de superficie y los excrementos de ganado por unidad de superficie; de todos ellos, sólo el uso de fertilizantes nitrogenados resultó estadísticamente relacionado con la contaminación por nitratos.

Los suelos, de forma natural, contienen nitrógeno orgánico e inorgánico,

y este último se encuentra mayoritariamente en la forma de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ). En suelos que reciben elevados aportes de fertilizantes, o con elevadas cargas ganaderas, o también en aquellos donde la absorción de nitrógeno es pequeña, es posible que exista una elevada concentración de nitrógeno en forma de nitratos, y la cantidad de estos que quedará acumulada en el suelo o que será arrastrada hasta la capa freática, según Verheye. W (2005), depende de los siguientes factores:

- Cantidad de nitratos en el suelo
- Intensidad de lluvia
- Riego
- Textura y permeabilidad del suelo
- Extracciones de nitrógeno por los cultivos

El nitrato es una forma de nitrógeno que se presenta habitualmente en la naturaleza y que no es tóxica como tal; siendo normal un cierto contenido en las aguas freáticas y más en las superficiales. La peligrosidad de los nitratos, radica en su alta solubilidad y en la facilidad con la que puede reaccionar con otras sustancias. La presencia de nitratos en las aguas origina dos problemas importantes, uno de tipo sanitario que puede afectar a personas y animales, y otro de tipo ambiental, que afecta a las aguas superficiales.

Una vez ingerida, la forma nitrato es reducida en nuestro organismo, a nitrito por la actividad bacteriana del tubo digestivo. El nitrito originado, pasa a la sangre y oxida el hierro de la hemoglobina, formando metahemoglobina perdiendo su capacidad de transporte de oxígeno a las células. (Fushiwaki y Magara, 2005). La transformación de nitrato a nitrito requiere unas condiciones de menor acidez en el estómago, que sólo se da en los bebés de hasta 6 meses de edad, por lo que es este el grupo de población en riesgo al consumir elevadas cantidades de nitrato. También los animales rumiantes presentan, en

el tubo digestivo, condiciones favorables a esa transformación de los nitratos y por tanto, son susceptibles de sufrir intoxicaciones por nitrato.

Por otra parte, en el estómago, los nitratos y los nitritos pueden originar nitrosaminas, sustancias que son reconocidas como cancerígenas, relacionándose la ingestión de nitratos con el cáncer de tubo digestivo en adultos. Pese a que esta relación no se ha probado, sí parece recomendable mantener la ingesta de nitratos tan baja como sea posible (Schenk, 2005), y hay que tener en cuenta que en torno al 20 % de los nitratos ingeridos por la población procede del agua de bebida y el 70 % de la ingesta de alimentos, especialmente vegetales frescos (Schenk, 2005).

Con respecto al aspecto ambiental del problema, ha de tenerse en cuenta que la disponibilidad de nitrógeno asimilable es un factor limitante para el crecimiento de todas las especies en la mayor parte de los ecosistemas terrestres. La desaparición de nitratos, de la zona de raíces del cultivo, significa que en un plazo indeterminado, esas cantidades de nitrógeno mineral aparecerán primero en las aguas freáticas, y más tarde en las aguas superficiales. En estas últimas, con disponibilidad de otros nutrientes y de luz, la población de algas se multiplica (y también la del resto de seres vivos que se alimentan de ellas), pudiendo llegar a consumir gran parte del oxígeno disponible en el agua. A este problema se le denomina “eutrofización”, y deriva finalmente en la muerte de toda la materia viva y en la putrefacción de las aguas.

Como nivel de protección, las diferentes Administraciones Públicas han adoptado límites para el nitrógeno presente en forma de nitrato o nitrito en las aguas, se encuentra en torno a los 10 mg de nitrógeno por litro, para ser consideradas aptas para el consumo. Este estándar se establece muy por debajo del nivel al que se han observado ocasionalmente problemas sanitarios,

y siendo por tanto, un cálculo conservador (Lee, 1970).

Dicha cifra, que equivale aproximadamente a 45 mg de nitratos por litro, había sido adoptada, en 1971 por el U.S. Public Health Service como límite máximo admisible para aguas de consumo, y fue mantenida posteriormente, por la U.S. Environmental Protection Agency en 1977 (Porta y cols., 1999).

La Directiva de la Comisión Europea sobre calidad de agua destinada a consumo humano (98/83/CE), de 3 de noviembre, fija una concentración máxima de 50 mg de nitratos por litro de agua, e indica que se velará para que a la salida de las instalaciones de tratamiento de aguas se respete la cifra de 0.10 mg/L para los nitritos y se cumpla la condición de que  $[NO_3]/50 + [NO_2]/3 \leq 1$ . Posteriormente, la Directiva 91/676/CEE, de 12 de diciembre, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos de origen agrícola, adopta también esa cifra máxima para evaluar el estado de las aguas freáticas.

Otro efecto ambiental de la fertilización, es el desprendimiento de amoníaco y de óxidos de nitrógeno a la atmósfera. Estos gases tienen mayor efecto invernadero que el dióxido de carbono (en el caso del óxido nitroso 200 veces más), y es un aspecto que si bien es de importancia, actualmente se le dedica poca atención.

En España existen cerca de 6 millones de hectáreas declaradas como Zonas Vulnerables que han de seguir estrictos programas de actuación con el principal objetivo de disminuir las cantidades lixiviadas. En este sentido, todas las Comunidades Autónomas han publicado sus Códigos de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), con especial atención al control de la fertilización nitrogenada, dentro del cumplimiento de la directiva europea relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura

(Directiva 91/676/CEE). Además, en la actualidad existen sistemas de producción en los que el control de la fertilización es un elemento importante, como son la Producción Integrada y la Agricultura Ecológica.



#### **II.4. LA IMPORTANCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA (MO) EN EL SUELO**

Los suelos agrícolas se caracterizan por contener menores cantidades de materia orgánica que los suelos forestales, y la intensificación de la gestión de los suelos agrícolas que ha ocurrido en Europa durante la segunda mitad del siglo XX, ha resultado en una disminución destacable del contenido de materia orgánica del suelo (Maljean y cols., 2004).

Con niveles de carbono orgánico en suelos agrícolas del área templada, por debajo de un umbral del 1% (Loveland y Webb, 2003) el funcionamiento del sistema suelo-cultivo podría quedar comprometido incluso cuando se suministran los fertilizantes minerales adecuados, así como podrían dar lugar a suelos degradados físicamente, que en condiciones agroclimáticas límite, como son climas secos y semiáridos, podrían desencadenar la desertización del territorio. Así, si este umbral de carbono orgánico es inferior al 2%, pueden producirse pérdidas importantes de la calidad del suelo (Loveland y Webb, 2003) originándose una disminución de la estabilidad estructural y un aumento de la erosión.

Se estima que en Europa, un 16% del territorio cultivado es vulnerable a la desertización (Holland, 2004), si bien este porcentaje puede ser superior en la zona mediterránea, no existiendo en España muchos estudios que aporten datos propios sobre los procesos edáficos (degradación física, pérdida de materia orgánica) asociados al cambio climático o a la intensificación de la agricultura (Vallejo y cols., 2005).

La importancia de la materia orgánica en el suelo, no sólo radica en los nutrientes que aporta al mismo favoreciendo su fertilidad a largo plazo, si no también, y en mucha mayor medida, en los efectos beneficiosos que tiene su

aplicación sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

El desgaste del carbono en los suelos, se ha producido principalmente por efecto de la erosión, oxidación del carbono por efecto del laboreo, quema de rastrojos y ausencia de incorporación de enmiendas orgánicas y/o uso de abonos verdes.

En los últimos treinta años, la fertilización inorgánica ha sido la más empleada, induciéndose un desgaste de la materia orgánica nativa del suelo, lo que ha provocado un deterioro de la condición física, afectando principalmente a la porosidad, retención de humedad, velocidad de infiltración, estructura y aireación del suelo. Todo esto afecta significativamente al crecimiento de raíces, lo que a su vez deteriora el crecimiento aéreo y la calidad de los frutos cosechados.

La ausencia de programas definidos para el mantenimiento de la materia orgánica de los suelos, obedece al hecho de que la mayoría de los especialistas en fertilidad de suelos, han considerado esta solamente fundada en principios químicos. Es decir, que la productividad agrícola sería posible mantenerla a partir de una exclusiva fertilización inorgánica. Este planteamiento ha ignorado la importancia de las condiciones físicas y biológicas del suelo, que tienen una enorme trascendencia sobre la disponibilidad del agua, patógenos y biodisponibilidad de los nutrientes.

Actualmente, se tiene asumido que las fuentes naturales de materia orgánica del suelo, empiezan a agotarse como consecuencia de los incendios, la tala abusiva de árboles, la ganadería extensiva y las prácticas agrícolas inadecuadas, entre otros factores. Por lo tanto, se hace necesaria la búsqueda de nuevas fuentes, éstas pueden ser los residuos orgánicos de diferentes orígenes, siempre que tengan un nivel de materia orgánica adecuado,

resultando de gran interés el empleo de aquellos materiales que tengan bajo coste, sean abundantes y su acumulación constituya un problema medioambiental.

La aplicación de materia orgánica en el suelo tiene ventajas que han sido indicadas por numerosos autores (Roig y cols., 1987; Reeves, 1997; Albiach y cols., 2001), y el mantenimiento de un balance positivo de materia orgánica en ellos, permite mantener la fertilidad de los mismos, alcanzando unas condiciones adecuadas para una producción sostenible.

El nivel de materia orgánica contenida en los suelos suele ser del orden del 1 al 3% (Schnitzer, 2000; Rees y cols., 2001; Labrador y cols., 2001), siendo conocidos, en el área mediterránea, sus bajos niveles (Rashid y Ryan, 2004). En estas condiciones y en particular en los sistemas intensivos, se estima que la pérdida de humus por los procesos de mineralización natural es de unos 1000 a 2000 kg/ha/año.

Se debe de tomar conciencia de la importancia y del significado ecológico de la materia orgánica, así como del creciente interés que está tomando la incorporación de restos orgánicos al suelo como una forma adecuada de reutilizar, aprovechar y revalorizar los residuos orgánicos en el reciclado de nutrientes. Todo ello, en la búsqueda de un balance adecuado entre los procesos de humificación, mineralización y extracción por las cosechas con el aporte de nutrientes minerales y/u orgánicos, pero con la consiguiente mejora de las características y productividad de los suelos.

Además, para alcanzar y mantener un balance positivo de nutrientes y materia orgánica en el suelo, es necesario realizar buenas prácticas agrícolas tales como el mínimo laboreo, rotación y asociación de cultivos, etc.

Un hecho constatado por numerosos autores es la alta relación entre el contenido de materia orgánica y la calidad o capacidad productiva en los suelos (Smith y cols., 1993), de donde se infiere que la aplicación de residuos orgánicos de alta calidad, puede constituir una vía interesante para la regeneración de los suelos degradados o para el mantenimiento duradero de la fertilidad de los mismos.

El aprovechamiento de los residuos en la agricultura, recobra importancia también como una forma de reducir la emisión de gases de efecto invernadero, pues por un lado, se reduce la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, y por otro, se favorece su captura en forma de biomasa vegetal, materia orgánica, etc. (Hayes y Clapp, 2001; Spaccini y cols., 2002; Porta y cols., 2003).

El uso y aprovechamiento de los residuos agropecuarios como fuente de materia orgánica en la agricultura, se viene practicando desde las antiguas civilizaciones, y los estiércoles de distintos tipos de ganado, se han usado normalmente como fuente de nutrientes y humus en los suelos de cultivo. Pero en la actualidad, ante la carencia de las enmiendas orgánicas de alta calidad o debido al aprovechamiento alternativo de los residuos agrícolas en la elaboración de biocombustibles, los productos orgánicos derivados de los residuos urbanos y de la industria agroalimentaria, pueden ser una alternativa al uso tradicional de los estiércoles (Pomares y cols., 2005a; Pomares y Albiach, 2005b), o pueden complementar el uso de los estiércoles y residuos agrícolas en determinadas zonas de producción agropecuaria.

No obstante, con la aplicación directa al suelo de los residuos orgánicos alternativos a los estiércoles, también es común que se presenten algunos efectos fitotóxicos, problemas de salinidad, alteraciones en la disponibilidad de nitrógeno o la contaminación con elementos pesados (Maynard, 1996; Obreza

y Reader, 1994; Baca y cols., 1995; Chaoui y cols., 2003), en niveles que dependen, entre otros factores, tanto del tipo como de las características y las dosis aplicadas de los residuos. Una reducción considerable de estos efectos negativos puede lograrse mediante el tratamiento de los referidos residuos con técnicas de compostaje.

#### **II.4.1 Influencia de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo**

El color oscuro en los suelos es debido a la presencia de materia orgánica, facilitando el calentamiento del mismo al aumentar la absorción de las radiaciones solares y favoreciendo, por lo tanto, la germinación, crecimiento y actividad microbiana de los mismos (Stevenson, 1994).

Muchos de los efectos positivos de la materia orgánica en el suelo, resultan de la mejora en su estructura, ya que productos procedentes del metabolismo microbiano, tales como polisacáridos, sustancias húmicas y células microbianas (principalmente los micelios de los hongos), son los responsables de la unión de las partículas del suelo para la formación de agregados y de su estabilidad frente al agua (Tate, 1987), debido a su función como agentes cementantes. Al mismo tiempo, la formación de complejos arcillo-húmicos repercute directamente sobre la estabilidad estructural del suelo.

Una mejora en la estructura de los suelos, repercute positivamente sobre la porosidad de los mismos, aumentando su capacidad de infiltración de agua a lo largo del perfil de suelo, incrementando la permeabilidad y confiriéndole una adecuada relación agua-aire.

En este sentido, y debido a las mejoras en las propiedades físicas de los

suelos, éstos poseen una mayor estabilidad frente a agentes atmosféricos y por lo tanto, el riesgo a la erosión se ve disminuido.

#### **II.4.2 Influencia de la materia orgánica sobre las propiedades químicas del suelo**

La materia orgánica constituye una fuente de nutrientes para las plantas y los microorganismos, pues elementos como N, P y S, quedan disponibles a través de procesos de mineralización llevados a cabo por los microorganismos del suelo. Estos nutrientes, pueden resultar de la mineralización de la materia orgánica exógena, procedente de los residuos orgánicos adicionados o del catabolismo de materiales endógenos tales como, las sustancias húmicas y las células microbianas (Tate, 1987). Además, ésta también puede contribuir a la disponibilidad de nutrientes procedentes de otras fuentes, al ser requerida materia orgánica para la actividad de las bacterias libres fijadoras de nitrógeno, pues la cantidad fijada de este, depende del contenido de carbohidratos presentes (Stevenson, 1994).

La presencia de materia orgánica en el suelo, mejora la capacidad de intercambio catiónico del mismo, propiedad que también presentan las arcillas, al tratarse en ambos casos de coloides con cargas negativas que retienen los cationes del suelo, evitando así pérdida de elementos nutritivos por lixiviación y permitiendo que se encuentren a disposición de las plantas y los microorganismos. La contribución de cada una de estas fracciones a la capacidad de intercambio catiónico, fue estudiada por Hallsworth y Wilkinson (1958), encontrando que la contribución de la materia orgánica era aproximadamente nueve veces mayor que las arcillas. Las cargas negativas presentes en la materia orgánica, aumentan a medida que lo hace su grado de oxidación, producido por el continuo ataque microbiano. Además, la materia orgánica, a diferencia de las arcillas, presenta la capacidad de retener aniones

por la aportación de grupos amino, amido, enlaces peptídicos y otros grupos nitrogenados presentes en ella (Costa y cols., 1991).

La materia orgánica, aumenta la capacidad tampón de los suelos, ayudando así a mantener en ellos un rango de pH difícil de modificar (Stevenson, 1994), evitando grandes fluctuaciones de este parámetro. Otro factor importante, es la capacidad que presenta para formar quelatos y complejos estables con aniones polivalentes como Cu, Mn y Zn, entre otros, aumentando así la posibilidad de su asimilación por las plantas.

Por otra parte, la mayoría de los pesticidas son moléculas cargadas, que contienen anillos aromáticos con grupos funcionales reactivos, que pueden interaccionar con la materia orgánica del suelo a través de atracciones iónicas, fuerzas de Van der Waals o enlaces covalentes, retardándose así su biodegradabilidad (Stevenson, 1994).

#### **II.4.3 Influencia de la materia orgánica sobre los organismos del suelo**

La materia orgánica es el soporte de la vida microbiana en el suelo, ya que actúa como fuente de energía y de elementos esenciales para el desarrollo de la microbiota, favoreciendo la proliferación de los mismos; los microorganismos la degradan, liberando ácidos orgánicos e inorgánicos capaces de alterar los componentes minerales del suelo. También liberan agentes quelantes y enzimas, y provocan pequeños cambios de pH y de potencial redox que pueden favorecer la liberación y asimilación de elementos nutritivos para la planta, pudiendo establecerse asociaciones simbióticas planta/microorganismo, que favorecen la asimilación de nitrógeno y fósforo, principalmente.

También, existen familias de microorganismos que participan en procesos fundamentales de los ciclos biogeoquímicos del suelo, generando un ambiente favorable para el desarrollo de la vegetación y de los organismos vivos del suelo, lo que a su vez favorece la disgregación y mezcla entre la fracción orgánica e inorgánica.

La materia orgánica, en definitiva, es el sustento para los organismos vivos del suelo y determina el conjunto de actividades biológicas que repercuten en gran medida sobre la fertilidad y la calidad del mismo.

## II.5. AGRICULTURA INDUSTRIALIZADA

Existe un modelo de agricultura industrializada que se caracteriza por la utilización de agroquímicos, y donde el término fertilización, se entiende como el aporte desde el exterior de los elementos químicos de naturaleza mineral que intervienen en la constitución de los vegetales (Bellapart, 1988). Los agroquímicos pueden ser instrumentos excelentes cuando son correctamente aplicados, pero constituyen un grave peligro cuando son usados indebidamente.

Las consecuencias que el uso creciente y excesivo de agroquímicos puede tener sobre el medio y la salud de los seres vivos, se ponen de manifiesto por su influencia en procesos como pérdidas de fertilidad y erosión del suelo, contaminación de los recursos naturales, degradación del medio ambiente así como problemas de salud.

La aplicación de fertilizantes, da lugar a un descenso de la materia orgánica en el suelo, haciendo bajar el nivel de la microbiota, cuya pérdida o disminución puede conducir a la mineralización y desertificación del suelo, pues tiene lugar la pérdida de muchas especies de microorganismos presentes, que son indispensables para conservar su fertilidad.

Por lo tanto, este concepto de fertilización no responde a la realidad del suelo como medio vivo ni a su dinámica, pues básicamente, la fertilización, como técnica, debe estar enfocada a mantener o aumentar la fertilidad del suelo agrícola, entendiendo por tal, la capacidad de los suelos agrícolas para mantener de manera perdurable un nivel de producción estable y de calidad, conservando un estado de alta estabilidad frente a los procesos que implican

su degradación, y todo ello, dentro de una amplia gama de condiciones locales agroambientales, socioeconómicas y culturales.

El mantenimiento perdurable de la capacidad productiva, requiere activamente de prácticas de conservación de suelos para mantener la integridad del perfil y evitar su degradación, por deterioro de la estructura y por pérdida de las materias orgánicas y minerales más finas y activas como las arcillas (Gascó, 1998), y además, prácticas de fertilización orgánica, que permitan el suministro equilibrado de nutrientes esenciales que potencien la biodiversidad edáfica y que optimicen los parámetros edáficos, ligados igualmente a la conservación de los suelos de cultivo.

La necesidad de reducir el uso de fertilizantes químicos y productos fitosanitarios de síntesis, ha dado vigencia a la temática de la inoculación; la demanda impuesta por la sostenibilidad, está conduciendo al uso de estrategias alternativas que mantengan una producción competitiva y la protección del medio ambiente. En este contexto, el uso de inóculos microbianos (*biofertilizantes*), incluyendo algunos que han sido modificados genéticamente, está cobrando un interés renovado; microorganismos como *Rhizobium*, agentes de control biológico, hongos micorrizógenos etc., han sido objeto de investigaciones orientadas a su aplicación práctica.

Por otro lado, los fertilizantes a base de residuos (lodos de depuración, “compost” de basura y de residuos agroindustriales), que se están empleando de forma creciente en agricultura, pueden desempeñar también un papel clave en prácticas dirigidas a una agricultura sostenible.

## II.6. LOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

Para la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, el término residuo, incluye a todo aquel material generado por las actividades de producción y consumo que no alcanza, en el contexto en que es producido, ningún valor económico, siendo por tanto necesaria su recogida y tratamiento por motivos de salud y de contaminación ambiental, para evitar ocupaciones innecesarias de espacio, o simplemente por motivos de estética (Seoánez, 2000). La falta de valor económico de estos materiales residuales, puede deberse, tanto a la carencia de tecnologías adecuadas para su aprovechamiento, como a la inexistencia de mercados para los productos recuperados.

Dada la tendencia actual por la preocupación de proteger la salud humana y el medio ambiente, de las causas que puedan generar los residuos generados, se cuenta con distintas legislaciones distinguiéndose, entre ellas la europea (Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos), la estatal (Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos) y la autonómica (Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados de la Comunidad Andaluza).

Las legislaciones, definen el vocablo *Residuo* como “*cualquier sustancia u objeto del cual el poseedor se desprenda o tenga la intención o la obligación de desprenderse*”. En todo caso, tendrán esta consideración los que figuren en la Lista Europea de Residuos (Decisión 2001/573/CE del Consejo de 23 de julio por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE de la Comisión de 3 de mayo en lo que se refiere a la lista de residuos, y Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero).

Los residuos se han venido clasificando tradicionalmente, atendiendo a su naturaleza, en inorgánicos, con una descomposición muy lenta debido a sus características químicas (plásticos, vidrios..), y orgánicos, que se caracterizan por su poder de degradación rápida y de forma natural (biodegradables) transformándose en otro tipo de materia orgánica; destacando los orgánicos, tanto por su elevado volumen de producción, como por su capacidad para generar impacto medioambiental.

Existen tres grandes sectores productores de residuos orgánicos (Abad y Puchades, 2002; Bernal y Gondar, 2008a; Costa y cols., 1991):

- Primario: Residuos agrícolas, ganaderos y forestales
- Secundario: Residuos industriales (agroalimentarios, textiles, papeleros, etc.)
- Terciario: Residuos urbanos (residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales, etc.)

Se estima que en la Unión Europea (UE) se producen más de 1600 millones de toneladas anuales de materia orgánica exógena, es decir, materia orgánica aplicable al suelo para mejorar su productividad de acuerdo con la definición dada por la propia UE, de las que el 86% corresponden al sector primario, el 7% al sector secundario, y el 7% restante al sector terciario (Van-Camp y cols., 2004).

La producción de residuos se ha incrementado de forma exponencial en las últimas décadas, siendo los más importantes aquellos de naturaleza orgánica o biodegradables (Bernal y Góndar, 2008a). Estas autoras, realizaron un exhaustivo estudio comparativo de la producción y gestión de residuos orgánicos de distinta naturaleza, tales como los ganaderos (ovino, caprino,

porcino y avícola y sus correspondientes estiércoles), agrícolas (arroz, maíz, trigo, soja, etc.), agroindustriales (industria azucarera, vitivinícola, producción de aceites vegetales, etc.), y urbanos (lodos de depuradora y RSU), destacando la enorme variedad tanto en su naturaleza como en la producción de tales residuos y su enorme potencial como fuente de materia orgánica. Cabe destacar en el ámbito de la gestión de residuos, cómo la recuperación de recursos procedentes de los mismos, es necesaria para prevenir su impacto ambiental, pero también es una manera de mejorar la viabilidad y beneficios de los procesos productivos.

Uno de los parámetros utilizados en la actualidad para medir el grado de desarrollo de un país es la producción de residuos por habitante. Según el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA, 2009), la generación de residuos en España, alcanzó en 2006 la cantidad de 523 kg por habitante, frente a los 500 kg recogidos en 2005, lo que se traduce en un incremento del 4.64%. La generación de residuos supone una pérdida de recursos y de energía; además, la producción, gestión y eliminación de éstos es uno de los aspectos más preocupantes en relación con la sostenibilidad del desarrollo y la degradación del medio ambiente.

En este contexto, la Unión Europea (Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos) estableció una “Estrategia de Gestión de Residuos” cuyo principal objetivo es fomentar una gestión sostenible y ecológicamente racional de los mismos, que contemple la salud pública y la protección del entorno natural.

La estrategia europea, establece una jerarquización de las diferentes alternativas de gestión de residuos: “prevención, reutilización, reciclado, valorización material, valorización energética, y eliminación o vertido sin

riesgo". Dicha jerarquía está basada en la contribución de cada una de estas alternativas al Desarrollo Sostenible (CE, 2000).

En el sector industrial, se genera una gran variedad de residuos orgánicos, tanto sólidos como líquidos, tan variados en cuanto a propiedades y características como las propias industrias que los generan. De especial interés son los residuos de la industria agroalimentaria, que generan residuos vegetales, y líquidos procedentes del procesado de frutas y verduras, lodos y aguas residuales procedentes de la transformación y procesado de los alimentos. Las materias primas que se utilizan en las industrias agroalimentarias, tienen en común: la complejidad de su composición química; la escasa homogeneidad de las partículas en cuanto a textura, tamaño y estado; su gran sensibilidad a determinados agentes físicos, siendo materiales perecederos; el desarrollo de microorganismos patógenos o inoocuos sobre ellas; y la estacionalidad de su disponibilidad, entre otras características (Aleixandre y García, 1999).

De forma genérica, las industrias agroalimentarias pueden clasificarse en dos grandes grupos: las industrias de primera transformación, que tratan las materias primas, localizándose próximas a la zona de producción agrícola y ganadera (industria de extracción de aceite de oliva, mataderos de carne, etc.), y las de segunda transformación, que se encuentran junto a las anteriores, en las que se elaboran productos alimentarios procedentes de productos agrícolas y ganaderos ya transformados, y que suelen ubicarse cerca de áreas urbanas de consumo (industria panificadora, producción de alimentos precocinados, etc.), Cegarra y Paredes, 2008.

Los subproductos y residuos de la industria agroalimentaria plantean problemas importantes desde los puntos de vista medioambiental y de gestión adecuada de los mismos, y representan además, una pérdida de biomasa y

nutrientes del procesado de los alimentos, que podrían ser aprovechados para otros usos o aplicaciones (Laufenberg y *co/s.*, 2003). Estos subproductos, no obstante, tienen algunos rasgos comunes tales como: altos niveles de materia orgánica; elevadas concentraciones de proteínas, carbohidratos y lípidos; presencia de grandes cantidades de sólidos y/o grasas en suspensión; altas demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO); elevada concentración de nitrógeno; y, variaciones marcadas de pH, entre otros (Kroyer, 1995; Ukita y *co/s.*, 2008).

En general, los residuos procedentes de las industrias agroalimentarias poseen un alto potencial contaminante, debiendo prestarse especial atención a los vertidos líquidos que éstas generan, que se caracterizan por su gran especificidad, por lo que cada tipo de efluente requerirá técnicas de tratamiento distintas. La contaminación de las aguas ocasionada por los efluentes residuales de origen agroindustrial puede producirse tanto a nivel de la capa freática (aguas subterráneas) como a nivel de las aguas superficiales (cursos y masas de agua continentales, y aguas marinas), pudiendo llegar a provocar incluso desequilibrios en los ecosistemas (Seoáñez, 2002).

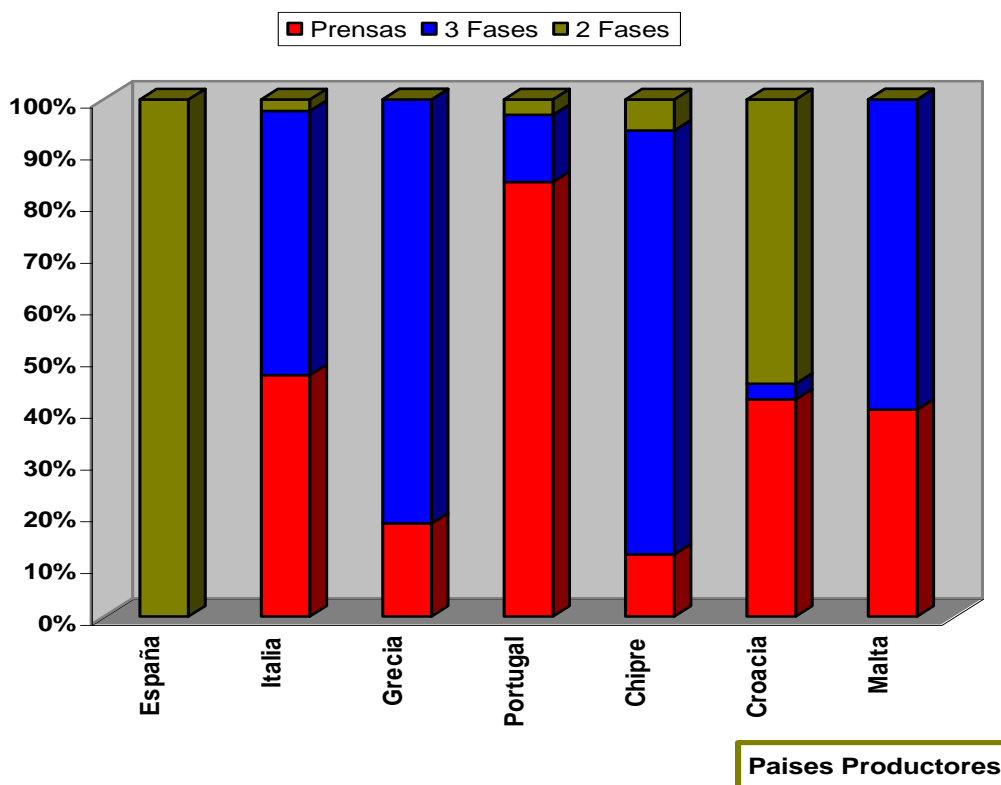
Debido a la prevención de la contaminación ambiental y a motivos económicos, existe en la actualidad gran interés por la búsqueda de nuevas técnicas de tratamiento de los residuos del procesado de los alimentos, para obtener materiales potencialmente útiles como, por ejemplo, productos de alto valor añadido y materias primas para otros procesos industriales, o para alimentación animal, entre otras aplicaciones (Laufenberg y *co/s.*, 2003).



## II.7. EVOLUCIÓN EN EL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE OLIVA

El proceso de extracción del aceite de oliva implica determinadas operaciones que van, desde el lavado de las aceitunas, la molienda, el batido y la extracción propiamente dicha entre otras. Mayoritariamente existen dos métodos de extracción diferentes: el discontinuo y tradicional de prensas, utilizado durante siglos, y el continuo de extracción por centrifugación, que la industria oleícola adoptó en las últimas décadas (Kapellakis y *cols.*, 2008). En el método de centrifugación existen dos sistemas distintos: el sistema de centrifugación de tres fases y el sistema de centrifugación de dos fases. El primero surgió en sustitución de la clásica prensa hidráulica en la década de los setenta, y el segundo, como sustitución del anterior, surgió en la década de los noventa del pasado siglo.

El sistema de prensa hidráulica, aunque obsoleto y menos eficiente, es todavía utilizado en muchos países, pero en España su uso es prácticamente nulo, y más del 90% de las industrias de extracción de Aceite de Oliva Virgen trabajan con el moderno sistema de dos fases (Roig y *cols.*, 2006). Esta sustitución repentina, que tuvo su origen en razones de índole medioambiental, más que tecnológicas, no tuvo lugar en otros países productores de aceite, probablemente debido a las dificultades de la manipulación provocada por el nuevo residuo producido alperujo, a la que se hará referencia en apartados posteriores de esta Tesis Doctoral. En Europa, en el año 2003, además de España, sólo Croacia tenía una proporción elevada del nuevo sistema de extracción de dos fases, como se aprecia en el gráfico de la Figura II.7, mientras que el sistema de extracción continua de tres fases seguía siendo ampliamente utilizado en países, como Italia, Grecia, Chipre o Malta.



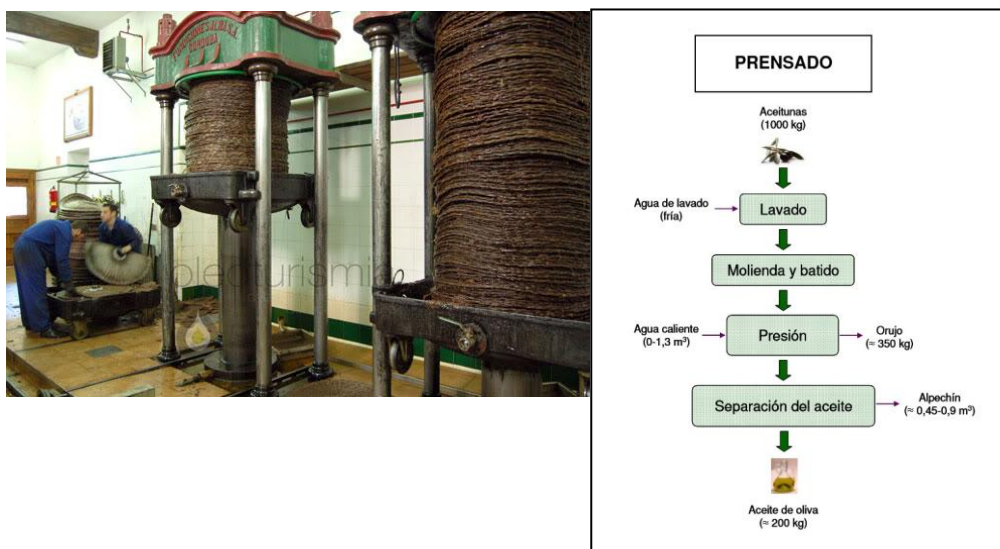
**Figura II.7.** Tecnologías de extracción de aceite empleadas en los países europeos productores (IMPEL, 2003)

### II.7.1. Sistema de extracción de prensas

Hasta finales de la década de los sesenta, la extracción del aceite de oliva en España se realizaba con el sistema de prensa hidráulica. De la aceituna, después de ser convenientemente lavada, molida y batida, se obtiene una pasta, que depositada sobre material filtrante o capacho y formado un “cargó” o conjunto de ellos, es sometida a la acción de una prensa, en la que, mediante presión, se separan las diferentes fases presentes en la pasta. La fase líquida, formada por una mezcla de aceite con el agua residual y una fase sólida llamada orujo de aceituna con una humedad del 25% al 30%, con un 5% a 6% de contenido graso (García-Ortiz y Frías, 1995). La posterior separación de las fracciones líquidas, agua y aceite, se realiza a través de centrifugación o

decantación, o por combinación de ambas técnicas, obteniéndose finalmente el aceite, y dos subproductos procedentes del proceso, uno sólido conocido como orujo seco y otro líquido comúnmente conocido como alpechín.

Este sistema resulta poco racional y operativo, ya que al ser discontinuo, consigue rendimientos horarios bajos, precisa más mano de obra y, por lo general, la limpieza e higiene son difíciles de conseguir (Tardáguila y cols., 1996). Por otra parte, pueden producirse problemas derivados de fermentaciones que alteran la calidad del aceite obtenido.



**Fig. II.8.** Sistema de prensas para la extracción de Aceite de Oliva Virgen. Esquema del proceso

### II.7.2. Sistema continuo de centrifugación de tres fases

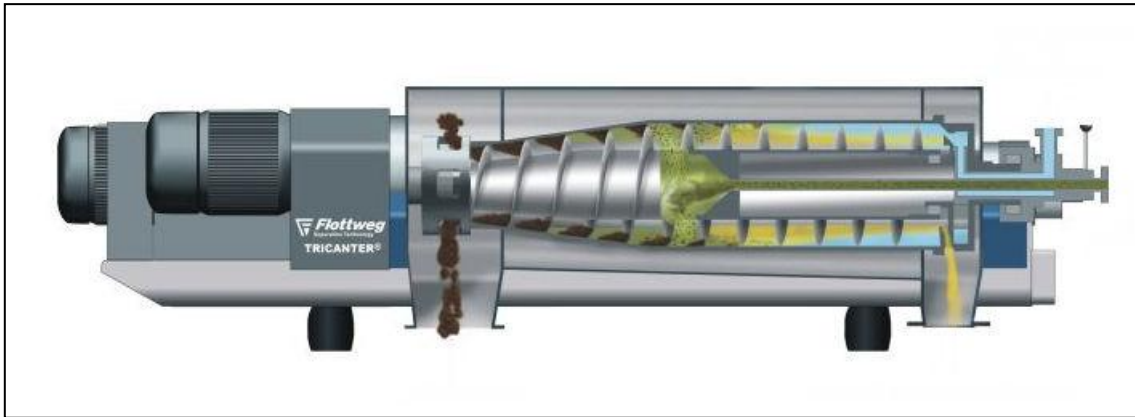
A partir de los años 70 del pasado siglo, comienza a ser introducido en España el sistema continuo de centrifugación de tres fases, dando lugar a un avance significativo en la tecnología de extracción del Aceite de Oliva Virgen y

una importante modificación en el concepto de subproductos, en cantidad y características, y en su utilización posterior (García-Ortiz y cols., 1993).

La principal ventaja derivada del sistema de centrifugación, en relación con el sistema de la prensa, es el incremento de la productividad. El proceso de extracción es continuo, lo que conlleva a un menor costo de producción y permite una completa automatización; el aceite así obtenido, puede tener una mejor calidad (Roig y cols., 2006); la superficie industrial necesaria para la instalación de este sistema es menor, pero en cambio, es más costosa y requiere un mayor consumo de energía y agua (Roig y cols., 2006), pues la pasta debe ser adecuadamente diluida en agua antes de la inyección a la centrífuga horizontal, lo que supone una relación pasta/agua de 1:1 aproximadamente.

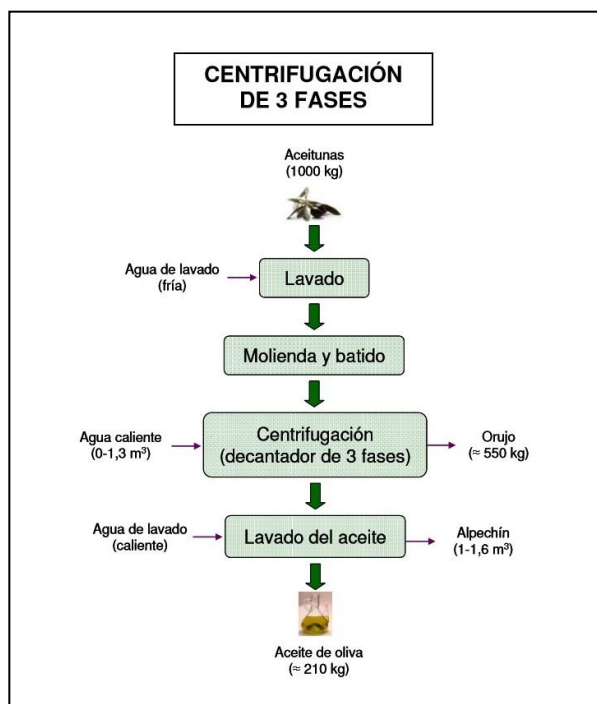
Las centrifugas horizontales o decanter, por diferencia de densidad, llevan a cabo la separación entre el aceite, orujo y agua residual, obteniendo tres elementos claramente diferenciados, de ahí el nombre de centrifugación continua de tres fases.

En cuanto a los subproductos, este sistema genera mayores cantidades de alpechín que el sistema de prensa donde la relación pasta/agua era 1:0.5. La fase sólida u orujo, está constituida por restos de pulpa y hueso triturado de aceituna; presenta unos valores promedio de humedad del 50% y un 3% de contenido graso (García-Ortiz y Frías, 1995).



**Fig. II.9.** Esquema de un decanter centrífugo de tres fases

Los volúmenes de alpechines obtenidos varían en la proporción de 1 a 1,2 t/t de aceituna molturada. En los países del mediterráneo, se estimaba una producción de alpechines superior a 30 millones de m<sup>3</sup> por año (Casa y cols., 2003), y tan solo en España, se estimaban unos volúmenes anuales de 2.1 millones de m<sup>3</sup> (Paredes y cols., 1999); sin embargo, actualmente esta cantidad es menor, porque el aceite se extrae cada vez en mayor proporción mediante el sistema de dos fases (Cabrera y cols., 2005; Roig y cols., 2006).



**Fig II.10** Esquema del proceso de extracción de Aceite de Oliva Virgen de tres fases

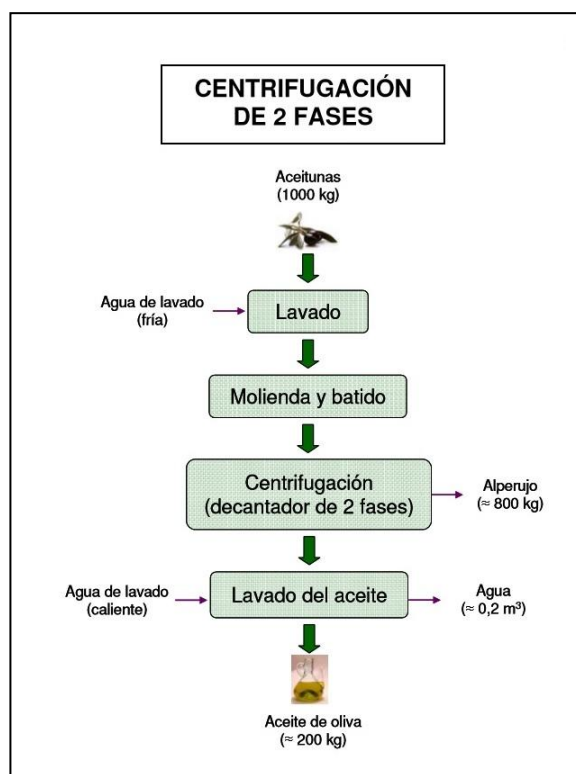
### II.7.3. Sistema de centrifugación de dos fases

A finales de la campaña oleícola 1991-92, con el objeto de reducir los gastos de agua durante el proceso de extracción se presentó el nuevo sistema de centrifugación de dos fases, también llamado ecológico, que efectúa la separación del aceite sin adición de agua al decanter, sólo con el agua de vegetación, o con una adición mínima, dependiendo de la humedad de la aceituna a tratar.

Entre las ventajas de este nuevo sistema de extracción, cabe señalar que permite obtener un aceite cualitativamente superior debido a su mayor contenido en agentes antioxidantes, lo que le otorga una mayor estabilidad frente a los fenómenos oxidativos (Ranalli y Martinelli, 1995), consigue un

caudal de trabajo similar o superior al de tres fases y una importante reducción del consumo de agua (65 -70%), con el consiguiente ahorro en energía de calefacción. Sin embargo, la ventaja más importante de este sistema es que no genera *alpechín*, reduciéndose el efluente acuoso producido, básicamente al agua de lavado de los aceites y, en menor cuantía, al agua de lavado de las aceitunas y limpieza general de la maquinaria, originando como subproducto únicamente el orujo de dos fases, también llamado *alperujo* (Alba y cols., 1993; Hermoso y cols., 1993), o bien orujo húmedo, en una proporción estimada de unos 800 a 950 kg por t de aceituna. Como principales inconvenientes del sistema de dos fases cabe citar el aumento considerable del volumen de orujo producido, debido a la incorporación de la fracción acuosa, así como el manejo y aprovechamiento del mismo.

El sistema de dos fases es un método que separa la pasta triturada de aceitunas en una fase oleosa y una fase sólida (Roig y cols., 2006). Actualmente, revisten una gran importancia porque el aceite obtenido por el sistema de dos fases alcanza más de un 95 % de la producción total (Roig y cols., 2006), estimándose una generación de más de 4 millones de toneladas anuales de alperujos en España (Albuquerque y cols., 2004).



**Fig. II.11** Esquema del proceso de extracción de Aceite de Oliva Virgen de dos fases

## II.7.4 Características, composición y problemática de los residuos generados en la almazara

### II.7.4.1. Efluentes líquidos. Alpechín

Como se ha introducido anteriormente, el alpechín es el efluente originado en la extracción del aceite de oliva por prensado o mediante el sistema de centrifugación de tres fases. Está constituido por las aguas de vegetación del fruto y el agua de proceso, utilizada en las distintas etapas de elaboración del aceite, tales como la que se consume al acondicionar el fruto o durante la molienda, batido y centrifugación, y en la limpieza de las instalaciones y equipos (Cegarra y Paredes, 2008; Roig y cols., 2006).

Es una emulsión relativamente estable constituida por pulpa de aceituna, mucílago de pectina en suspensión (Paredes y cols., 1999), cuya composición varía principalmente en función de la variedad, madurez y contenido en agua de la drupa, propiedades del suelo en el que se cultivó, además de las condiciones climáticas, el momento de la recolección, la tecnología de extracción, y las condiciones de almacenamiento (Niaounakis y Halvadakis, 2006).

A pesar de la alta variabilidad observada en sus características y composición, el alpechín se caracteriza por su color oscuro, olor penetrante, pH ligeramente ácido, conductividad eléctrica alta, y elevada concentración de compuestos orgánicos, especialmente ácidos grasos, glúcidos, grasas y polifenoles (taninos, entre otros), que están estrechamente relacionados con el carácter fitotóxico de este vertido y ponen de manifiesto, además, la necesidad de una gestión apropiada del mismo para evitar problemas medioambientales (Aviani y cols., 2010; Morillo y cols., 2009; Niaounakis y Halvadakis, 2006; Paredes y cols., 1999). Por otro lado, el alpechín presenta también niveles elevados de potasio, además de contenidos notables en nitrógeno, fósforo, calcio, hierro y magnesio (Paredes y cols., 1999). Además, diferentes autores han descrito el efecto antimicrobiano del alpechín, que radica principalmente en su alto contenido en fenoles (Morillo y cols., 2009; Niaounakis y Halvadakis, 2006; Ramos-Cormenzana y cols., 1996). Debido al carácter anfifílico (o anfipático, es decir con propiedades tanto hidrofílicas como hidrofóbicas) de los fenoles de la aceituna, sólo una pequeña fracción de éstos pasa al aceite, mientras que una alta proporción se incorpora a la fase acuosa del alpechín (Niaounakis y Halvadakis, 2006; Rodis y cols., 2002).

El sistema de centrifugación de tres fases genera el doble de aguas residuales (alpechines) por tonelada de aceituna procesada que el sistema de prensas (Figura II.9 y II.11).

#### II.7.4.2. Orujo

El orujo está compuesto por la fracción sólida generada durante la elaboración del aceite por prensado o centrifugación de tres fases. Su composición, al igual que en el caso del alpechín, varía dependiendo de la variedad y características del fruto cosechado así como de las condiciones del proceso de extracción. El orujo está formado por huesos molturados, piel, pulpa, agua y restos de aceite, destacando su alto contenido en lignina y su baja concentración en proteínas (Niaounakis y Halvadakis, 2006).

Generalmente, el orujo se utiliza para la extracción del aceite residual o aceite de orujo con disolventes orgánicos, dando lugar al orujo agotado u orujillo (Hachicha y *co/s.*, 2008). Como puede apreciarse en la Figura II.9 y II.11, la adopción del sistema de centrifugación de tres fases representó un incremento en la producción de orujo sólido del 63% respecto al sistema de prensas tradicional.

#### II.7.4.3. Alperujo

El alperujo obtenido en la extracción del aceite por centrifugación de dos fases es un subproducto de consistencia semisólida o viscosa, formado por restos de pulpa y hueso triturado de aceituna, con escasa porosidad total, una humedad comprendida entre el 55 y 75% y un contenido graso del 3 al 9% que posee un alto contenido en materia orgánica (superior al 90% como valor medio), una elevada relación C/N y abundantes cantidades de lignina, celulosa, y hemicelulosa, además de niveles importantes de lípidos, glúcidos y fenoles. Su pH es de fuerte a ligeramente ácido y la conductividad eléctrica varía desde valores cercanos a 1 dS/m hasta más de 5 dS/m.

Respecto a su contenido en nutrientes, destaca la elevada riqueza en potasio, lo que es característico de los residuos y subproductos de almazara, y, por el contrario, sus contenidos generalmente bajos en nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio en comparación con otros residuos orgánicos (Alburquerque y cols., 2004; Cegarra y cols., 1993; Niaounakis y Halvadakis, 2006; Pascual y cols., 1997). En cuanto a los microelementos y elementos metálicos, merece destacarse su elevada concentración en hierro (Alburquerque y cols., 2004) y su bajo contenido en metales pesados (Madejón y cols., 1998; Roig y cols., 2006). De manera similar al alpechín, se atribuyen al alperujo propiedades fitotóxicas y antimicrobianas por los elevados niveles de lípidos y fenoles que éste contiene, lo que está además estrechamente ligado a los riesgos medioambientales de su aplicación directa al suelo (Alburquerque y cols., 2004; Linares y cols., 2003; Niaounakis y Halvadakis, 2006). Una recopilación de las características y composición de alperujos de 86 muestras procedentes de diferentes orígenes, realizada tras revisar diferentes estudios independientes, se recoge en la Tabla II.1.

**Tabla II.1.** Características y composición de diferentes alperujos según diversos estudios

Parámetro	Valor medio	Valor mediano	Rango de variación
Humedad	62.20	64.00	49.60-71.40
pH	5.48	5.32	4.90-6.80
Conductividad eléctrica (dS m <sup>-1</sup> )	2.99	3.14	1.20-5.20
Materia orgánica total (%)	90.70	94.40	60.30-98.50
Relación C/N	45.00	47.20	29.30-59.70
N (g/kg)	12.00	11.20	9.70-18.50
P (g/kg)	0.97	1.05	0.30-1.50
K (g/kg)	18.70	18.50	6.30-29.00
Ca (g/kg)	5.08	4.03	2.30-12.00
Mg (g/kg)	1.03	0.95	0.50-1.70
Na (g/kg)	0.67	0.81	0.20-1.00
Fe (mg/kg)	1107	769	526-2600
Cu (mg/kg)	41.20	17.20	13-138
Mn (mg/kg)	25.80	16.40	13-67
Zn (mg/kg)	19.60	21.30	10.00-27.00
Lignina (%)	38.80	41.90	19.80-47.50
Hemicelulosa (%)	29.70	35.10	15.30-38.70
Celulosa (%)	23.50	19.40	17.30-33.70
Lípidos (%)	11.00	11.40	3.76-18.00
Proteínas (%)	6.95	6.95	6.70-7.20
Carbohidratos (%)	12.30	10.40	9.60-19.30
Fenoles (%)	1.36	1.30	0.50-2.40

Fuente: Roig y cols. (2006)

El sistema de extracción de dos fases disminuye notablemente la producción de vertido líquido (sólo 0.2 m<sup>3</sup> por tonelada de aceituna), pero aumenta significativamente la de residuo sólido en forma de alperujo respecto a los otros dos métodos (800 kg en el sistema de dos fases frente a 350 kg y 550

kg en la extracción por prensado y por centrifugación de tres fases, respectivamente) tal y como se aprecia en la Figura II.9, II.11 y II.12.

A tenor de los enormes volúmenes producidos de estos residuos, unido a la elevada concentración de carbohidratos, y al alto contenido de humedad que presentan, así como a la variabilidad de sus características, asociadas a los orígenes o regiones donde se han producido, hacen que la gestión de los mismos resulte compleja y económicamente costosa (Roig y *co/s.*, 2006).

#### II.7.4.4. Otros subproductos

Además de los residuos y subproductos hasta aquí mencionados, el proceso genera otros materiales sólidos, como hojas y pequeñas ramas, y el orujo agotado u orujillo, procedente del orujo del sistema de centrifugación de tres fases o del alperujo de la centrifugación de dos fases. Éste es un material seco (8% a 10% de humedad) que contiene restos de pulpa y hueso de aceituna, cuya composición presenta altos niveles de lignina, celulosa y hemicelulosa (Niaounakis y Halvadakis, 2006).

#### **II.7.5. Valorización de los residuos generados en la almazara**

A continuación se consideran los sistemas de valorización aplicables a los residuos de almazara.

##### II.7.5.1. Efluentes líquidos. Alpechín

En alguna investigaciones realizadas, la aplicación directa de alpechín al suelo, ha permitido deducir la existencia de efectos positivos, debido a su contenido en nutrientes, especialmente potasio, y a la movilización de iones en el medio edáfico. Sin embargo, otros estudios han encontrado resultados

negativos, debido a su alta salinidad, bajo pH y presencia de compuestos fitotóxicos (Paredes y cols., 1999).

Por otra parte otras investigaciones, han señalado su posible aplicación para disminuir la lixiviación de sustancias contaminantes, por ejemplo herbicidas, o el aprovechamiento de sus propiedades antimicrobianas como inhibidoras del desarrollo de agentes fitopatógenos (Roig y cols., 2006).

La gestión del alpechín, ha sido objeto de estudio y para ello se han propuesto diversas alternativas a lo largo del tiempo, una clasificación de las mismas, en función del tipo de pretratamiento o tratamiento aplicado, se recoge en la Tabla II.2.

**Tabla II.2.** Clasificación de las metodologías utilizadas para el tratamiento del alpechín

<b>Pretratamiento/tratamiento</b>	<b>Proceso</b>
Físico	Dilución Sedimentación Filtración Flotación Centrifugación Filtración por membrana Microfiltración Ultrafiltración Nanofiltración Ósmosis inversa
Térmico	Evaporación/Destilación Combustión Pirólisis Gasificación
Físico-químico	Neutralización Precipitación/Floculación Adsorción Oxidación química Oxidación avanzada Oxidación húmeda Oxidación electro-química Intercambio iónico
Biológico	Digestión anaerobia y aerobia Biofilms Sistema de fangos activos Sistema de reactores secuenciales de flujo discontinuo Sistemas aerobios-anaerobios Compostaje Sistemas de fitorremediación

Fuente: Arvanitoyannis y Kassaveti, 2008; Niaounakis y Halvadakis, 2006

Generalmente, el alpechín se ha gestionado utilizando la evaporación en balsas al aire libre, debido al bajo coste que este método representa y a las condiciones climáticas mediterráneas, que favorecen su evaporación; no obstante, dicha técnica requiere una superficie extensa en la almazara y provoca, además, problemas de diversa índole, como malos olores, proliferación de insectos, y riesgo de filtraciones. La evaporación del alpechín genera un lodo que suele eliminarse en vertedero aunque, por sus características y composición, puede utilizarse con fines agrícolas, para compostaje, o como combustible por su alto poder calorífico (Roig y cols., 2006).

Para evitar los efectos perjudiciales de la aplicación directa del alpechín al suelo, se han realizado diversos estudios de compostaje de alpechín con otros materiales orgánicos sólidos, que proporcionaban estructura a la mezcla a compostar, obteniéndose así composts con materia orgánica estabilizada, exentos de fototoxicidad (Abid y Sayadi, 2006; Aviani y cols., 2010; Hachicha y cols., 2008; Mari y cols., 2003; Paredes y cols., 2000; Tomati y cols., 1995).

Otra de las metodologías comúnmente utilizadas para el tratamiento de residuos orgánicos es la digestión anaerobia, con producción de energía en forma de biogás y de un efluente (digestado) que puede a su vez reutilizarse. Su aplicación al caso del alpechín, se ve dificultada porque los compuestos fenólicos y los ácidos orgánicos presentes en el mismo, inhiben el crecimiento de las bacterias metanogénicas, lo que obliga a realizar un pretratamiento para eliminar dichos componentes (Roig y cols., 2006).

Aunque se han propuesto gran variedad de procedimientos para el tratamiento y aprovechamiento del alpechín, como se aprecia en la Tabla II.2, y muchos de ellos orientados a la degradación de los fenoles que éste contiene, la mayoría de éstos no suelen utilizarse por los altos costes de sus

instalaciones, equipos y mantenimiento. Costes que se ven incrementados porque algunos de estos métodos, sirven únicamente como tratamiento primario o como pretratamiento, del que se obtienen lodos que deben también gestionarse posteriormente (Cegarra y Paredes, 2008).

#### II.7.5.2. El alperujo

La aplicación directa del alperujo al suelo ha sido objeto de distintos estudios, debido a su alta concentración en potasio, su bajo coste y la posibilidad de aplicarlo en áreas cercanas a las almazaras, reduciéndose así los costes de su transporte. Sin embargo, los estudios sobre el uso del material fresco han generado resultados contradictorios. Así, Thompson y Nogales (1999), observaron desequilibrios nutricionales en el suelo, derivados de la adición de alperujo fresco, que modificó el ciclo del nitrógeno debido a su elevada relación C/N; por su parte Ordóñez y cols. (1999) señalaron la necesidad de incorporar fertilizantes nitrogenados adicionales, para compensar la modificación de la dinámica del nitrógeno tras su aplicación (inmovilización de  $\text{N-NO}_3^-$  y los efectos negativos sobre la actividad de las bacterias del ciclo del nitrógeno); López-Piñeiro y cols. (2007) encontraron una mejora en las propiedades físicas y químicas de dos suelos mediterráneos, y en la cosecha de trigo cultivado sobre los mismos tras su aplicación; finalmente, López-Piñeiro y cols. (2008) obtuvieron un incremento de la productividad en un olivar situado en Portugal, observándose que este incremento era mayor cuando la dosis de alperujo aplicado era menor (30 tn/ha frente a las 60 tn/ha). En general, y según Canet y cols., 2008, debido a sus propiedades químicas, no es recomendable la aplicación directa al suelo.

El alperujo se emplea también para extraer su aceite residual mediante una segunda centrifugación, obteniéndose un residuo que es secado y sometido a una extracción con disolventes orgánicos para producir aceite de

orujo (Alburquerque y *co/s.*, 2004). No obstante, las marcadas diferencias en aspecto y características entre el orujo de tres fases y el alperujo del sistema de dos fases (con elevada humedad, abundancia de sólidos de granulometría fina, y presencia de azúcares, ácidos orgánicos y polialcoholes), hacen que, por ejemplo, la excesiva fluidez del alperujo, ocasione problemas de manejo en cuanto a su almacenamiento, transporte y secado, teniendo que adaptarse a dichas características las instalaciones y equipos mediante modificaciones costosas; como son: sustitución de las superficies abiertas de almacenamiento por balsas para el vertido, cambio de las cintas transportadoras por tornillos sinfín o cintas de cangilones, adquisición de camiones de tipo cuba, etc. (Cegarra y Paredes, 2008; Roig y *co/s.*, 2006).

Por otra parte, las características diferenciales del alperujo ya señaladas, dificultan la extracción del aceite residual que contiene, ya que al secarse éste, y debido a su alta concentración de azúcares, tiende a caramelizarse, formando masas apelmazadas que se secan únicamente en superficie; por lo que han tenido que desarrollarse sistemas especiales de secado.

Además, los compuestos de naturaleza orgánica del alperujo, impiden la correcta infiltración de los disolventes orgánicos y originan problemas de percolación (Balis y *co/s.*, 2001; Cegarra y Paredes, 2008).

Finalmente, la presencia de hidrocarburos policíclicos aromáticos, en el aceite elaborado mediante extracción con disolventes orgánicos, ha obligado a desarrollar procesos de purificación adicionales, incrementándose los costes de su producción (Alburquerque y *co/s.*, 2004; Cegarra y Paredes, 2008).

Otra aplicación de interés para el alperujo es la alimentación animal, aunque debido a su bajo contenido en fibras digeribles es necesario llevar a

cabo una suplementación con productos ricos en proteínas. En este ámbito, sus propiedades nutritivas pueden incrementarse utilizando el método de fermentación en estado sólido, desarrollado por microorganismos sobre un soporte sólido, que se ha utilizado con éxito en la producción de enzimas y componentes de alimentos para animales (Molina Alcaide y *cols.*, 2003).

La alternativa del aprovechamiento energético de los subproductos incluye: la combustión directa del orujillo y el hueso de aceituna para generar energía eléctrica o térmica (Caputo y *cols.*, 2003), que puede utilizarse para el secado del alperujo; la generación de energía eléctrica en ciclos de vapor a partir de alperujo u orujillo (Cegarra y Paredes, 2008); la co-generación de energía térmica y eléctrica a partir del orujillo (Albuquerque y *cols.*, 2004); la gasificación del orujillo, alperujo seco o hueso de aceituna, en la que el subproducto se transforma en gas sintético (o “syngas”), mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno, o la utilización de alperujo para la obtención de biocombustibles, como sería biogás a partir de digestión anaerobia, o bioalcohol por hidrólisis enzimática de los polisacáridos y posterior fermentación alcohólica con levaduras (Morillo y *cols.*, 2009).

Los tratamientos biológicos son, sin duda, las alternativas más interesantes por ser más respetuosos con el medio ambiente y por su viabilidad económica (Mantzavinos y Kalogerakis, 2005), y en este contexto, merece destacarse, como alternativa de gran interés, el compostaje del alperujo por sus beneficios ambientales y económicos, pues el compost final resultante, puede utilizarse para la preparación de enmiendas y abonos orgánicos, así como para sustratos de cultivo, aprovechables a escala local, contribuyendo de este modo a la optimización del uso de los recursos naturales mediante su reciclado y valorización material.

Como posibles opciones de valorización adicionales, se encuentran: la obtención de productos de alto valor añadido, pectinas y antioxidantes, principalmente (Niaounakis y Halvadakis, 2006; Roig y *cols.*, 2006); la aplicación a suelos agrícolas para incrementar la fijación de herbicidas y disminuir su lixiviación, lo que evitaría la contaminación de acuíferos (Cabrera y *cols.*, 2010); y, el aporte al suelo para el control biológico de plagas y enfermedades (Cayuela y *cols.*, 2008a), entre otras.

Por último, los restos vegetales como hojas y partes leñosas eliminados durante el proceso, pueden utilizarse para alimentación animal, como fuente de calor, o para la extracción de compuestos con propiedades diuréticas y antioxidantes. Algunas almazaras utilizan sistemas que separan el hueso de la pulpa de la aceituna para aumentar así la eficiencia de la extracción de aceite, pudiendo utilizarse entonces el hueso para valorización energética, cultivos sin suelo (como sustrato), producción de carbono activo, o extracción de productos de alto valor añadido (Roig y *cols.*, 2006).

Con objeto de seleccionar la alternativa de valorización más adecuada en cada caso, deberían considerarse distintos factores, tales como el volumen de residuos y subproductos producidos, el coste de la inversión a realizar, la situación del mercado en la zona, respecto a los aprovechamientos y usos objeto de explotación, aspectos legislativos, etc. Sin embargo, su uso en agricultura, contribuirá a paliar la baja fertilidad de los suelos y el progresivo incremento de la erosión en el área mediterránea. Por tanto, el tratamiento y aprovechamiento óptimo del alperujo de almazara, deberá considerarse en el marco de la gestión integrada y multidisciplinar, que intenta combinar diferentes metodologías que permitan aumentar la eficiencia de éstas, y a su vez, minimizar el impacto ambiental a la vez que favorecen el uso de recursos en el contexto del desarrollo sostenible (Awad y *cols.*, 2008; Niaounakis y Halvadakis, 2006).

## II.8. COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS PARA SU USO COMO ABONOS Y ENMENDANTES PARA SUELOS

La utilización directa de residuos orgánicos frescos en agricultura, presenta una serie de inconvenientes: fitotoxicidad (por compuestos orgánicos, elementos y sustancias minerales, etc.), deficiencia de oxígeno en el entorno radicular, y elevación de la temperatura en la rizosfera, entre otros (Abad y cols., 1997; Butler y cols., 2001; Khalil, 2008; Pascual y cols., 1999), por lo que dichos residuos deben ser sometidos a tratamientos previos a su utilización.

Uno de los métodos más utilizados para la adecuación de los residuos orgánicos con fines agrícolas es el compostaje (Abad y Puchades, 2002; Moral y cols., 2009; Moreno y Moral, 2008a; Soliva, 2001; Stoffella y Kahn, 2005), destacando dicho proceso tanto desde el punto de vista ecológico como económico (Bernal y cols., 2009; Raviv, 2005; Sæbø, 2006).

En la actualidad, el compostaje es un proceso tecnológico industrializado, no excesivamente complejo, técnica y económicamente viable, poco contaminante, y con una mayor aceptación social que el vertido controlado o la incineración.

El desarrollo de nuevos planes y estrategias relacionados con el manejo de residuos orgánicos, ha generado, en los últimos años, un incremento en el uso del compostaje como herramienta de aprovechamiento y valorización de los mismos. Según Crowe y cols. (2002), uno de los principales objetivos para los países de la Unión Europea, es disminuir entre un 20% y un 50%, la cantidad de residuos orgánicos que van a vertedero, lo que podría incrementar significativamente la elaboración de compost para el manejo de estos residuos en los próximos años (Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos).

### II.8.1. Concepto y funciones del compostaje

La definición técnica más aceptada del compostaje es “la descomposición biológica aeróbica de residuos orgánicos de distinta procedencia bajo condiciones controladas” (Abad y Puchades, 2002; Saña y Soliva, 1987; Soliva, 2001; Soliva y *cols.*, 2008). Se denomina descomposición, y no estabilización, porque no siempre se puede asegurar que la estabilización de la materia orgánica o humificación sea total; además, se hace hincapié en que la descomposición es de tipo biológico, microbiológico, para diferenciarla de las descomposiciones físicas y químicas; y se indica que es aeróbica, porque durante el proceso se favorecen las transformaciones (biológicas y/o fisicoquímicas) de tipo aeróbico, al realizar operaciones que permiten el acceso de oxígeno al material en descomposición. Estas transformaciones, ocurren de forma más rápida que en condiciones anaeróbicas y son, además, más exotérmicas; consecuentemente, el proceso degradativo es más rápido que en ausencia de dicho oxígeno y se genera, adicionalmente, más energía en forma de calor, incrementándose así la temperatura del proceso. Este aumento en la temperatura, unido al tipo de transformaciones aeróbicas que tienen lugar, acelera el proceso, evita la generación de malos olores y favorece la higienización del compost, eliminándose o reduciéndose agentes patógenos o molestos, semillas de malas hierbas, etc. Por último, se señala que transcurre bajo condiciones controladas, especialmente de temperatura, humedad y aireación, para diferenciarlo de las putrefacciones, de modo que el proceso, va dirigido prioritariamente a los residuos sólidos o semisólidos biodegradables, los cuales constituyen la fase sólida orgánica que facilita la actividad biológica, al servir de soporte físico y matriz de intercambio de gases, proporcionar nutrientes orgánicos e inorgánicos y agua, aportar microorganismos nativos, almacenar los residuos metabólicos generados, y actuar como aislante térmico, principalmente.

Distintos grupos de investigación, (Haug, 1993; Raviv, 2005; Zucconi y de Bertoldi, 1987), definen el compostaje como “el proceso bio-oxidativo que se desarrolla sobre sustratos orgánicos en estado sólido y en condiciones de humedad adecuadas por la acción de numerosos y variados microorganismos; el proceso implica el paso por una etapa termófila, con producción temporal de fitotoxinas, generándose como productos de la biodegradación dióxido de carbono, agua, sustancias minerales y una materia orgánica madura, por lo tanto implícitamente estabilizada e higienizada, es decir, libre de fitotoxinas, patógenos y semillas de malas hierbas, y con ciertas características húmicas”.

En el proceso industrial del compostaje, se identifican dos fases consecutivas claramente diferenciadas (Abad y Puchades, 2002; Costa y cols., 1991; Moreno y Mormeneo, 2008b; Saña y Soliva 1987), la primera fase de compostaje propiamente dicha o fase bio-oxidativa, en la que la actividad de los microorganismos es máxima, dado que tienen a su disposición gran cantidad de compuestos fácilmente biodegradables; y otra de maduración o estabilización, en la que la actividad de los microorganismos decae al agotarse las reservas de material biodegradable. En la primera fase, predomina la mineralización de la fracción orgánica, mientras que en la segunda, prevalece la polimerización y condensación de compuestos, dando lugar a un producto, el compost, de características similares al humus.

A su vez, la fase bio-oxidativa puede dividirse en tres etapas consecutivas: mesófila (10-42°C); termófila (45-70°C); y, finalmente, una segunda etapa mesófila o fase de enfriamiento, previa a la fase de maduración (Moreno y Mormeneo, 2008b); caracterizándose el compostaje por la interacción y sucesión de varios grupos de microorganismos, que presentan demandas nutricionales y ambientales distintas.

Las poblaciones microbianas nativas del material orgánico original, en combinación con las que colonizan la pila de compostaje desde el exterior o exógenas, forman el conjunto de agentes biológicos responsables del proceso de biotransformación. Las bacterias alcanzan sus mayores niveles de población en las fases mesófila y termófila iniciales, mientras que los hongos y los actinomicetos, estos últimos de características diferenciales al resto de las bacterias, suceden a aquéllas en las fases de enfriamiento y maduración en las que los polímeros de lignina y celulosa son los únicos compuestos remanentes (Moreno y Mormeneo, 2008b).

Asimismo, debe indicarse que las condiciones termófilas y la presencia de microorganismos con actividad antagonista frente a patógenos y capacidad para degradar o transformar compuestos contaminantes, como son los compuestos orgánicos y metales pesados, contribuyen eficazmente al efecto higienizante del proceso de compostaje.

Todo el proceso está sometido a diferentes tipos de controles, como son la temperatura, humedad y aireación, principalmente, para garantizar un adecuado tratamiento y la estabilización de la materia orgánica (Crojen y cols., 2003), lo que diferencia al compostaje de los procesos naturales no controlados que suelen desembocar en anaerobiosis más o menos acusadas (Bueno y cols., 2008).

El compostaje presenta una serie de ventajas tanto ambientales como agrícolas y económicas (Soliva y cols., 2008). Así, desde el punto de vista ambiental, una de las aplicaciones a considerar para este proceso, es el tratamiento de residuos orgánicos reduciendo su humedad, peso, volumen y peligrosidad, permitiendo reciclar los recursos contenidos en ellos. Además, el compostaje permite controlar las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera de manera

más fácil que otros tipos de tratamientos no biológicos, como es la incineración (López y Boluda, 2008).

Por otra parte, el proceso de compostaje conduce a un producto estabilizado, maduro e higienizado, con un alto contenido de materia orgánica y componentes húmicos, denominado compost, que puede ser utilizado sin riesgo en agricultura, por ser inocuo y no contener sustancias fitotóxicas, y que favorece además el crecimiento y desarrollo de las plantas (Moreno y Moral, 2008a; Soliva, 2001; Stoffella y Kahn, 2005; Zucconi y de Bertoldi, 1987).

La necesidad de un control de los compost por presencia en ellos de organismos patógenos, parásitos, etc., va a depender de las materias primas empleadas en el mismo. Así, por ejemplo, este control es necesario en materiales de origen fecal como pueden ser lodos de depuradora y estiércoles, que contienen cantidades apreciables de bacterias patógenas, virus, huevos de helmintos, etc., que puedan causar una gran variedad de enfermedades. De forma que, se debe controlar la calidad microbiológica del producto final obtenido (Farell, 1993).

Según Finstein y cols. 1987, durante el proceso de compostaje, actúan tres mecanismos en la destrucción o desactivación de patógenos:

- *antagonismo microbiano* en el que tiene lugar una competición por los nutrientes con otros microorganismos no patógenos.
- *liberación de productos con carácter antimicrobiano* como es el caso de la producción de amoníaco durante el proceso.
- *elevadas temperaturas*.

Una posible forma de actuar sobre el proceso de compostaje y favorecerlo, sería mediante la inoculación de microorganismos específicos,

pero, en la mayoría de los casos, esta técnica no provoca grandes mejoras y encarece el proceso; además, las condiciones del medio y las poblaciones autóctonas del material condicionan la proliferación de estas cepas aplicadas de forma exógena.

Cabe destacar, que los elevados costes económicos totales de otros medios de gestión de residuos orgánicos (vertido, incineración, etc.) hacen recomendable el uso del compostaje como alternativa más rentable y con tecnología más sencilla de aplicar (Criner y cols., 1995; Eweis y cols., 1999).

### **II.8.2. Factores que afectan al proceso de compostaje**

En un proceso de compostaje, donde se busca obtener un material orgánico estabilizado como producto final, no se puede dejar transcurrir espontáneamente, sino que en él han de controlarse los parámetros que influyen en el desarrollo y actividad microbiológica, garantizándose así el éxito del proceso (Hedegaard y cols., 1996; Körner y cols., 2003), y en este sentido, los parámetros más importantes a controlar pueden clasificarse en dos tipos: los de seguimiento de dicho proceso y los relativos a la naturaleza del sustrato (Bueno y cols., 2008), unos y otros serán objeto de consideración seguidamente.

#### **II.8.2.1. Parámetros de seguimiento del proceso**

Los parámetros incluidos dentro de este grupo son aquellos que han de ser medidos durante todo el proceso (temperatura, humedad, pH, aireación, y espacio de aire libre) y corregidos, en caso de ser necesario, para que sus valores estén dentro del rango óptimo durante todas las fases del compostaje (Jeris y Regan, 1973).

Dado que el compostaje es un proceso fundamentalmente microbiológico, el síntoma más claro de esta actividad microbiana es el incremento de la temperatura de la masa de material que está compostando, siendo considerada ésta, como una variable fundamental en el control de aquel (Liang y cols., 2003; Miyatake y cols., 2006). De tal modo, que por la evolución de la temperatura, se puede juzgar la eficiencia y el grado de estabilización al que ha llegado el proceso, pues existe una relación estrecha y directa entre la temperatura y la degradación de la materia orgánica, debido a que cada especie de microorganismo, requiere un intervalo de temperatura donde desarrollar su actividad, produciéndose un desprendimiento de calor que provoca un incremento de la temperatura, que dependerá, además, de la adecuación de los demás factores a los intervalos óptimos.

Debido a la descomposición biológica de la materia orgánica que se produce en el compostaje, la presencia de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos, siendo ésta el medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células microbianas y de los productos de desecho de las reacciones que tienen lugar en el proceso. (Bueno y cols., 2008; Madejón y cols., 2002). Así, y según Schulze (1962), pequeñas variaciones en la humedad del material que se está comportando, provocan grandes cambios en la temperatura, por lo que se ha establecido una humedad óptima para el crecimiento microbiano entre el 50% y el 70%; por debajo del 30% la actividad biológica decrece notablemente, mientras que con valores de humedad superiores al 70% el aire es desplazado por el agua del espacio poroso entre las partículas, iniciándose así procesos de anaerobiosis.

Otro parámetro que varía significativamente durante el compostaje es el pH. Durante la fase inicial del proceso, se observa una disminución de aquel debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica más lábil,

que causa la liberación de ácidos orgánicos; posteriormente, se produce una progresiva alcalinización del medio, debido a la degradación de los ácidos orgánicos y a la generación de amoníaco por la descomposición de las proteínas (Sánchez-Monedero y cols., 2001); finalmente, el pH tiende a la neutralidad debido a la formación de compuestos húmicos, que tienen propiedades tampón. En un estudio realizado por Suler y cols. (1977) se estableció una relación entre los cambios de pH y la aireación de la mezcla, concluyéndose que un compostaje con aireación adecuada, conduce a compost finales con valores próximos a la neutralidad, y que la degradación de la materia orgánica se inhibe a pH bajos, por lo que valores iguales o superiores a 7.5 durante el proceso, son indicativos de una correcta descomposición.

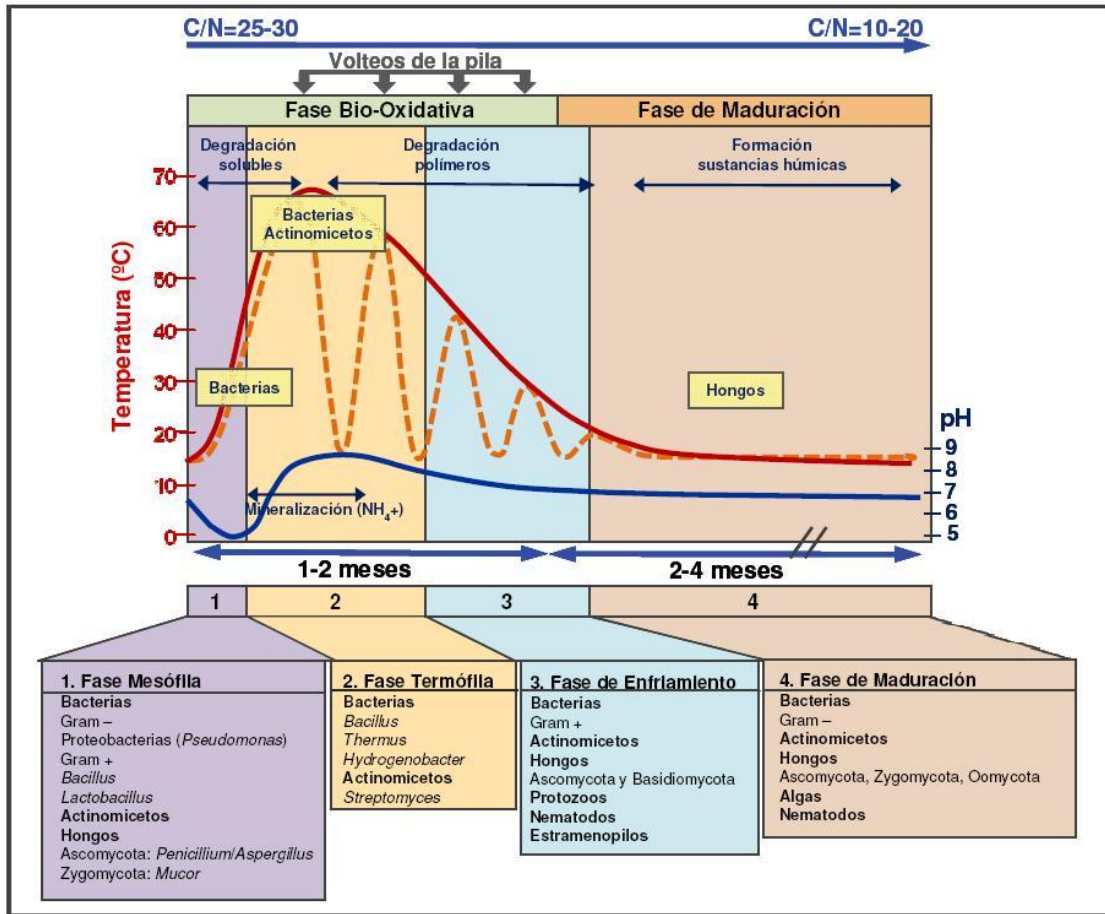
La presencia de oxígeno durante el compostaje es imprescindible para el desarrollo y la actividad microbiana, ya que los microorganismos que intervienen en éste son fundamentalmente aerobios. De tal forma que una aireación insuficiente, favorece la proliferación de microorganismos anaerobios, que sustituyen a los aerobios, ocasionando principalmente: retraso en la descomposición, aparición de sulfuro de hidrógeno, y producción de malos olores, (Bidlingmaier, 1996). Por su parte, un exceso de ventilación puede provocar: el enfriamiento de la pila y una elevada pérdida de humedad, disminuyendo la actividad metabólica de los microorganismos (Zhu, 2006). Además, las aportaciones adicionales de oxígeno, pueden dar lugar a un consumo de los compuestos húmicos formados y a una rápida mineralización de los mismos (Tomati y cols., 2000).

Anteriormente se indicó la importancia del contenido de humedad de la masa en compostaje, que debe ser tal, que el agua no llegue a ocupar la totalidad de los poros de dicha masa y permita, por consiguiente, la circulación tanto del oxígeno, necesario para mantener la aerobiosis, como de otros gases

que se generan durante el proceso. La totalidad de poros de la masa es conocida como “espacio de aire libre” (Schulze, 1962), y relaciona el contenido de humedad, la densidad aparente, la densidad de partícula y la porosidad, por lo que conocidos los valores de densidad, puede estimarse la humedad óptima para el residuo estudiado.

Debido a que la densidad de partícula es una constante para cada producto, y la densidad aparente, puede aumentar o disminuir dependiendo del grado de humedad de la mezcla en compostaje, se hace necesario determinar la densidad aparente a distintos grados de humedad, con objeto de poder calcular la humedad idónea y corregirla así en la pila.

En la Figura II.12., se muestra la evolución de los principales parámetros de seguimiento del proceso, así como la sucesión microbiana durante el compostaje.



Fuente: Moreno y Mormeneo. 2008b

**Fig. II.12.** Evolución temporal de los principales parámetros de seguimiento y sucesión microbiana del proceso de compostaje.

### II.8.2.2. Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato

Entre los parámetros relativos a la naturaleza del sustrato o mezcla de residuos a comportar, se encuentran todos aquellos que han de ser medidos y adecuados a sus correspondientes valores óptimos, ya sean estándar o de referencia, al inicio del proceso de compostaje (Madejón y cols., 2001a).

El tamaño de las partículas es un factor fundamental para la optimización del proceso, pues cuanto mayor sea la superficie específica de la

mezcla de residuos, mejor y más rápido será el ataque microbiano, y en consecuencia, la reactividad química aumentará. Por tanto, el triturado del material facilitará el ataque de los microorganismos y aumentará la velocidad del proceso.

Otro parámetro que afecta notablemente al proceso de compostaje es la relación carbono/nitrógeno (C/N) del material de partida, pues influye en la velocidad del proceso y en la pérdida de amonio durante el mismo. Los microorganismos utilizan generalmente 30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno asimilado, por lo que el rango óptimo teórico establecido para la relación C/N es de 25-35 (Jhorar y cols., 1991). Si la relación C/N es superior a 40, la actividad biológica disminuye, ya que los microorganismos deben oxidar el exceso de carbono, con la consiguiente ralentización del proceso debido a la deficiente disponibilidad de nitrógeno para la síntesis proteica; por el contrario, si la relación C/N es muy baja, el compostaje se lleva a cabo con mayor rapidez (Zhu, 2006), pero el exceso de nitrógeno se desprende en forma amoniacal, produciéndose una pérdida de este elemento así como un problema medioambiental, ya que el amoníaco es un gas con un considerable efecto invernadero.

La composición elemental del residuo, es otro factor relevante en el compostaje. Los microorganismos sólo pueden metabolizar intracelularmente compuestos simples, por lo que las moléculas más complejas deben ser degradadas extracelularmente mediante procesos enzimáticos más o menos complicados, convirtiéndose en otras más sencillas (Castaldi y cols., 2005). Para llevar a cabo estos procesos, los microorganismos necesitan el soporte de macronutrientes (nitrógeno, carbono y fósforo) esenciales para la multiplicación celular, y micronutrientes como boro, manganeso, cinc, cobre, hierro, molibdeno y cobalto, entre otros, pues éstos, desempeñan un importante papel

en la síntesis de las enzimas, el metabolismo de los microorganismos, y los mecanismos de transporte intra- y extra-celular (Miyatake y *cols.*, 2006).

El conocimiento de la fracción orgánica de los compost es fundamental, ya que ésta es considerada el principal factor para determinar la calidad agronómica de dichos composts. Durante el proceso de compostaje, la materia orgánica tiende a descender, formándose al final compuestos simples y compuestos húmicos a partir de cadenas carbonadas largas (Castaldi y *cols.*, 2005). Pues bien, algunos compuestos procedentes de la materia orgánica, son incorporados por los microorganismos, y otros son transformados en dióxido de carbono y agua, en procesos en los que la velocidad de transformación de la materia orgánica depende de varios factores como son: su naturaleza física y química, los microorganismos que intervienen, y las condiciones físico-químicas del proceso (Michel y *cols.*, 2004).

Desde el punto de vista físico-químico, la conductividad eléctrica de un compost está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su concentración de sales y, en menor grado, por la presencia de los iones amonio o nitrato formados durante el proceso (Sánchez- Monedero y *cols.*, 2001), tendiendo a aumentar durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, que lleva al aumento de la concentración de sales.

### **II.8.3. Sistemas de compostaje**

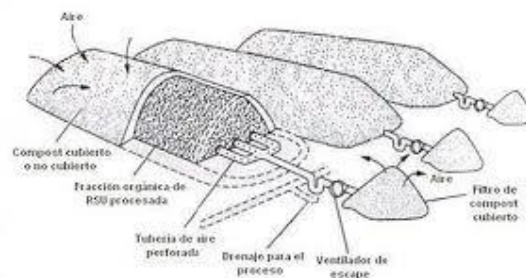
El compostaje puede llevarse a cabo utilizando diferentes sistemas. La clasificación más común de éstos se realiza en función del aislamiento del material a compostar con respecto al exterior, pues el suministro de oxígeno para aireación, el control de la temperatura y la humedad, pueden realizarse

en sistemas abiertos, semi-cerrados y cerrados (Abad y Puchades, 2002; Costa y cols., 1991; Saña y Soliva, 1987; Soliva, 2001).

Los sistemas abiertos, pilas y trincheras, suelen ser los más utilizados debido a su bajo coste y la sencillez de su tecnología. En ellos, el material recepcionado, una vez homogeneizado, se extiende en eras, pilas, mesetas o zanjas de dimensiones variables. Los sistemas de manejo del material, también pueden variar, siendo lo más común la aireación por medio de volteos periódicos, conocido como sistema dinámico (Figura II.13), y menos frecuente la aireación pasiva o forzada, denominado sistema estático. La Figura II.14 se muestra como en este último tipo de sistemas, se dispone una red de tuberías perforadas distribuidas por todo el terreno y por debajo (en la base) de la pila de residuos a compostar, a través de las cuales se inyecta aire (sistema Rutgers) o se aspiran los gases resultantes (sistema Beltsville), existiendo sistemas mixtos que combinan los dos métodos de aireación indicados (Chica y García, 2008; Rynk, 2000a, 2000b; Rynk y Richard, 2005).



**Fig.II.13.** Pila de compost con volteo dinámico



**Fig. II.14.** Esquema de pilas de compostaje estáticas con aireación forzada

En los sistemas semi-cerrados, el conjunto de operaciones que se llevan a cabo, se realizan dentro de una gran nave cubierta y cerrada, que dispone de un sistema de extracción de gases por tuberías colocadas a lo largo del techo. La atmósfera interior, viciada por los gases de la masa de residuos en

descomposición, es tratada por medio de biofiltros. El sistema más conocido es el que se muestra en la Figura II.15, por medio de trincheras o calles en las que el material se coloca entre muretes longitudinales y es volteado por distintos procedimientos como son cargador de vagones portátiles, volteadores de hileras, etc. (Chica y García, 2008; Rynk, 2000a, 2000b; Rynk y Richard, 2005).



**Fig.II.15.** Sistema de compostaje semi-cerrado

Por otra parte, en los sistemas cerrados, el material a compostar nunca está en contacto con el exterior, requiriéndose diferentes instalaciones y equipos que contengan los residuos e intenten controlar el entorno del compostaje en contenedores, reactores o túneles, así como conductos, turbinas, etc. Los sistemas cerrados más habituales son los túneles con circulación de aire y los digestores aerobios, tales como lechos horizontales agitados, contenedores aireados-agitados, reactores torre o silos, y reactores de tambor rotativo, principalmente (Chica y García, 2008; Rynk, 2000a, 2000b; Rynk y Richard, 2005). El material que sale de los sistemas cerrados pasa un periodo posterior de maduración controlada, utilizando diversos sistemas: pilas con volteo, túneles de maduración, etc. (Chica y García, 2008; Rynk y Richard, 2005), (Figura II.16).



**Fig. II.16.** Reactor horizontal rotativo

Aunque los sistemas cerrados necesitan equipos de aireación, riego, estanqueidad y control más complejos, y requieren, por tanto, mayor inversión inicial y costes de mantenimiento que los sistemas abiertos, presentan una serie de ventajas como son: la reducción de los posibles impactos ambientales; un mejor control del proceso, lixiviados y malos olores; menor necesidad de espacio; producción de compost más homogéneos; y reducción del riesgo sanitario para los trabajadores (Soliva, 2001).

#### **II.8.4. Calidad del compost. Parámetros a considerar y regulación**

El concepto de calidad del compost es difícil de definir (Masaguer y Benito, 2008; Soliva, 2001; Soliva y Molina, 1996), dada la heterogeneidad de materiales orgánicos de partida y la extensa gama de aplicaciones o usos del producto final obtenido tras el proceso de compostaje. La dificultad radica principalmente, en establecer los parámetros a controlar y los intervalos óptimos de los mismos para evaluar la calidad de los composts (Soliva y Molina, 1996).

La calidad del compost, debería considerarse a partir de las consecuencias derivadas de la aplicación de un tratamiento de compostaje, que tenga en cuenta la protección del medio ambiente y la salud, compatibles con una gestión racional de los residuos, y que posea como finalidad la elaboración de un producto para uso agrícola (Masaguer y Benito, 2008). Asimismo, el desarrollo del mercado del compost, debe avanzar paralelamente a la evolución de la conciencia de calidad, por lo que debe fomentarse la comunicación y la sensibilización de los productores y los consumidores del producto final, adaptando, además el producto a cada situación particular (Abad y Puchades, 2002; Raviv, 2005).

Los requerimientos generales de calidad están relacionados principalmente con un aspecto y olor aceptables, una higienización adecuada, una concentración muy baja de impurezas y sustancias contaminantes, un contenido conocido de elementos minerales útiles para suelos y cultivos, y unas características homogéneas a lo largo del tiempo (Abad y Puchades, 2002; Soliva, 2001; Soliva y Paulet, 2003).

También existen otros parámetros, particularmente los que están estrechamente relacionados con la madurez y estabilidad del compost, que pueden resultar de gran interés para determinar su calidad. Así, la calidad agronómica del compost debe considerarse teniendo en cuenta otros parámetros relevantes para su uso, tales como su granulometría, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, relación C/N, nivel de nutrientes, contenido y estabilidad de la materia orgánica, índice de germinación de semillas, y actividad microbiana, entre otros (Abad y Puchades, 2002; Goyal y cols., 2005; Masaguer y Benito, 2008).

Además de las bases antes señaladas para definir la calidad del compost, una evaluación más detallada debería incluir una serie de parámetros

---

específicos que deberían determinarse en las materias primas, a lo largo del proceso de compostaje, y, necesariamente, en el producto final, con el fin de establecer la aplicación más adecuada para el compost (Goyal y cols., 2005). En la Tabla II.3, se recogen una serie de parámetros a considerar a la hora de valorar la calidad del compost.

**Tabla II.3.** Parámetros a considerar para valorar la calidad del compost

<b>Propiedad</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Informa sobre</b>
Física	• Densidad aparente	Transporte, manejo y aplicación
	• Color	Aceptación
	• Olor	Aceptación, higiene e impacto ambiental
	• Humedad	Transporte y manejo
	• Granulometría	Manejo, aceptación y efectos sobre el suelo/sustrato
	• Capacidad de retención de agua	Efectos sobre el suelo/sustrato y ahorro de agua
	• Presencia de inertes	Aceptación, impacto ambiental y seguridad
Química	• Contenido y estabilidad de la materia orgánica	Efectos sobre el suelo/sustrato y sobre vegetales, y aceptación
	• Nutrientes minerales	Efectos sobre el suelo/sustrato y sobre los vegetales
	• Contaminantes	Salud, efectos sobre el suelo/sustrato y sobre los vegetales, e impacto ambiental
	• Sales solubles	Efectos sobre el suelo/sustrato y sobre los vegetales, e impacto ambiental
	• pH	Disponibilidad de nutrientes
Biológica	• Patógenos	Salud e impacto ambiental
	• Semillas de malas hierbas	Efectos sobre el suelo/sustrato y sobre la producción vegetal

Fuente: Soliva, 2001.

Por otro lado, el destino final del compost determina también su calidad, ya que cada tipo de aprovechamiento, aplicación o uso, necesita unos requerimientos específicos. Por ello, la selección de los parámetros que mejor definan las características del compost en función del uso al que éste va a destinarse es de capital importancia (Masaguer y Benito, 2008). En la Tabla II.4 se recoge la importancia relativa de diferentes parámetros físicos, físico-químicos, químicos y biológicos, según el uso final del compost producido, observándose que los requerimientos para su aprovechamiento como sustrato de cultivo, son comparativamente superiores a su aplicación como enmienda, abono orgánico o para acolchado.

**Tabla II.4.** Parámetros a considerar para evaluar la calidad de un compost dependiendo del uso final del mismo

Parámetro	Uso*			
	Sustrato para semillero	Venta como sustrato	Enmienda o abono orgánico	Mulch
Respuesta del crecimiento	++	++	++	-
Contenido en nutrientes	-	+	+	-
pH/Sales solubles	++	++	+	-
Color/Olor	++	++	+	+
Presencia de inertes	++	++	-	+
Maduración/Estabilidad	++	++	+	-
Tamaño de partícula	++	+	+	+

\* (-) importancia baja; (+) importancia media; (++) importancia alta  
Fuente: Sullivan y Millar, 2005

Esta gama de criterios ha dado lugar a que numerosas organizaciones, tanto públicas como privadas, hayan elaborado especificaciones, normas y recomendaciones sobre evaluación de la calidad del compost. En relación con los criterios anteriormente citados, es obligatorio el cumplimiento de las disposiciones legislativas vigentes en el R.D. 506/2013, de 28 de junio, sobre

Productos Fertilizantes y R.D. 865/2010, de 2 de julio, sobre Sustratos de Cultivo, en materia de contenido mínimo exigido en materia orgánica y otros parámetros, y umbrales máximos de contenido de humedad, contenido en polifenoles, metales pesados, organismos patógenos y nocivos, etc., con el fin de garantizar unos niveles mínimos de calidad, principalmente para evitar perjuicios para la salud y la contaminación del entorno natural.

Dentro de la Unión Europea no existe uniformidad en cuanto a normativa se refiere, contemplándose la calidad del compost desde una perspectiva medioambiental. El proyecto de propuesta “Working Document: Biological Treatment of Biowaste, 2nd draft” (Comisión Europea, 2001), ha servido, en los últimos años, como punto de partida para establecer un marco legislativo relativo a la calidad del compost a nivel europeo. En los últimos años el Instituto de Prospectiva Tecnológica, instituto de investigación del Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, publicó el primer informe técnico denominado “First Working Document on End-of-Waste Criteria on Biodegradable Waste Subject to Biological Treatment” (IPTS, 2011), en el que se considera el uso agronómico del compost como mejorador del suelo y como sustrato de cultivo, y se indica, además, la importancia de determinar diferentes parámetros de calidad, como pH, conductividad eléctrica, densidad aparente, tamaño de partícula, actividad microbiana, etc.

En la Tabla II.5 se presentan los requisitos que deben cumplir los composts distribuidos como enmiendas o abonos orgánicos en España, así como los recogidos en la última propuesta europea (IPTS, 2011). En el ámbito español existen tres niveles de exigencia respecto al contenido en metales pesados (A, B y C), siendo la clase A la más restrictiva y, por tanto, la de mayor calidad.

**Tabla II.5.** Normativa española y propuesta europea referente a los requerimientos mínimos de calidad de compost

Parámetro	Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre Productos Fertilizantes			Working Document: End-of-Waste Criteria on Biodegradable Waste Subject to Biological Treatment, 2011 <sup>Y</sup>	
	Enmienda		Abono orgánico		
	C	CV			
Humedad	≤40%	≤40%	Pellet ≤14%	Compost	
Granulometría	90%<25 mm		90%<10 mm		
Materia orgánica total (mf)	≥35%	≥40%		≥20%	
Nitrógeno orgánico	≥85% del N total				
Relación C/N	<20	<15			
	Clase A	Clase B	Clase C		
Contenido máximo en metales pesados (mg/kg ms)	Cd	0.7	2	3	1.5
	Cu	70	300	400	100
	Ni	25	90	100	50
	Pb	45	150	200	120
	Zn	200	500	1000	400
	Hg	0.4	1.5	2.5	1
	Cr (total)	70	250	300	100
	Cr (VI)	nd	nd	nd	
Materiales inertes	Plásticos, metales, vidrios, etc.	> 2 mm <3%	Sin inertes ni impurezas		>2 mm <0,5%
	Piedras y gravas	>5 mm <5%			
Nivel máximo de patógenos, si contiene materias primas de origen animal	<i>Salmonella</i>	Ausente en 25 g de producto elaborado		Ausente en 50 g de producto elaborado	
	<i>Enterobacterias totales</i>	<1000 UFC/g de producto elaborado (sólo si incluye ingredientes de origen animal)			
	<i>Escherichia coli</i>	<1000 NMP/g de producto elaborado			
Organismos nocivos, si contiene materias primas de origen vegetal	Aquellos contenidos en el Real Decreto 2071/1993, de 26 de noviembre (modificado por BOE núm. 113, de 12 de mayo de 2003), en la Ley 43/2002 de Sanidad Vegetal, y en la Orden 776/02 del MAPA				
Otros requisitos	No aplicar Clase C en suelos agrícolas a dosis >5 t ms/ha y año				

C: compost; CV: compost vegetal; <sup>Y</sup>IPTS, 2011  
mf: materia fresca; ms: materia seca; nd: no detectable según el método oficial

Según el R.D 865/2010 sobre Sustratos de Cultivo, los composts deben tener un contenido mínimo en materia orgánica del 20% sobre materia seca para su uso como sustratos y únicamente pueden utilizarse composts de clase A y B para dicho aprovechamiento (con concentraciones similares a las clases A y B del R.D 506/2013), prohibiéndose además la aplicación de composts clase B en cultivos hortícolas comestibles. Respecto a los niveles de patógenos, dicho R.D., incluye niveles máximos en recuentos de *Listeria monocytogenes*, *Enterococcaceae* y *Clostridium perfringens*.

Con relación a otras normativas que regulan la calidad del compost, merecen destacarse las Decisiones de la Comisión Europea relativas a la concesión de la etiqueta ecológica comunitaria a enmiendas del suelo y sustratos de cultivo, Decisión de la Comisión 2014/336/UE, de 5 de junio, que establece criterios ecológicos para fomentar la confianza en la producción y el consumo de productos y servicios más respetuosos con el entorno, y garantizar así a los usuarios la calidad que éstos demandan.

En la actualidad, la industria del compostaje posee conocimientos y tecnologías suficientes para asumir la producción de composts de calidad, que cumplan las exigencias de las normativas aplicables y las necesidades del consumidor. No obstante, todavía no se ha consolidado la realización de unos controles de calidad mínimos en el compost, lo que sigue generando desconfianza en los usuarios, ya que éstos carecen de información del producto relativa a sus propiedades, efectos beneficiosos, modo de empleo, y estándares de calidad, principalmente (Masaguer y Benito, 2008; Raviv, 2005).



## II.9. COMPOSTAJE DE ALPERUJO

Como ya se ha mencionado anteriormente, el tratamiento del alperujo mediante compostaje es una alternativa de gran interés a la hora de gestionar este residuo (Alburquerque *y cols.*, 2004; Canet *y cols.*, 2008; Montemurro *y cols.*, 2009). Sin embargo, el proceso de compostaje presenta algunas dificultades (Cegarra y Paredes, 2008; García-Gómez *y cols.*, 2003), relacionadas principalmente con su elevado contenido en lignina, alto valor de la relación C/N como consecuencia de su bajo contenido en nitrógeno, efecto antimicrobiano de algunos de sus componentes (polifenoles y lípidos, entre otros), y las características semisólidas del material, que limita la difusión del oxígeno en el mismo para que el proceso aeróbico de la biodegradación de la materia orgánica pueda desarrollarse satisfactoriamente.

En este contexto, debe considerarse también que la fracción orgánica del alperujo presenta un nivel de proteínas elevado (alrededor del 7%), pero con baja disponibilidad para el crecimiento inicial de los microorganismos debido a su asociación con la fracción lignocelulósica (Alburquerque *y cols.*, 2004). Por estos motivos, la viabilidad del proceso de compostaje depende en gran medida de la adición de otros materiales a la mezcla, denominados comúnmente agentes estructurantes, que sirven como fuente adicional de nitrógeno, equilibrando la relación C/N hasta alcanzar valores en el rango óptimo (Alburquerque *y cols.*, 2004; Cegarra y Paredes, 2008; Morillo *y cols.*, 2009), y dando porosidad a la mezcla.

### II.9.1. Materias primas empleadas en el compostaje de alperujo

El compostaje de alperujo debe realizarse con materiales orgánicos con bajo contenido en humedad y mayor tamaño de partícula que éste, con objeto de absorber el exceso de humedad del alperujo y facilitar la aireación de la

mezcla. Como agentes estructurantes se han utilizado diferentes materiales, entre ellos raspón de uva (Alburquerque y cols., 2006a, 2006c, 2009; Baeta-Hall y cols., 2005), hojas de olivo u hojín (Alburquerque y cols., 2006a, 2006c, 2009; Alfano y cols., 2008), corteza y serrín de chopo (Filippi y cols., 2002), gallinaza (de la Fuente y cols., 2011; Walter y Bernal, 2008), residuos del desmotado del algodón (Alburquerque y cols., 2006b, 2006c, 2007, 2009; Walter y Bernal, 2008), paja de trigo (Altieri y Esposito, 2010; Montemurro y cols., 2009), residuos del lavado de la lana (Altieri y Esposito, 2010), estiércol ovino fresco (Cayuela y cols., 2006, 2010), restos de poda y otros estiércoles de diferentes orígenes y características (Alburquerque y cols., 2009; Cegarra y cols., 2006; Montemurro y cols., 2009), principalmente.

En algunos experimentos de compostaje se aportó urea a la mezcla (Alburquerque y cols., 2006a, 2006c, 2009), aunque esto no es deseable desde el punto de vista medioambiental (Morillo y cols., 2009).

Además de lo anterior, a la hora de elegir los materiales para las distintas mezclas, deben tenerse en cuenta otros aspectos como la disponibilidad del material, coste y su proximidad a la planta de compostaje (Baeta-Hall y cols., 2005; Cegarra y Paredes, 2008). Por ello, y para el compostaje del alperujo a escala industrial, se han sugerido materiales del entorno de las zonas del cultivo del olivo y de la extracción del aceite, como son la hoja de limpia o estiércol (Cayuela y cols., 2004), con el fin de incrementar la viabilidad económica del proceso, solucionar paralelamente los problemas de gestión de otros tipos de residuos locales y fomentar su posterior uso en la agricultura. De este modo, el aprovechamiento y la valorización de los recursos propios de una zona, podrían contribuir a potenciar la confianza en el compostaje del alperujo, como una opción de tratamiento más atractiva, en el marco de un sistema de gestión integral que atendiera a las necesidades y características específicas de cada zona.

## II.9.2. Características del proceso de compostaje de alperujo

A lo largo del compostaje del alperujo se observa generalmente un incremento en el pH, que puede llegar a alcanzar valores superiores a 9, y también, en la conductividad eléctrica, en la capacidad de intercambio catiónico, y en el contenido de nitrógeno total debido a la reducción del peso de la mezcla y del efecto de concentración durante el proceso. Al mismo tiempo, se producen pérdidas de materia orgánica, una disminución de la relación C/N, y una humificación gradual del material orgánico de partida (Alburquerque y cols., 2006c; Alfano y cols., 2008; Baeta-Hall y cols., 2005; Cayuela y cols., 2010; Cegarra y cols., 2005a, 2006; Montemurro y cols., 2009).

El incremento de pH se debe a la biodegradación de compuestos con grupos carboxílicos y fenólicos, y a la mineralización de otros compuestos orgánicos, tales como proteínas, aminoácidos y péptidos que dan lugar a la formación de amonio (Paredes y cols., 2000). Alburquerque y cols. (2006a, 2006b) registraron un incremento en el contenido en amonio al iniciarse la fase termófila seguido de una disminución de la concentración de éste según avanzaba el proceso. Por el contrario, durante el compostaje no se detectó la formación de nitrógeno en forma nítrica, ya que la baja concentración de amonio junto con la alcalinidad del medio, limitan el proceso de nitrificación al inhibir el crecimiento de las bacterias nitrificantes (Alburquerque y cols., 2006a, 2006b; Cayuela y cols., 2008b; Cegarra y cols., 2006).

Merece destacarse la biodegradación progresiva del contenido en carbono orgánico hidrosoluble, glúcidos, fenoles solubles y lípidos, observada generalmente durante el proceso (Alburquerque y cols., 2006b, 2006c; Baeta-Hall y cols., 2005; Cegarra y cols., 2006; Filippi y cols., 2002), coincidiendo con el incremento paulatino en el índice de germinación de semillas, confirmándose

así la detoxificación progresiva del material (Alburquerque y cols., 2006c; Cegarra y cols., 2006).

La oxidación enzimática de los compuestos fenólicos de bajo peso molecular, en residuos de almazara, produce radicales libres muy reactivos, que se polimerizan para formar compuestos menos tóxicos y más solubles. Asimismo, los compuestos fenólicos pueden ser degradados por microorganismos especializados y, de este modo, la caída en el contenido de fenoles solubles es notable cuando los procesos de polimerización y biodegradación prevalecen sobre la producción de compuestos fenólicos mediante la degradación de compuestos como la lignina (Alburquerque y cols., 2006a). De acuerdo con lo anterior, algunos autores han observado que una degradación muy intensa de la lignina durante el compostaje del alperujo puede traducirse en una menor disminución, e incluso nula, del contenido en fenoles (Cayuela y cols., 2006).

En algunos casos, se ha apreciado un incremento en la duración del período de compostaje, especialmente de la fase termófila, que podría deberse a la escasa disponibilidad de nitrógeno, la alta concentración de compuestos resistentes a la degradación, como podría ser el caso de la lignina (Alburquerque y cols., 2006b, 2006c), y la presencia de sustancias oleosas que liberan gran cantidad de energía e incrementan el período de degradación de las moléculas estables (Alburquerque y cols., 2009; Manios y cols., 2006).

Con relación a los parámetros biológicos y bioquímicos relativos al compostaje del alperujo, Cayuela y cols. (2008b) observaron un incremento de la actividad microbiana, así como de las actividades fosfatasa alcalina y arilsulfatasa, mientras que las actividades ureasa y fosfatasa ácida, no presentaron variaciones significativas debido al bajo nivel de nitrógeno y los altos valores de pH de la mezcla en compostaje.

Por otra parte, la selección del sistema de aireación a utilizar depende de la naturaleza de la mezcla de residuos orgánicos a compostar, considerándose, de manera genérica, que la aireación forzada de pilas estáticas proporciona un suministro continuo de oxígeno, reduce las pérdidas de nitrógeno por volatilización, y facilita un mejor control de la temperatura, aunque puede favorecer la formación de canales preferentes de flujo de aire, y por tanto zonas de anaerobiosis, e impedir además la homogeneización de dicha mezcla (redistribución de microorganismos, nutrientes y agua); en contraste con lo anterior, el sistema de pilas con volteos periódicos es más económico y permite homogeneizar la mezcla, pero impide mantener un nivel continuo de oxígeno y limita además el control de la temperatura y de las pérdidas de nitrógeno (Cayuela y cols., 2006; Cegarra y cols., 2006). La combinación de estos dos sistemas, representa costes más elevados, pero consigue eliminar los inconvenientes de ambos métodos (Stentiford, 1996).

Debido a las conocidas propiedades físicas características del alperujo de alto contenido de humedad, baja porosidad y necesidad de adición de agentes estructurantes, algunos autores han evaluado la eficiencia del uso de diferentes sistemas de aireación para su compostaje. La aplicación del sistema de volteos periódicos resultó más eficiente que el sistema estático de aireación forzada (Baeta-Hall y cols., 2005; Cayuela y cols. 2006), dificultándose además, con este último, la adecuada aireación en las fases iniciales del proceso, con la consiguiente ralentización de éste (Cayuela y cols., 2006). García-Gómez y Bernal (2005), atribuyeron la menor eficiencia del sistema de ventilación forzada, a la fracción lipídica del alperujo, que confiere una matriz particular a la masa en compostaje, dificultando tanto su humectación, debido a su carácter hidrofóbico, como su aireación.

Los beneficios del volteo mecánico en el compostaje del alperujo, están estrechamente relacionados con la reducción de la compactación del material

así como con la reinoculación y la redistribución de oxígeno en la matriz en compostaje, evitándose así el desarrollo de condiciones anaerobias derivadas de la obstrucción de los poros (Alburquerque y cols., 2006a, 2006c; Cegarra y cols., 2005a). Por otro lado, Alburquerque y cols. (2006c, 2009) y Cegarra y cols. (2006), compararon el uso de volteos mecánicos con el sistema mixto de volteos periódicos más ventilación forzada, demostrando que el proceso era algo más rápido con este último, si bien la madurez y la calidad de los compost obtenidos con ambos procedimientos fueron similares, por lo que prescindir de la aireación forzada representó un ahorro económico considerable sin disminuir la calidad del compost final.

### **II.9.3. Características y calidad de los compost de alperujo**

El compostaje del alperujo con otros materiales estructurantes, produce generalmente compost con un buen grado de humificación, no fitotóxicos, libres de patógenos, y con niveles aceptables de nutrientes (Tabla II.6) (Alburquerque y cols. 2006c, 2009; Alfano y cols., 2008; Cayuela y cols., 2004, 2010; Roig y cols., 2006).

Los compost de alperujo suelen presentar pH fuertemente alcalino, conductividad eléctrica de moderada a alta, y contenido elevado en materia orgánica; gran parte de la fracción orgánica, está formada por lignina, compuesto precursor de las sustancias húmicas y relacionado en gran medida con los altos valores de la relación C/N observados generalmente en estos compost. También poseen contenidos importantes en celulosa y hemicelulosa, y en menor cuantía de lípidos, glúcidos y fenoles.

Al estudiar comparativamente el compost de alperujo con estiércoles y otros de distintos orígenes, puede apreciarse que los composts de alperujo presentan un contenido más elevado de materia orgánica, aunque menos

biodegradable debido a su naturaleza lignocelulósica, potasio y nitrógeno orgánico, mientras que las concentraciones de fósforo, calcio, magnesio, sodio y micronutrientes son menores en éste (Alburquerque y cols., 2009; Cegarra y Paredes, 2008; Cegarra y cols., 2005a). No obstante, al realizar el compostaje del alperujo con una amplia gama de materiales estructurantes, algunas de sus características, como su contenido en nutrientes, están sujetas a una variabilidad importante.

Por otra parte, los residuos de almazara, con bajos contenidos en sustancias tóxicas recalcitrantes, aseguran la calidad de los composts tras la biotransformación de aquellos mediante compostaje, obteniéndose así composts cuyo uso es seguro desde el punto de vista medioambiental (Alfano y cols., 2008; Roig y cols., 2006).

**Tabla II.6.** Relación de los compost de alperujo y parámetros químicos seleccionados en los mismos con objeto de su uso agrícola y medio ambiental

<b>Mezcla (en peso seco)</b>	<b>Materia orgánica total (g/kg)</b>	<b>Relación C/N</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Referencia</b>
				(g/kg)		
alperujo+estiércol+raspón de uva (60/25/15)	408	14.6	17.4	1.4	13.7	Cayuela (2004)
alperujo+raspón de uva+urea (87/12/1)	896	20.7	22.7	1.6	37.0	Alburquerque y cols. (2006a, 2006c, 2009); Cegarra y cols. (2005b)
alperujo+hojas de olivo+urea (87/12/1)	912	21.0	23.1	1.5	36.2	Alburquerque y cols. (2006a, 2006c, 2009)
alperujo+residuo del desmotado del algodón (80/20)(aireación forzada, temperatura umbral 50°C)	900	22.7	21.7	1.5	24.9	Alburquerque y cols. (2006b, 2006c)
alperujo+residuo del desmotado del algodón (80/20)(aireación forzada, temperatura umbral 60°C)	890	22.3	21.9	1.4	27.5	Alburquerque y cols. (2006c, 2007)
alperujo+estiércol de vaca+compost maduro (87/11/2)(aireación mecánica)	816	16.8	26.3	1.9	42.7	Alburquerque y cols. (2006c, 2009); Cegarra y cols. (2006)
alperujo+estiércol de vaca+compost maduro (87/11/2)(aireación por sistema mixto)	793	16.6	26.2	1.9	42.5	Alburquerque y cols. (2006c, 2009); Cegarra y cols. (2006)
alperujo+residuo del desmotado del algodón (67/33)	825	19.1	24.5	2.4	26.7	Walter y Bernal (2008)
alperujo+residuos del lavado de la lana+paja de trigo (72/14/14)	692	10.8	35.0	1.7	23.0	Altieri y Esposito (2010)

## **II.10. APROVECHAMIENTO Y APLICACIONES AGRONÓMICAS Y MEDIOAMBIENTALES DEL COMPOST**

### **II.10.1. Aprovechamiento agronómico**

Los beneficios del aprovechamiento de los composts son, por una parte, de carácter ambiental, al permitir reducir los residuos sin alteración relevante del equilibrio de los ecosistemas, y por otra, de tipo agronómico, ya que se recupera y aprovecha la materia orgánica y los elementos fertilizantes contenidos en dichos residuos.

El aspecto positivo más importante del uso agrícola de compost está relacionado con la sostenibilidad de esta práctica cultural, ya que una actividad o un sistema no pueden contemplarse aisladamente y, a través del aprovechamiento agrícola, se cierra el ciclo de los nutrientes (Tittarelli y *co/s.*, 2007), considerándose además la aplicación de compost con fines agrícolas una estrategia de alto potencial de secuestro de carbono en el contexto del cambio climático (Moral y *co/s.*, 2009).

A nivel práctico, y al proponer el uso de materiales orgánicos en agricultura, es necesario diferenciar entre el compost y el resto de materiales, pues el compost es un producto elaborado mediante un tratamiento biológico controlado y específico, con un contenido de humedad inferior al del resto de materiales orgánicos frescos (menor del 40%), lo que implica diferencias importantes en su manejo y aplicación al suelo. Por tanto, y debido al proceso industrial de su elaboración, el coste del compost es superior al de otros materiales residuales orgánicos, ha de dosificarse en menores cantidades debido a su escasa humedad y alto contenido en nutrientes, y debe aportarse con otros tipos de sistemas de aplicación (Moral y Muro, 2008). No obstante, la producción de compost de buena calidad a partir de residuos orgánicos debe

estar orientada a actividades agrícolas específicas, para poder justificar los costes de producción y venta del mismo (Moral y cols., 2009).

La valorización agrícola de los residuos orgánicos se realiza principalmente al aprovechar los composts preparados con éstos como enmiendas húmicas de los suelos de cultivo, como abonos orgánicos u órgano-minerales para el material vegetal cultivado, y/o como sustratos o componentes de sustratos para el cultivo sin suelo (Carmona y Abad, 2008; Abad y Puchades, 2002; Moral y Muro, 2008; Soliva y Paulet, 2003). Por otra parte, las aplicaciones medioambientales de estos materiales orgánicos incluyen su uso para el control biológico de agentes fitopatógenos y en la recuperación de suelos contaminados, entre otros usos potenciales (Boulter y cols., 2000; de la Fuente y cols., 2011).

#### **II.10.2. Aprovechamiento como enmiendas orgánicas para la mejora del suelo**

Una de las aplicaciones del compost es su adición al suelo con objeto de mantener o elevar el contenido en humus del mismo. Al cultivar un suelo, se produce una disminución progresiva del nivel de humus del mismo a lo largo del tiempo (Acosta-Martínez y cols., 2003; Senesi y cols., 2007). Dicha reducción, conlleva una pérdida global de fertilidad, que repercute en la aceleración de los procesos erosivos y en el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas (Bauer y Black, 1994). Pues bien, la aplicación continuada de diferentes tipos de materia orgánica, especialmente de compost, puede revertir estos procesos perjudiciales (Grandy y cols., 2002; Moral y Muro, 2008; Raviv, 2005).

En este aprovechamiento, la aplicación de compost puede realizarse como enmienda de mantenimiento, para restituir anualmente la pérdida de

humus, o como enmienda de corrección, con el fin de incrementar el contenido en humus del suelo cuando éste es inferior al nivel aceptable u óptimo (Abad y Puchades, 2002).

Para seleccionar un compost como enmienda orgánica deben tenerse en cuenta diversos factores, como son la dosis de aplicación, el contenido de elementos o sustancias potencialmente contaminantes, el grado de higienización, madurez y estabilidad, la época de incorporación al suelo, las características edáficas y climáticas, y la especie vegetal a cultivar (Danés y Boixadera, 2001).

#### II.10.2.1. Efecto sobre el suelo

Uno de los problemas ambientales más importantes es la degradación del suelo, ya que éste constituye un componente crítico de la biosfera no sólo porque es el soporte de la producción de alimentos, sino también porque sustenta la calidad ambiental (Marcote y cols., 2001); además, el suelo constituye un recurso no renovable, con procesos de formación y regeneración de muy larga duración (Van-Camp y cols., 2004).

Las técnicas de producción aplicadas en los sistemas agrícolas intensivos, han provocado un deterioro en la calidad del suelo, que se manifiesta en pérdidas de su contenido en materia orgánica y en el deterioro de su estructura, afectando a los flujos de agua, aire y nutrientes, y, por consiguiente, al crecimiento de las plantas (Golchin y cols., 1995; Melero y cols., 2008); observándose también, que la degradación edáfica y la desertificación están estrechamente relacionadas con el efecto invernadero y el cambio climático (Komatsuzaki y Ohta, 2007).

La fertilidad del suelo se define como la capacidad que éste posee para satisfacer los requerimientos físicos, químicos y biológicos de las plantas en cuanto a crecimiento, productividad, reproducción y calidad de éstas se refiere, en función de la especie, tipo de suelo, uso del suelo y condiciones climáticas (Abbott y Murphy, 2007), y la aplicación de enmiendas orgánicas, es una estrategia que sirve para restituir la pérdida de fertilidad y calidad derivada de la agricultura intensiva en los agroecosistemas, y ha sido objeto de numerosos estudios (Ferrerías y cols., 2006; Goyal y cols., 1999; Madejón y cols., 2001c; Raviv, 2005; Wander y cols., 2002). En la Tabla II.7 se presentan los efectos principales de la aplicación de composts sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

**Tabla II.7.** Efectos principales de los compost sobre las propiedades y funcionalidad de los suelos cultivados

Propiedad	Efecto
Física	- Mejora de la estructura (agregación de las partículas elementales)
	- Mantenimiento de la estabilidad de los agregados
	- Reducción de la densidad aparente
	- Incremento de la porosidad total
	- Aumento de la permeabilidad al aire y al agua
	- Incremento de la infiltración
	- Incremento de la capacidad de retención de agua útil
	- Mejora del balance hídrico
Química	- Disminución de los efectos erosivos
	- Mantenimiento o aumento del ph
	- Incremento de la capacidad de intercambio catiónico
	- Incremento de la capacidad tampón
	- Aumento de la salinidad, que puede disminuir posteriormente por lluvias y Riego
	- Aumento del contenido de materia orgánica
	- Incremento de los niveles de macro y micronutrientes esenciales para las Plantas
- Mejora de la retención de los nutrientes	
Biológica	- Mayor asimilabilidad de los micronutrientes (por quelación)
	- Potenciación de la coexistencia de diferentes especies de microorganismos
	- Incremento de la microbiota edáfica beneficiosa (población y actividad)
	- Estimulación de diferentes actividades enzimáticas
	- Efectos supresivos contra nematodos y otros agentes fitopatógenos
- Estimulación del desarrollo vegetal y aumento de la producción y calidad de las cosechas	

Fuente: Abad y Puchades, 2002; Climente y cols., 1996; Ingelmo y Rubio, 2008; Insam y de Bertoldi, 2007

A) *Propiedades físicas*

La compactación del suelo, es un proceso de degradación estrechamente vinculado a las técnicas de manejo y laboreo utilizadas, y a la erosividad de las precipitaciones. La materia orgánica regula la elasticidad de los suelos a través de la amortiguación de cargas y la acción estabilizante de la estructura de éstos (en función de su textura y composición), observándose que la aplicación de enmiendas orgánicas al suelo, disminuye la compactación y la densidad aparente, incrementa la porosidad total, y modifica la distribución del tamaño de los poros, a los que otorga mayor diámetro y longitud, (Erhart y Hartl, 2010; Evanylo y cols., 2008; Ingelmo y Rubio, 2008).

Por otro lado, varios autores observaron un aumento en la estabilidad estructural de los agregados tras la aplicación de compost (Ferrerías y cols., 2006; Insam y de Bertoldi, 2007); la magnitud del efecto, varió en función del tipo de enmienda, la dosis aplicada y el período de muestreo, al estar relacionado con la biodegradación de la materia orgánica, polisacáridos y lípidos, habiéndose señalado que la dosis debe ser suficientemente elevada para mostrar dichos efectos (Abiven y cols., 2008; Albiach y cols., 2001; Ingelmo y Rubio, 2008). Este incremento en la estabilidad estructural ha mostrado, además, una alta variabilidad entre los distintos estudios realizados (Aggelides y Londra, 2000; García-Orenes y cols., 2005).

Adicionalmente, el aporte de compost provoca un aumento en la capacidad de retención de agua útil para las plantas (Insam y de Bertoldi, 2007; Zeytin y Baran, 2003), relacionándose dicho efecto con la mezcla de las partículas del compost con las del suelo, generándose una estructura con un reparto equilibrado de poros de distinto tamaño, que permanece además estable (Ingelmo y cols., 2007; Kay y Angers, 2002), y en base a la mayor porosidad total y tamaño de los poros anteriormente señalada, la capacidad de

retención de agua a potenciales hídricos bajos aumenta, siendo este fenómeno de mayor magnitud en suelos de textura gruesa o media (Ingelmo y Rubio, 2008).

Por último, la aplicación de compost sobre la superficie del suelo, ejerce un efecto de acolchado, que disminuye los efectos de sellado del mismo por el impacto de las gotas de lluvia así como las pérdidas de agua por evaporación directa, incrementándose la velocidad de infiltración y la capacidad de retención y almacenamiento de agua. De igual modo, el efecto de la enmienda orgánica se manifiesta en una disminución del efecto erosivo de las gotas de lluvia, regulando la energía de éstas y evitando la dispersión de partículas (Ingelmo y Rubio, 2008).

#### *B) Propiedades físico-químicas*

El incremento de la capacidad de intercambio catiónico, al aplicar enmiendas orgánicas al suelo, se basa en la interacción humus-arcilla, que da lugar al desarrollo del complejo de intercambio iónico del suelo, controlando éste numerosos procesos edáficos (incluida la regulación de los nutrientes). A partir de la materia orgánica, se forman distintos tipos de complejos, entre los que destacan los metálicos y los de adsorción de compuestos húmicos en la superficie y los espacios interlaminares de las arcillas, siendo estos estables, y su asociación es la base de la retención y la disponibilidad de los nutrientes en el suelo (Ingelmo y Rubio, 2008).

Respecto a la influencia de la aplicación de enmiendas orgánicas en el pH, el efecto de éstas depende del valor original de este parámetro en el suelo (Diacono y Montemurro, 2011). El suelo es un medio cuyo pH varía lentamente, debido a su poder tampón, lo que aporta estabilidad para la actividad microbiana y la disponibilidad de los nutrientes, fuertemente condicionadas por

el pH de la disolución del suelo. De manera general, los composts maduros tienen valores de pH de ligera a fuertemente alcalinos, por lo que en suelos ácidos los composts elevan el pH, mejorando las condiciones para los microorganismos y la disponibilidad de los nutrientes, y, por el contrario, en suelos neutros o básicos no se producen grandes cambios en este parámetro (Erhart y Hartl, 2010; Ingelmo y Rubio, 2008).

El valor agronómico de las enmiendas suele relacionarse con el aporte de materia orgánica para el suelo y de nutrientes para las plantas. En este sentido, distintos autores han señalado un incremento en el contenido en carbono orgánico del suelo tras la adición de enmiendas orgánicas (Cherif y cols., 2009; Montemurro y cols., 2006).

Debido a que los composts son materiales estables, el valor fertilizante de éstos a corto plazo no es muy elevado (Diacono y Montemurro, 2011), por lo que suele ser necesario complementarlos con la aplicación de abonos minerales (Moral y Muro, 2008). Así, la dinámica de mineralización de los nutrientes del compost suele ser muy variable, atribuyéndose la resistencia al ataque microbiano a elevadas concentraciones de lignina y carbono recalcitrante (Vigil y Kissel, 1995), siendo los principales factores que afectan a la mineralización del compost en el suelo, la humedad, temperatura, salinidad, pH, textura, y las propiedades del compost, como son la relación C/N, el grado de humificación y la granulometría (Moral y Muro, 2008).

En el caso del nitrógeno, elemento que se encuentra mayoritariamente en forma orgánica y es de gran importancia desde el punto de vista agrícola y medioambiental (Insam y de Bertoldi, 2007; Ramos y Úbeda, 2009), su lenta liberación presenta ventajas en cuanto a suministro regular y progresivo, evitándose así problemas de contaminación. El nitrógeno orgánico, que no es mineralizado tras su aplicación, queda almacenado en el suelo y es liberado

posteriormente de forma progresiva (Erhart y Hartl, 2010; Ingelmo y Rubio, 2008), siendo muy variable la velocidad de mineralización del mismo (Castro y cols., 2006).

La aplicación de enmiendas orgánicas, incrementa generalmente el contenido en fósforo y potasio asimilables (Erhart y Hartl, 2010; Herencia y cols., 2007). Con relación al fósforo, la aplicación de compost al suelo provoca un incremento en el contenido en formas asimilables, tanto por efecto directo (aumento de los niveles de este elemento) como por el incremento en la disponibilidad del mismo (mediante la formación de fosfo-humatos). El potasio del compost es un elemento disponible para las plantas, por lo que su aporte al suelo puede ser una alternativa muy adecuada en situaciones en las que se hayan producido pérdidas por lixiviación. Por su parte, los niveles de calcio y magnesio, no suelen presentar problemas para cubrir las necesidades de los cultivos en suelos neutros o alcalinos, mientras que en los suelos ácidos su incorporación con el compost puede mejorar notablemente la nutrición cálcica y magnésica de las plantas (Ingelmo y Rubio, 2008).

La disponibilidad de hierro, cobre y zinc es generalmente baja en suelos calizos, por lo que un aporte externo de éstos, como es el caso de las enmiendas orgánicas, incrementa los niveles disponibles de estos micronutrientes. No obstante, la adición de materia orgánica puede aumentar o disminuir su disponibilidad, solubilidad y absorción por las plantas. Los compuestos de baja solubilidad de la materia orgánica forman complejos órgano-metálicos insolubles que dificultan su absorción por la planta, mientras que las formas de carbono solubles aumentan la solubilidad de los metales mediante la formación de complejos de alta solubilidad (Erhart y Hartl, 2010).

C) *Propiedades bioquímicas y microbiológicas*

Las propiedades biológicas del suelo, también se alteran como consecuencia de la adición de compost (Pérez Piqueres y *cols.*, 2006), bien sea por variaciones de los parámetros físico-químicos o químicos del suelo, o debido a la incorporación de los microorganismos nativos del compost (García-Gil y *cols.*, 2000). La actividad microbiológica del suelo desempeña un papel clave en la estabilidad y la fertilidad de éste, observándose interrelaciones entre los ámbitos físico-químicos y biológicos (Vargas y Suárez-Estrella, 2008).

Diversos autores, consideran de gran interés el estudio de las propiedades biológicas y bioquímicas del suelo como indicadores de los efectos de la adición de materia orgánica, ya que estos parámetros poseen mayor sensibilidad, a corto plazo, a los cambios producidos por el manejo de dicho suelo, que los parámetros físicos y químicos (Diacono y Montemurro, 2011; Madejón y *cols.*, 2007; Melero y *cols.*, 2007a, 2007b).

Los estudios realizados, señalan generalmente un incremento de biomasa microbiana tras la aplicación de compost (Pérez de Mora y *cols.*, 2006; Sánchez - Monedero y *cols.*, 2004; Tejada y *cols.*, 2006, 2009), aunque algunos autores registraron disminuciones, o variaciones no significativas, en los valores de este parámetro (Ros y *cols.*, 2006a). Esto último suele relacionarse con la composición del compost empleado, concretamente la presencia de sustancias que afectan negativamente al desarrollo microbiano, tales como metales pesados (Schloter y *cols.*, 2003).

La influencia del compost en los microorganismos, no es sólo de tipo global o general, pues los cambios en los parámetros físico-químicos y químicos del suelo, que provoca la aplicación de compost, van a modificar la distribución de las distintas poblaciones microbianas que colonizan el medio

edáfico (Pérez de Mora y cols., 2006), dependiendo del tipo de compost aplicado (Ros y cols., 2006b). Aunque no siempre puede relacionarse la dosis de compost aportada con la respuesta de las comunidades microbianas, la incorporación frecuente de compost se considera una estrategia adecuada con vistas al desarrollo óptimo de las funciones edáficas (Carpenter-Boggs y cols., 2000). Además, no es necesario un alto grado de diversidad microbiana para que se desarrollen los procesos de transformación propios del suelo, debido a que la diversidad funcional, permite que una misma actividad metabólica pueda llevarse a cabo por un número relativamente amplio de especies (Vargas y Suárez-Estrella, 2008).

Las acciones de biotransformación de los microorganismos se realizan a través de un amplio grupo de enzimas que catalizan sus actividades metabólicas y están estrechamente vinculadas con la disponibilidad de nutrientes y la funcionalidad del suelo. Existe un elevado número de enzimas que se relacionan de forma específica con los procesos de transformación de los elementos nutritivos (destacando el carbono, el nitrógeno y el fósforo), por lo que, la determinación de éstas, debe limitarse a una selección adecuada que proporcione la información necesaria para interpretar las condiciones del suelo. De esta forma, la determinación de las actividades deshidrogenasa e hidrólisis del diacetato de fluoresceína (FDA), proporcionan información genérica sobre la actividad microbiana presente; la acción de las b-glucosidasas permite conocer el estado de transformación de la materia orgánica y la disponibilidad de los sustratos de carbono; ureasas y proteasas muestran la capacidad para hidrolizar compuestos nitrogenados; y, fosfatasas y arilsulfatasas son relevantes en los procesos de mineralización del fósforo orgánico y de producción de sulfato asimilable, respectivamente (Vargas y Suárez-Estrella, 2008).

La adición de compost al suelo ejerce un efecto estimulante sobre la actividad enzimática (Ferrerías y cols., 2006; Tejada y cols., 2009), por lo que incrementa generalmente el valor de las actividades deshidrogenasa y de hidrólisis del diacetato de fluoresceína (FDA) (Debosz y cols., 2002; Marcote y cols., 2001). Del mismo modo, la actividad b-glucosidasa suele estimularse con la aplicación de enmiendas orgánicas, especialmente cuando los niveles de carbono fácilmente biodegradable son elevados (Marcote y cols., 2001), y por su parte, la actividad arilsulfatasa también aumenta tras la aplicación de compost (Albiach y cols., 2000). Por el contrario, las actividades ureasa, proteasa y fosfatasa no muestran una tendencia clara de variación en relación con los aportes de compost (Vargas y Suárez-Estrella, 2008).

#### II.10.2.2. Efectos del compost de alperujo

Debido a que la extracción del aceite de oliva mediante el sistema de centrifugación de dos fases, se ha limitado principalmente a las almazaras españolas (Roig y cols., 2006) y a que la producción de alperujo es relativamente reciente (Alburquerque y cols., 2004), no se han llevado a cabo muchas investigaciones sobre el uso de compost de alperujo en el campo de la producción vegetal.

Cayuela y cols. (2004), indicaron que la adición de composts, elaborados con alperujo y estiércol de oveja en olivar, incrementó el nivel de materia orgánica y el valor de la capacidad de intercambio catiónico del suelo. Alburquerque y cols. (2006b), evaluaron los efectos a corto plazo de un compost de alperujo más residuo del desmotado de algodón, un estiércol de vaca, y un compost de lodos de depuración de aguas residuales urbanas sobre la producción de pimiento, encontrando que los tres materiales proporcionaron una cosecha similar al control, recibiendo todos los tratamientos el mismo programa de fertilización mineral; el contenido en materia orgánica del suelo,

tras el cultivo, disminuyó al aplicar estiércol o el compost de lodos de depuradora, mientras que se mantuvo con el compost de alperujo, demostrándose así la resistencia de éste a la biodegradación.

Asimismo Albuquerque y cols. (2007), observaron en un experimento con raigrás, que la aplicación de compost de alperujo incrementó la producción de biomasa aérea, aunque el rendimiento fue significativamente superior cuando éste se complementó con fertilizantes minerales. Otro estudio con compost de alperujo (Altieri y Esposito, 2010) en suelos cultivados con tomate y lechuga, registró un incremento, a corto plazo, en el contenido de carbono orgánico y carbono extraíble en medio alcalino al final del experimento, y un rendimiento de los cultivos de cuantía similar al control, sin enmienda orgánica, y cuya fertilización fue suministrada mediante fertilizantes minerales.

Otras investigaciones han utilizado compost de alperujo para incrementar la disponibilidad de los nutrientes en formas solubles e intercambiables y su posterior absorción por las especies *Beta maritima* y *Beta vulgaris* en un suelo salino (Walter y Bernal, 2008), y en la biorremediación de suelos contaminados por metales pesados (Albuquerque y cols., 2011; de la Fuente y cols., 2011).

Durante los últimos años, se han publicado varios estudios de compostaje de alperujo con otros residuos orgánicos, habiéndose procedido a caracterizar las propiedades de los composts resultantes. No obstante, continúan siendo escasos e incompletos los trabajos que investigan los efectos del compost de alperujo sobre los suelos agrícolas y las plantas cultivadas, especialmente de consistencia herbácea. Todo ello justifica adecuadamente los objetivos de la presente Tesis Doctoral, que examina y estudia la caracterización y el uso de compost de alperujo, con diferente composición y

características, como mejoradores del suelo, abordando aspectos agronómicos y medioambientales de interés.

### **II.10.3. Aprovechamiento como abonos orgánicos y órgano-minerales**

Con el fin de mitigar el impacto negativo de la producción agrícola sobre el entorno natural, una estrategia esencial de actuación, se basa en reemplazar el uso excesivo de insumos externos, tales como productos fitosanitarios de síntesis y fertilizantes químicos, por un uso racional de los mismos, basado en el estudio científico y reforzado, además, por la utilización de insumos naturales, como la aplicación de composts como abonos orgánicos. Éstos poseen gran valor en Agricultura Ecológica, donde las fuentes de materia orgánica y macroelementos constituyen el factor limitante de la producción (Canet y Albiach, 2008; Hargreaves y cols., 2008).

La utilización de composts como abonos, depende de una serie de factores que condicionan su eficacia a corto y largo plazo, como son su concentración de nutrientes, equilibrio nutritivo, velocidad de mineralización de los componentes orgánicos, etc.

En general, los composts poseen un contenido desequilibrado en nitrógeno y fósforo, lo que añadido a los menores requerimientos de fósforo de los cultivos, induce a pensar que el método idóneo para determinar la dosis de compost a aplicar, se base en las necesidades de fósforo de los cultivos. De este modo, se logra evitar acumulaciones progresivas de este nutriente en el suelo, haciendo inevitable la aplicación de nitrógeno en cobertera en función de las exigencias del cultivo a lo largo del tiempo.

El valor de los residuos orgánicos compostados como abonos, no se limita únicamente a los tres macronutrientes primarios, ya que los elementos

secundarios y los micronutrientes presentes en ellos constituyen otra fuente nutritiva de alto valor agronómico. Además, la fracción orgánica de los composts destaca por sus propiedades quelantes, que favorecen la disponibilidad de los micronutrientes para las plantas (Abad y Puchades, 2002).

En la elaboración de abonos órgano-minerales a partir de composts, debe considerarse el bajo contenido en nutrientes del compost en comparación con los abonos minerales; la oportunidad de preparar “abonos a la carta”, ajustando la concentración de algunos elementos mediante la adición de abonos minerales; y, la mayor biodisponibilidad de los nutrientes aportados en virtud de la aplicación de éstos junto con materia orgánica estabilizada, incrementando así la eficiencia del abono aplicado (Moral y Muro, 2008).

Por último, y con el fin de prevenir el riesgo de toxicidad y contaminación inherente a un aporte excesivo de nutrientes y otros elementos metálicos, debe controlarse la calidad y la dosis de compost aplicada (Felipó, 1995).

#### **II.10.4. Aprovechamiento como sustrato de cultivo**

El volumen creciente de residuos orgánicos producidos por la sociedad actual, unido a la complejidad y el coste de su reciclaje, son los condicionantes que han fomentado la ampliación de los campos de aplicación de dichos residuos. Uno de ellos, de gran importancia por sus beneficios y su potencial de comercialización, corresponde a su inclusión como ingredientes en la formulación de sustratos de cultivo (Abad y cols., 2008; Bustamante y cols., 2008). De este modo, muchos residuos y subproductos de naturaleza orgánica generados por actividades agrarias, industriales, urbanas, etc., convenientemente compostados, están siendo utilizados con éxito, puros o mezclados con turba, fibra de coco, etc., como medios para el cultivo sin suelo (Carmona y Abad, 2008).

La turba, material utilizado ampliamente como componente de sustratos de cultivo por sus excelentes propiedades físicas y químicas, no sólo posee un alto coste, sino que representa además un recurso natural difícilmente renovable, que desempeña un papel fundamental en la fijación del dióxido de carbono atmosférico y en la calidad de las aguas subterráneas (Cunha-Queda y *co/s.*, 2007); además, es un material “conductor” de enfermedades transmitidas por hongos del suelo. Por ello, la sustitución de la turba, total o parcial, como componente de sustratos por materiales orgánicos renovables y con propiedades “supresivas” frente a patógenos vegetales se presenta como una alternativa eficaz (Pane y *co/s.*, 2011; Raviv, 2005; Raviv y *co/s.*, 2002).

Aunque las propiedades físicas de los materiales residuales biodegradables pueden modificarse, especialmente su baja capacidad de retención de agua, mediante afinado por fragmentación y tamizado, los composts se caracterizan por una serie de factores que limitan su uso como sustratos de cultivo puros ya que presentan pH alcalino, elevada salinidad, alta densidad aparente, y posible presencia de materiales inertes, entre otros (Cunha-Queda y *co/s.*, 2007). Por ello, se requiere su adecuación mediante técnicas rápidas y económicas, por ejemplo la mezcla con otros materiales, y para la mezcla, suele utilizarse una proporción de compost que oscila entre el 25% y más del 50% del volumen final de la misma. Otra alternativa consiste, en el compostaje de mezclas de residuos orgánicos previamente seleccionados, obteniéndose así un producto final que puede utilizarse puro como sustrato de cultivo (Abad y Puchades, 2002).

Muchos composts poseen valores de pH entre moderado y fuertemente alcalinos (Fitzpatrick, 2005; Nappi y Barberis, 1993), lo que dificulta la disponibilidad de los nutrientes, ya que el rango óptimo se sitúa entre 5.5 y 6.5 unidades en los sustratos preparados con materiales orgánicos (Peterson, 1981). Por encima de pH 6, aumentan las dificultades para asimilar hierro,

fósforo, manganeso, boro y zinc, haciéndose necesario, corregir el pH del sustrato, si éste se encuentra fuera de los límites del intervalo óptimo, con el fin de que los nutrientes estén en formas solubles para satisfacer las necesidades de la planta (Fisher y Argo, 2005). Existen diferentes estrategias para reducir el pH del compost como son, la mezcla con otros materiales de pH ácido o neutro; adición de ácido nítrico o fosfórico antes del establecimiento del cultivo o durante éste (Mazuela y cols., 2005; Raviv, 2005); y, la adición de enmiendas de azufre y sus derivados (sulfato ferroso, principalmente) (Carrión y cols., 2008; García de la Fuente y cols., 2007; Mahimairaja y cols., 1994, 1995; Roig y cols., 2004).

#### **II.10.5. Empleo para el control biológico frente agentes patógenos**

Un compost supresor se define como aquel que, por su actividad microbiana o su naturaleza química, previene el desarrollo de enfermedades en plantas sensibles a determinados patógenos aún en condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad (Cook y Baker, 1983; Trillas, 2002). Su aplicación puede realizarse en distintas formas bien como enmienda, como sustrato o componente del mismo, o en estado líquido, empleando el extracto acuoso del compost o éste fermentado aeróbica o anaeróbicamente (Koné y cols., 2010; Litterick y cols., 2004).

Las nocivas consecuencias medioambientales provocadas por el uso masivo de fungicidas, como son la destrucción de la biota del agroecosistema, la toxicidad residual, la biomagnificación a través de la cadena trófica, y la resistencia creciente desarrollada por los organismos fitopatógenos, han motivado el interés por el estudio de las propiedades supresivas de los materiales orgánicos compostados y su aplicación en el ámbito del control biológico (Hoitink y cols., 1997, 2005).

El aprovechamiento de los compost suele fundamentarse sólo en sus características y propiedades físicas y químicas, pero se ha demostrado, que los composts poseen también propiedades supresivas, que pueden ser de gran interés en los distintos sistemas agrícolas. Ello representa un uso alternativo para estos materiales orgánicos y una ventaja frente al uso, comúnmente extendido, de la turba como sustrato de cultivo (Aviani *y cols.*, 2010; Hoitink y Boehm, 1999), ya que ésta se caracteriza por sus propiedades conductivas de enfermedades y su rápida infección por una amplia variedad de patógenos vegetales (Borrero *y cols.*, 2005; Maher *y cols.*, 2008; Yogeve *y cols.*, 2006).

Los estudios sobre supresividad de los composts, han abordado principalmente la inhibición de enfermedades de tipo fúngico, pero se han encontrado también efectos inhibitorios de éstos frente a nematodos (Raviv *y cols.*, 2005) y bacterias (Schönfeld *y cols.*, 2003); dichos efectos antagonistas frente a fitopatógenos, presentan una alta variabilidad y son difícilmente predecibles (Pane *y cols.*, 2011), debiéndose fundamentalmente a factores de tipo biológico (Yogeve *y cols.*, 2009, 2010), y están estrechamente relacionados con la recolonización del compost por microorganismos mesófilos durante la fase de maduración de éste (Hoitink *y cols.*, 1997, 2005).

En las técnicas de control biológico se diferencian la supresividad específica o directa y la supresividad general o natural. La supresividad específica es la introducción o inoculación de una especie, o un grupo restringido de microorganismos, que pueden inhibir la actividad de un patógeno, haciendo alusión al efecto antagonista directo de un microorganismo frente a otro (Boulter *y cols.*, 2000; Hoitink *y cols.*, 1997, 2005). Los mecanismos de supresividad general, se refieren a la manipulación del balance de poblaciones microbianas mediante prácticas de cultivo y aplicaciones de productos al suelo, por ejemplo composts (Boulter *y cols.*, 2000; Lucas, 1998).

Diferentes autores (Coventry y *cols.*, 2001; Hoitink y Boehm, 1999; Maher y *cols.*, 2008), han sugerido varios mecanismos de supresividad: competición por nutrientes y espacio con otros microorganismos; hiperparasitismo; antibiosis; inducción de la germinación de los propágulos del patógeno en ausencia de hospedante; adsorción de señales químicas de patógenos; incremento de la nutrición y vigor de la planta; síntesis de compuestos volátiles tóxicos; e, inducción de resistencia sistémica.

Pues bien, la inducción de resistencia sistémica en plantas, consiste en la activación de los sistemas de defensa del hospedador frente a patógenos, en virtud de su interacción previa con otro microorganismo no patógeno, al que se denomina agente de control biológico. Cuando se induce este tipo de resistencia, se produce la expresión de una serie de genes de la planta que codifican para factores de resistencia, tales como callosa y glicoproteínas ricas en hidroxiprolina, relacionadas con la deposición de lignina (Rubio y Fereres, 2005; Vargas y Suárez-Estrella, 2008).

Además, las propiedades físicas, físico-químicas y químicas del compost pueden influir en sus efectos supresivos, ya que éste proporciona el soporte y la fuente de nutrientes para los microorganismos (Thermoshuizen y *cols.*, 2006); así, la humedad, porosidad total, aireación, pH, nivel de nutrientes, y el contenido y componentes de la materia orgánica son algunos de los parámetros que pueden afectar al desarrollo de patógenos y microorganismos antagonistas (Boulter y *cols.*, 2000).

Las investigaciones relacionadas con los efectos supresores de los composts han prestado especial atención a los mecanismos de supresividad, habiéndose llegado a adquirir mayor conocimiento sobre los mecanismos de antagonismo en los sustratos de cultivo a base de compost que en su uso como enmiendas orgánicas (o mejoradores del suelo), debido a que en esta

última aplicación las condiciones son más variables y el control inferior (Litterick y cols., 2004; Noble, 2011; Noble y Coventry, 2005). Algunos microorganismos aislados de composts con actividad antagonista de enfermedades son: *Bacillus spp.*, *Enterobacter spp.*, *Flavobacterium balustinum*, *Pseudomonas spp.*, *Streptomyces spp.*, *Penicillium spp.*, *Trichoderma spp.* y *Gliocladium virens*, entre otros (Hoitink y cols., 2005).

En este contexto, se ha mostrado especial interés por el estudio de los actinomicetos como agentes de control biológico, particularmente los pertenecientes al género *Streptomyces*. El interés por las bacterias de este género radica en su capacidad para producir antibióticos, habiéndose aislado alrededor del 60% de los antibióticos utilizados en agricultura a partir de estreptomicetos (Hwang y cols., 2001).

El aislamiento e identificación de microorganismos que puedan inhibir el desarrollo de agentes fitopatógenos mediante estudios in vitro ha sido objeto de diversos estudios (Loffredo y Senesi, 2009; Suárez-Estrella y cols., 2007), con vistas a la inoculación de éstos en experimentos in vivo y a la preparación de productos de biocontrol a nivel comercial.

#### **II.10.6. Empleo para la recuperación de suelos contaminados**

Se entiende por suelo contaminado todo aquel cuyas características físicas, químicas o biológicas han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes de carácter peligroso de origen humano, en concentración tal, que comporte un riesgo para la salud humana o el medio ambiente, de acuerdo con los criterios y estándares que se determinan por el Gobierno mediante la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos, y sus modificaciones posteriores.

La contaminación de un suelo se produce cuando se aportan materiales exógenos en calidad o en cantidad tal, que no pueden ser asimilados mediante los complejos procesos edáficos de cada tipo de suelo (Gómez-Orea, 2004).

En general, los suelos poseen una elevada capacidad de amortiguación frente a una determinada agresión externa, disminuyendo los efectos de los agentes contaminantes por medio de las propiedades y compuestos propios del suelo, mediante reacciones de oxidación-reducción, procesos de intercambio iónico, fenómenos de adsorción, desorción y complejación, y reacciones de precipitación y disolución, principalmente. No obstante, cuando se supera el umbral de dicha capacidad de recuperación, se produce un problema de contaminación del suelo (García y Lobo, 2008).

En este contexto, la Comisión Europea elaboró el documento “Estrategia Temática para la Protección del Suelo”, Comunicación de la Comisión Europea COM (2006) 231, que establece como objetivo, el desarrollo de una Directiva Marco con la finalidad de establecer unas bases para prevenir la degradación del suelo y la conservación de sus funciones, y poder restaurar así los suelos, para devolverles un nivel de funcionalidad acorde con su uso.

De manera general, los contaminantes que se encuentran en el suelo son metales pesados, compuestos orgánicos y sales en exceso. Por otro lado, las actividades que originan la contaminación pueden ser focos puntuales como una gestión inadecuada, accidentes, etc., o focos difusos entre los que podemos destacar las actividades agrícolas y ganaderas, los medios de transporte, etc. además, debe considerarse que la propia dinámica del suelo facilita la dispersión de los contaminantes a otros sistemas, pudiendo ser éste fuente de contaminación para animales y plantas de consumo humano (García y Lobo, 2008; Gómez-Orea, 2004).

A la hora de seleccionar las técnicas más adecuadas para eliminar o reducir hasta niveles no perjudiciales un determinado contaminante, debe tenerse en cuenta la protección de la salud y el medio ambiente, la legislación sobre la materia, los costes, y la durabilidad de la solución propuesta. Previamente, debe diagnosticarse el tipo de contaminante, la dimensión física de la contaminación, y el futuro uso del lugar contaminado una vez recuperado, lo que permite elegir la alternativa de remediación más apropiada en función de su adecuación a la situación específica y de otros condicionantes de carácter técnico (García y Lobo, 2008).

Los métodos de descontaminación incluyen tratamientos físico-químicos, como pueden ser técnicas térmicas, neutralización, intercambio iónico, lavado, etc., y tratamientos biológicos como biorremediación, fitoextracción, rizofiltración, etc., aunque frecuentemente se utilizan técnicas que combinan ambos procedimientos. Algunos tratamientos se basan en la disminución de la concentración del contaminante, mientras que otros intentan disminuir la concentración de las formas biodisponibles de éstos (Clemente y cols., 2004; García y Lobo, 2008; Iskandar y Adriano, 1997).

Las técnicas físico-químicas provocan una gran agresión sobre el medio edáfico, alterando en gran medida sus características, mientras que las técnicas biológicas no causan generalmente alteraciones en el entorno, si bien la magnitud de la contaminación y el tiempo de descontaminación requerido, no las hacen adecuadas para todos los casos.

Entre los métodos de carácter biológico, se distinguen dos tipos de técnicas, la biorremediación, que utilizan microorganismos capaces de degradar los compuestos orgánicos e inorgánicos contaminantes del medio; y, la fitorremediación, que utilizan plantas, enmiendas del suelo y otras técnicas agronómicas para desarrollar acciones de eliminación o transformación de los

agentes contaminantes (Chaney y cols., 1997; Lombi y cols., 2000; McCutcheon y Schnoor, 2003). Estas últimas, resultan de gran interés debido a su bajo coste, la posible actuación "in situ", su contribución a la estabilización del suelo y la mejora del paisaje, sus bajos requerimientos técnicos, ya que se basan en técnicas agrícolas convencionales, y la reducción de la lixiviación y el transporte de los contaminantes en el medio, aunque el período de recuperación del suelo es más prolongado que con otras técnicas (Carpena y Bernal, 2007; García y Lobo, 2008). Asimismo, pueden destacarse dos tipos de fitorremediación; la fitoestabilización, que utiliza plantas y enmiendas para reducir la biodisponibilidad de los contaminantes en el medio; y la fitoextracción, que usa plantas acumuladoras para la extracción de los contaminantes. Por tanto, las plantas y enmiendas utilizadas extraen y cambian la forma química de los contaminantes en el medio, respectivamente, para disminuir así su disponibilidad biológica o química (Clemente y cols., 2004; García y Lobo, 2008).

La utilización de compost de calidad en fitorremediación, no sólo influye en las propiedades físicas, físico-químicas, químicas y biológicas de los suelos, sino que puede también contribuir a optimizar las tecnologías de remediación de dichos suelos (Alburquerque y cols., 2011; García y Lobo, 2008). Así, la aplicación de compost mejora las propiedades físicas y químicas del suelo, lo que se traduce en un aumento en la actividad de los microorganismos de dicho suelo y en la productividad (biomasa) de las especies vegetales acumuladoras, facilitando la implantación de éstas y el incremento en la producción de biomasa, lo que repercute favorablemente en la absorción de los contaminantes (de la Fuente y cols., 2011; McGrath, 1998).

Por otro lado, la aplicación de enmiendas orgánicas incrementa las actividades enzimáticas de los suelos (Madejón y cols., 2001a, 2001b), su contenido en carbono orgánico y su pH (Geebelen y cols., 2002), y disminuye

la biodisponibilidad de los elementos metálicos (Alburquerque y cols., 2011; Chen y cols., 2000; Walker y cols., 2003). En este sentido, la materia orgánica desempeña un papel muy importante en la disponibilidad de los metales pesados, debido a la mejora de las propiedades químicas del suelo que su presencia provoca y a su capacidad para formar quelatos. Dichos procesos dependen de distintos parámetros, como el pH, pero también de la composición de la materia orgánica, ya que cuando ésta es estable y humificada, disminuye la disponibilidad de los metales pesados, redistribuyéndolos de las fracciones solubles a las formas menos disponibles mediante la formación de complejos estables con las sustancias húmicas (Clemente y Bernal, 2006; Clemente y cols., 2006).

#### **II.10.7. Empleo como fuente de materia orgánica soluble**

El estudio de las sustancias húmicas se remonta al año 1786, cuando F.K. Achard utilizó una disolución alcalina, para extraer de una turba un material que en la actualidad denominamos sustancias húmicas. A Saussure, en 1804, se le atribuye la introducción del término “humus” para referirse a la materia orgánica de color oscuro del suelo.

Las sustancias húmicas son el material orgánico que predomina en la Naturaleza (Nardi y cols., 2002; Trevisan y cols., 2010), y se han definido como sustancias orgánicas naturales, biogénicas y heterogéneas, constituidas por un conjunto de moléculas altamente polimerizadas, de peso molecular relativamente alto, y con un color de amarillo a negro (Aiken y cols., 1985). Dicho concepto corresponde más a una descripción de las características y propiedades de las mismas que a una definición en sentido estricto, lo que alude a la baja especificidad que prevalece en el estudio de las sustancias húmicas (Chen y Aviad, 1990). Se considera además, que son sustancias amorfas y con propiedades coloidales muy marcadas, que están constituidas

principalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno; también contienen estructuras moleculares alifáticas y aromáticas, y muestran una elevada capacidad de intercambio catiónico así como gran cantidad de grupos carboxílicos y fenólicos (Kulikova y *cols.*, 2005; Trevisan y *cols.*, 2010).

A la mezcla de compuestos orgánicos extraíbles del suelo, y de los materiales orgánicos más o menos humificados, se denomina sustancias húmicas solubles, y pueden clasificarse en ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas, en función de su solubilidad. Los ácidos húmicos y fúlvicos son solubles en medio alcalino; los primeros precipitan en medio ácido, mientras que la fracción fúlvica permanece en disolución después de acidificar el extracto alcalino; por su parte, las huminas no son extraíbles con disoluciones alcalinas, aunque se considera que poseen una estructura similar a los ácidos húmicos, diferenciándose de éstos en su menor aromaticidad (Hatcher y *cols.*, 1985).

La importancia de las sustancias húmicas de los residuos orgánicos radica en que, para obtener efectos beneficiosos en su aplicación agrícola, éstos deben transformarse en un material estable y maduro mediante tratamientos, como es el caso del compostaje, en los que están involucrados los procesos de humificación (Senesi y *cols.*, 1996). Así, la cantidad y calidad de las sustancias húmicas contenidas en el compost, son indicadores del éxito de su aplicación agrícola y garantizan un uso medioambientalmente seguro (Senesi y *cols.*, 2007).

Actualmente, el uso de productos líquidos concentrados a base de sustancias húmicas en agricultura, es una aplicación de gran interés, ya que los efectos beneficiosos del humus del suelo suelen estar relacionados con la presencia de ácidos húmicos y fúlvicos (Verlinden y *cols.*, 2010), relacionándose la influencia de las sustancias húmicas en los cultivos, con

efectos fisiológicos, bioquímicos y morfológicos. La adición de sustancias húmicas al medio de cultivo incrementa la absorción de nutrientes y la permeabilidad de las paredes celulares, y regula los mecanismos relacionados con el estímulo del crecimiento vegetal; asimismo, los efectos derivados de ellas, generan una mejora en la fertilidad del suelo, que se manifiesta en un incremento en la disponibilidad de los nutrientes para las plantas (Trevisan y cols., 2010; Verlinden y cols., 2010).

En este contexto, distintos autores han extraído las sustancias húmicas de composts de diferentes orígenes y características para evaluar el efecto de los extractos húmicos líquidos obtenidos sobre el crecimiento y desarrollo de especies de interés agrícola, obteniendo resultados que diferían en función de la especie cultivada, el origen del compost empleado, la dosis de aplicación de los materiales húmicos y la metodología de extracción utilizada (Arancon y cols., 2003, 2006; Atiyeh y cols., 2002; Caravaca y cols., 2006; Cardoso y cols., 2006; Eyheraguibel y cols., 2008; Kohler y cols., 2008; Lulakis y Petsas, 1995; Valdrighi y cols., 1996).

#### **II.10.8. Otras posibles aplicaciones**

Además de los aprovechamientos hasta aquí indicados, el estudio del compostaje como sistema de gestión y tratamiento de los residuos orgánicos ha suscitado el interés por el uso de los composts producidos en otros campos de aplicación.

En primer lugar, debe señalarse su importancia en el marco de la Agricultura Ecológica, siendo su uso fundamentalmente como enmienda o abono orgánico, como extracto acuoso, o como sustrato de cultivo en horticultura. Este uso particular, se caracteriza por los estrictos criterios de calidad que deben cumplir los residuos de partida, así como por los pequeños

volúmenes que suelen compostarse, la adición de sustancias minerales y extractos biológicamente activos a la mezcla a compostar, y el uso de metodologías tradicionales para el desarrollo del proceso (Canet y Albiach, 2008).

Diferentes grupos de investigación han desarrollado líneas de trabajo orientadas a la obtención de productos de alto valor añadido a partir de compost. Éstas han dirigido su atención hacia la recuperación de enzimas mediante extracción, separación y purificación en el contexto de la proteómica ambiental (Nannipieri, 2006), y hacia la desmetalización o extracción de los elementos tóxicos, de alto interés en la descontaminación de suelos, entre otros usos (González y cols., 2008).

La necesidad de incorporar de forma permanente elementos naturales en el entorno urbano, ha motivado la incorporación de cubiertas vegetales en los núcleos urbanos, empleando composts como sustratos de cultivo para las especies vegetales en fachadas, cubiertas y edificios, principalmente (Briz, 2004).

Otras aplicaciones de interés, contemplan el tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales, su uso como acolchado para mantener la humedad del suelo, su aplicación en la producción de tepes y manejo de céspedes de campos deportivos y jardines, así como en la recuperación de áreas degradadas (carreteras, canteras y vertederos) y en paisajismo, como soporte para la implantación de cubiertas vegetales (Barker, 2005; Faucette y cols., 2006; Rynk y Richard, 2005; Sastre-Conde y cols., 2006; Sullivan y Miller, 2005).



## II.11. EL ACEITE DE OLIVA

El aceite de oliva ha sido uno de los pilares básicos de la alimentación en las costas de Siria y Palestina, Grecia, Italia, Dalmacia, África del Norte y la península Ibérica. El carácter sagrado que llegó a alcanzar, se debió, no solo a su exquisitez como alimento, sino a sus múltiples utilidades.

La primicia de la cosecha de aceituna donde se obtenía el mejor aceite, se reservaba para las ofrendas a los dioses, para las unciones sagradas y para los tratamientos de la medicina. Posteriormente, el cristianismo asumió al aceite de oliva, el trigo el pescado, el vino y la sal, como alimentos esenciales para la supervivencia y como símbolos religiosos (March y cols., 1998).

El florecimiento y expansión del cultivo del olivo en España, parece deberse a la influencia de la civilización árabe, que utilizó el aceite de oliva como la grasa alimenticia por excelencia, de ahí que su consumo forma parte, de nuestro acervo gastronómico, sin olvidar que es la base económica fundamental de nuestras comarcas españolas.

Durante décadas del siglo XX, el valor nutricional del aceite de oliva fue seriamente cuestionado, hasta el punto de que los expertos en nutrición desaconsejaron su consumo a favor de otros aceites vegetales como el girasol y maíz. Sin embargo, estudios realizados demostraron que la tasa de muerte por enfermedades cardiovasculares en los países mediterráneos era inferior a la observada en otros países occidentales (Entrala, 1998). El motivo de estas diferencias parecía radicar en el tipo de alimentación mantenida por esas poblaciones, especialmente en lo referido a la calidad de la grasa consumida (Aparicio y cols., 2003).

Por tal motivo, empezó a hablarse de la “Dieta Mediterránea”, que se caracteriza por un alto consumo de cereales, verduras, legumbres y fruta, poca carne y mucho pescado y con el aceite de oliva como grasa culinaria principal (Mata y cols., 1993). Desde entonces, numerosos trabajos han puesto de manifiesto las virtudes cardiosaludables de dicha dieta mediterránea, de tal forma que el reconocimiento del valor nutricional del aceite de oliva, ha discurrido de forma paralela al estudio y conocimiento de las cualidades de este tipo de alimentación, tanto por el tipo de grasa mayoritaria en su composición, como por su contenido en sustancias antioxidantes.

El aceite de oliva está constituido mayoritariamente por un tipo de lípidos denominados triglicéridos, los cuales suponen el 98% del total del mismo; el 2% restante, es una mezcla muy compleja de compuestos orgánicos que pese a ser componentes minoritarios no son menos importantes, ya que de su presencia dependen las características organolépticas del aceite y en ellos residen algunas de las propiedades nutricionales que diferencian al Aceite de Oliva Virgen de otros aceites y grasas pues desaparecen al someter al aceite a procesos de refinación. En la Tabla II.8 se detallan los componentes más característicos del aceite de oliva.

El aceite de oliva se caracteriza por una fracción saponificable, una fracción insaponificable, componentes polares y componentes volátiles. La mayoría de los lípidos que forman el aceite son lípidos saponificables (entre un 98-99%), representando un 0.5-1.5% los no saponificables.

**Tabla II.8.** Componentes del aceite de oliva desde el punto de vista analítico

Fracción	Componentes más característicos
Fracción saponificable (98-99%)	Triacilgliceroles (90-99%)
	Ácidos grasos libres (0.1- 4%)
	Diacilgliceroles (4%)
	Monoacilgliceroles (1%)
	Fosfátidos
	Ceras
	Ésteres de esteroides
Fracción insaponificable (0.5- 1.5%)	Ácidos triterpénicos
	Hidrocarburos
	Alcoholes lineales y triterpénicos
	Esteroides
	Tocoferoles
Componentes polares	Pigmentos clorofílicos y carotenoides
	Compuestos fenólicos
Componentes volátiles	Compuestos aromáticos: alcoholes, cetonas, éteres, terpenos, derivados furánicos,...

Dentro de la fracción saponificable, se encuentran los ácidos grasos. Son sustancias constituidas por una larga cadena hidrocarbonada (formada sólo por átomos de carbono e hidrógeno) que poseen en un extremo un grupo carboxílico (COOH). Los ácidos grasos pueden ser saturados (cuando no poseen dobles enlaces carbono-carbono) o insaturados (cuando poseen uno o varios dobles enlaces), y el número de átomos de carbono de los ácidos grasos, varía, en el aceite de oliva, entre 16 y 24, encontrándose el número de dobles enlaces entre 0 y 3.

Estos compuestos pueden encontrarse como tales en el aceite de oliva,

denominándose ácidos grasos libres y son los principales responsables del índice de acidez de los aceites. De forma natural están presentes en el aceite de oliva en valores muy bajos y tienen su origen en los procesos degradativos de tipo hidrolítico que afectan a los triacilglicéridos constituyentes del aceite.

Los principales ácidos grasos del aceite de oliva se recogen en la Tabla II.9. El mayor porcentaje de los ácidos grasos están constituidos por 18 átomos de carbono, predominando el ácido oleico, como ácido graso monoinsaturado, sobre los poliinsaturados (linoleico y linolénico), y frente a los saturados.

**Tabla II.9.** Composición en ácidos grasos del aceite de oliva según Norma Codex Alimentarias 1993 (en % m/m de ésteres metílicos)

	Ácidos grasos	Símbolo	Porcentaje
	Ác. Oleico	C18:1	55-83
	Ác. Palmítico	C16:0	7.5-20
	Ác. Linoleico	C18:2	3.5-21
Mayoritarios	Ác. Esteárico	C18:0	0.5-5
	Ác. Palmitoleico	C16:1	0.3-3.5
	Ác. Linolénico	C18:3	0-1.5
	Ác. Mirístico	C14:0	0-0.1
	Ác. Aráquico	C20:0	0-0.8
	Ác. Behénico	C22:0	0-0.2
Minoritarios	Ác. Lignocérico	C24:0	0-0.2
	Ác. Eicosenoico	C20:1	—
	Ác. Margárico	C17:0	0-0.5
	Ác. Margaroleico	C17:1	0-0.6

La composición en ácidos grasos del aceite de oliva le confiere una serie de propiedades particulares. Desde el punto de vista químico, los aceites con mayor contenido en ácido oleico, se caracterizan por una mayor estabilidad frente a la autooxidación (Jiménez y Uceda, 1995). Parte de su elevado valor nutricional reside en la baja proporción de ácidos grasos saturados, el

predominio del ácido oleico y la presencia de una cantidad no elevada pero sí nutricionalmente proporcionada, de ácidos grasos poliinsaturados, entre los que destaca el ácido linolénico como ácido graso esencial, presentando actividad en la prevención de la arterioesclerosis (Parthasarathy y *cols.*, 1990; Martínez de Victoria y Mañas, 2004).

La composición de ácidos grasos del aceite de oliva está influenciada por diversos factores como: la variedad, el grado de madurez de las aceitunas, etc.; además, la proporción entre los ácidos grasos varía según las campañas y la zona de producción, la latitud, el clima, (Uceda y Frías, 1975; Cimato, 1991; Aguilera y *cols.*, 2005). En general, durante la maduración del fruto se observa una evolución de la biosíntesis de lípidos hacia formas más insaturadas. Así, el aumento con la maduración del ácido linoleico y la estabilidad del ácido oleico origina un descenso de la relación entre ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados (Beltrán y *cols.*, 2004b).

Dentro de los glicéridos destacan los triacilgliceroles o triglicéridos que representan el 90-99%; los monoglicéridos y diglicéridos, aunque se encuentran de forma natural en pequeña cantidad en el aceite, pueden ser el resultado de la hidrólisis parcial de los triglicéridos debido a la alteración del aceite. Los diglicéridos se encuentran en una proporción de 1-2.8% (Mariani y Fedeli, 1985; Frega y *cols.*, 1993) mientras que los monoglicéridos no llegan a alcanzar el 0.25% (Kiosseoglou y *cols.*, 1993; Paganuzzi, 1987).

Las ceras, son los ésteres de los alcoholes alifáticos, por lo que se trata de compuestos de alto peso molecular, generalmente con un número par de átomos de carbono (de 36 a 46). Normalmente, son componentes del aceite que se encuentran en muy baja proporción y la técnica de elaboración del aceite puede originar un incremento de éstas.

Los fosfolípidos contienen en su estructura un ácido graso y un grupo fosfórico en forma de mono o diéster, y se encuentran en proporciones de 40-150 mg kg<sup>-1</sup>, disminuyendo su cantidad a medida que envejece el aceite.

Dentro de la fracción saponificable, se encuentran los esteroides esterificados con ácidos grasos, constituyendo un 10-15% del total de esteroides (Vázquez Roncero, 1964), siendo los ácidos triterpénicos más conocidos presentes en el aceite de oliva, el ácido oleanólico, el ácido betulínico y el ácido maslínico (Boskou, 1996).

La fracción insaponificable, se caracteriza por no reaccionar con la sosa o potasa para dar jabones, y después de la saponificación continúan siendo solubles en los disolventes clásicos de las grasas (hexano, éter, etc.). Esta fracción, está constituida por gran número de componentes menores, responsables de buena parte de las características nutricionales del aceite de oliva y de gran utilidad en la identificación de los diferentes aceites vegetales.

Los hidrocarburos constituyen entre 25-45% del insaponificable del aceite de oliva, estando formados por una fracción de hidrocarburos saturados (mezcla de n-parafinas) y el resto, por hidrocarburos insaturados entre los que destaca el escualeno, que se encuentra en mayor proporción en el aceite de oliva, estando presente entre 300 y 700 mg/100g (Vázquez Roncero, 1963).

Los alcoholes alifáticos, se encuentran esterificados con los ácidos grasos constituyendo las ceras, generalmente de cadena lineal, saturada y con un número par de átomos de carbono (entre 8 y 30) (Paganuzzi, 1980 a; Paganuzzi, 1980 b; Tachino y cols., 1983).

Dentro de los alcoholes triterpénicos, compuestos de 30 átomos de carbono con una estructura similar a los esteroides, se pueden distinguir dos

tipos: los monohidroxicóholes (cicloartenol,  $\beta$ -amirina, butyrospermol, 24-metilencicloartanol, etc.) y los dihidroxicóholes (eritrodíol y uvaol) (Paganuzzi, 1980 c; Kiosseoglou y cols., 1987).

Los esteróles se presentan libres o bien esterificados con ácidos grasos (ésteres de esteróles). Su determinación se utiliza para comprobar la autenticidad de los aceites, siendo los componentes principales de los esteróles el  $\beta$ -sitosterol (75-90%), el campesterol (2-3 %) y el estigmasterol (1-2 %), produciéndose un descenso en el contenido de los mismo al avanzar la maduración del fruto (Gutierrez y cols., 1999).

Los tocoferoles son compuestos con demostrada capacidad antioxidante que, además de los beneficios nutricionales que proporcionan, contribuyen a incrementar la estabilidad del aceite de oliva frente al enranciamiento.

El más importante y activo biológicamente es el  $\alpha$ -tocoferol, por su acción como vitamina E, representando del 90 al 95% de los tocoferoles totales. También están presentes el  $\beta$ -tocoferol y el  $\gamma$ -tocoferol, y en pequeñas cantidades el  $\delta$ -tocoferol, los cuales, con respecto a la actividad antioxidante, son más activos que el  $\alpha$ -tocoferol (Valenzuela y Nieto, 1996). El contenido de tocoferoles en el aceite de oliva es muy variable y depende de la variedad, origen, estado de maduración y tipo de conservación (Montedoro y Garafolo, 1984; Maestro y Borja, 1990) y en general, los tocoferoles sufren un descenso conforme avanza el proceso de maduración del fruto (Beltrán y cols., 2004a).

Otros compuestos presentes en el aceite de oliva son los pigmentos carotenoides, que actúan en la coloración del aceite, siendo los más importantes la luteína y el  $\beta$ -caroteno (Mínguez y cols., 1990); destacando este por ser precursor de la vitamina A. Los carotenos son muy oxidantes por tener gran cantidad de dobles enlaces, por lo que son agentes protectores del aceite

frente al enranciamiento, pues reaccionan con el oxígeno privándolo de su reactividad en los procesos de oxidación. Los pigmentos clorofílicos son los responsables del color verde del Aceite de Oliva Virgen y además representan un papel importante en la conservación del aceite; en la oscuridad tienen acción antioxidante de los compuestos fenólicos, y en cambio en presencia de luz, actúan como prooxidantes; su contenido desciende con la maduración del fruto, siendo más rápido para los pigmentos clorofílicos (Beltrán, 2000).

Los compuestos fenólicos tienen gran importancia en lo referente a las características organolépticas y a la estabilidad del aceite frente a procesos oxidativos. Se encuentran presentes en los aceites, pero se pierden en el proceso de refinado, por lo que el Aceite de Oliva Virgen es el único que contiene sustancias fenólicas de forma natural en cantidad notable (Vázquez-Roncero y cols., 1973). Su contenido en el aceite es variable y depende de la variedad, grado de maduración, técnica de elaboración y manejo de la aceituna (Solinas, 1987; Hermoso y cols., 1998), oscilando su presencia entre 50 y 800 mg kg<sup>-1</sup> (Uceda y cols., 2004).

Maestro y Borja (1990) indican una correlación directa entre el índice de polifenoles y la estabilidad. En cuanto al tirosol, aunque es antioxidante de menor importancia, tiene la peculiaridad de ser exclusivo del aceite de oliva, y procede de la degradación de los polifenoles de la semilla. La mayor parte de los compuestos fenólicos no están en los frutos como tales, sino como glucósidos, que por hidrólisis originan los ácidos o las agluconas que se disuelven en el aceite (Maestro y Borja, 1990) y están muy relacionados con las características sensoriales, al ser responsables, parte de éstos, del amargor de los aceites de oliva virgen (Uceda y cols., 2004).

En el contenido de polifenoles la influencia varietal es menor, es muy variable dependiendo de las campañas, nivel de cosecha, grado de maduración

de la aceituna, altitud (Uceda *y cols.*, 1989; Cimato *y cols.*, 1990b; Inglese, 1994).

Por otra parte, Beltrán *y cols.* (1995) observaron que el contenido de polifenoles en los aceites procedentes de regadío, presentan un valor menor respecto a los de secano. Durante la maduración, tiene lugar un descenso del contenido total de los compuestos fenólicos, aunque en ocasiones se observe un ligero incremento como consecuencia de la pérdida de humedad del fruto, en otoño, por las condiciones medioambientales. Así mismo, el incremento de estos compuestos era en detrimento de los compuestos con estructura secoiridoide y glucosidada como consecuencia de los cambios químicos y la actividad enzimática durante la maduración del fruto (Beltrán *y cols.*, 2004b).

Otros compuestos fenólicos descritos en el aceite son los de carácter flavonoide. Vázquez *y cols.* (1976) establecieron la presencia de compuestos flavonoides en el aceite de oliva y Rovellini *y cols.* (1997) caracterizaron tres flavonas: luteolina, apigenina y metoxiluteolina, sin establecer niveles de estos compuestos.

La estabilidad oxidativa, es un parámetro que está muy influenciado por la variedad (Uceda *y cols.*, 1989) y el grado de maduración de la aceituna (García *y cols.*, 1996). La resistencia a la oxidación de un aceite, depende de las características propias del mismo, principalmente la composición en ácidos grasos, la relación monoinsaturados/poliinsaturados, el contenido en antioxidantes naturales (polifenoles, tocoferoles, etc.), trazas metálicas; y depende del proceso de elaboración y de las condiciones de conservación (temperatura, luz, acceso al oxígeno, calidad y tamaño de los recipientes, etc.).

Existe una elevada correlación entre la estabilidad y el contenido de polifenoles totales (Vázquez *y cols.*, 1976; Maestro y Borja, 1990; Jiménez y

Uceda, 1995); también hay una elevada correlación entre la estabilidad y la relación monoinsaturados/poliinsaturados (Jiménez y Uceda, 1995).

En el Aceite de Oliva Virgen, existen más de cien compuestos, identificados por diversos investigadores, que se caracterizan por ser volátiles a bajas temperaturas, gran parte de los cuales tienen una participación directa en el aroma y el sabor del aceite. Hasta el momento se han identificado: hidrocarburos, alcoholes, aldehídos, ésteres, derivados furánicos y tiofenos, desapareciendo en las etapas de desodorización durante el refinado (Boskou, 1996).

## II.12. COMPOSICIÓN MINERAL DE LA HOJA DE OLIVO

En 1939 Arnon y Stout propusieron los criterios de esencialidad de los elementos minerales, estableciendo uno de los principios en los que se fundamenta la nutrición vegetal. Shear y *co/s.* (1946) introdujeron el principio de equilibrio entre nutrientes, según el cual un exceso o un defecto de un elemento que provoque un desequilibrio entre nutrientes puede dar lugar a una interferencia en la utilización y disponibilidad de otros.

Así, los criterios de esencialidad de un elemento se definen como:

- la planta necesita los nutrientes minerales para completar su ciclo vital
- ningún elemento puede ser reemplazado por otro con propiedades similares
- debe participar directamente en el metabolismo de la planta y su beneficio no debe estar relacionado solamente al hecho de mejorar las características del suelo, o algún efecto similar.

Todas las plantas necesitan dieciséis elementos para completar su ciclo vital: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), calcio (Ca), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), cinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo), boro (B) y cloro (Cl). De todos ellos, la fertilización debe aportar sólo trece, pues carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) se fijan mediante la fotosíntesis y constituyen el 95% del peso seco del árbol; el 5% restante, es la denominada fracción mineral y los elementos que la conforman se dividen a su vez en macro y micronutrientes. Los macronutrientes son el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), calcio (Ca) y azufre (S), el resto son micronutrientes. La diferencia entre ambos grupos radica en que los primeros son requeridos por la plantas a concentraciones de 10 a 5000 veces más elevadas que los segundos.

Todo ello, hace necesario encontrar una técnica que permita establecer las necesidades nutritivas de una plantación y, a partir de estas, aplicar solamente aquellos elementos que sean precisos en un momento determinado. Con ello, no solo se logrará disminuir el impacto ambiental y minimizar la dependencia en la aplicación de productos químicos, aplicando solamente lo necesario, sino que también se mantendrá el equilibrio necesario entre los elementos esenciales en la nutrición del olivo, con lo que se conseguirá maximizar los rendimientos.

Los síntomas que manifiesta un árbol cuando padece algún tipo de deficiencia o desequilibrio, pueden ser advertidos e identificados por una persona experta, pero hay que tener en cuenta que no siempre se puede encontrar una sintomatología en el árbol como respuesta a un estado de exceso o defecto de un determinado elemento, por lo que la ausencia de síntomas no asegura una correcta nutrición.

Por otra parte, en una plantación se pueden encontrar diversos factores que actúen simultáneamente o por separado, enfermedades, plagas, encharcamientos, daños climáticos, excesos de herbicidas o plaguicidas, etc., que pueden provocar daños similares a los de una deficiencia nutricional. De aquí, que la observación directa del olivo resulta claramente insuficiente para determinar las necesidades nutritivas del olivar.

Los elementos esenciales minerales son extraídos del suelo por las raíces, por tanto, determinar las características de este y su contenido en estos elementos mediante el análisis de suelo, serviría para conocer las disponibilidades del mismo para nutrir la plantación. Dadas las limitaciones que ofrecen el análisis de suelo y la observación de síntomas, el mejor método para diagnosticar el estado nutritivo de una plantación es el análisis foliar, es decir, el análisis químico de una muestra de hojas de los árboles.

La hoja es el principal lugar de metabolismo de las plantas, por ello los cambios en la aportación de nutrientes se reflejan en su composición química. Estos cambios son más acentuados en determinados estados de desarrollo y crecimiento, estando relacionados con el comportamiento del cultivo (Bould, 1966).

El análisis foliar es muy útil para detectar niveles bajos de nutrientes antes de que aparezcan deficiencias, identificar desordenes nutritivos y toxicidades causadas por elementos como sodio, cloro y boro, y también para medir respuestas a programas de fertilización, por lo que se convierte en el mejor método para determinar el estado nutritivo de la plantación y por tanto, optimizar el abonado.

Así, resulta excelente para detectar deficiencias de Mg, Mn, P y K; excesos de Na y B; es bueno detectando deficiencias de B y N; regular en identificar deficiencias de Cu, Zn y Ca; y es malo para el Fe (Fernández-Escobar, 2008).

De este modo, ha sido posible establecer unos niveles críticos para cada elemento, de manera que cuando la concentración en hoja de éste sea inferior al nivel crítico se produce una reducción del crecimiento vegetativo y reproductivo del árbol y por consiguiente, de la producción y dado que la concentración adecuada para cada elemento, se encuentra definida por encima de su nivel crítico, es aconsejable mantenerla mediante la aplicación de una fertilización racional (Fernández-Escobar, 2008).

En una correcta utilización del análisis foliar, es muy importante tener en cuenta que los niveles de nutrientes en hoja, no son constantes a lo largo del ciclo anual, pues varían dependiendo del estado fenológico del árbol. Así, elementos como el Ca aumenta conforme la hoja del año va creciendo y otros

elementos, como Mg y Mn, se mantienen más o menos constantes (Fernández-Escobar, 2008).

El punto crítico de esta metodología es la toma de muestras, y se debe tener en cuenta la evolución en el contenido de nutrientes en las hojas, pues tal y como ocurre en otros cultivos leñosos (Brown, 1994; Weinbaum y cols., 1994; Moreno y García-Martínez, 1984), el olivo también sufre variaciones a lo largo de su ciclo fenológico (Fernández-Escobar y cols., 1999).

Del mismo modo, influyen la proximidad de los frutos y la edad de la hoja, por ello, teniendo en cuenta lo anterior, se ha llegado a sistematizar el muestreo de la siguiente forma: en primer lugar se diferenciarán parcelas homogéneas dentro de cada olivar, que se muestrearán por separado. Cada muestra deberá contener al menos 100 hojas de varios árboles de toda la parcela. Finalmente, las hojas, que deberán tener su peciolo, se tomarán en el mes de julio de la parte central a basal de brotes del año situados a la altura del operador. Los niveles críticos de nutrientes recogidos en la Tabla II.10 están referidos a este tipo de hoja en este periodo.

**Tabla II.10** Niveles críticos de nutrientes en hojas de olivo recogidas en julio

Elemento	Deficiente	Adecuado	Tóxico
Nitrógeno, N (%)	1.4	1.5-2.0	-
Fósforo, P (%)	0.05	0.1-0.3	-
Potasio, K (%)	0.4	>0.8	-
Calcio, Ca (%)	0.3	>1	-
Magnesio, Mg (%)	0.08	>0.1	-
Manganeso, Mn (ppm)	-	>20	-
Cinc, Zn (ppm)	-	>10	-
Cobre, Cu (ppm)	-	>4	-
Boro, B (ppm)	14	19-150	185
Sodio, Na (%)	-	-	>0.2
Cloro, Cl (%)	-	-	>0.5

Fuente: Fernández-Escobar (2008)

A pesar de ser el análisis foliar el más preciso de los métodos, un buen diagnóstico del estado nutritivo actual del olivar que permita establecer racionalmente un plan de abonado, deberá combinar éste con el conocimiento de las características del suelo y el aspecto visual de los árboles.

Tal y como queda expuesto en Parra y cols. (2003), el diagnóstico del estado nutritivo mediante los análisis foliares servirá para establecer el plan de fertilización de la campaña siguiente. Éste deberá basarse en la adición del elemento que se encuentre por debajo del nivel adecuado, siempre y cuando, esto no sea debido a que otro se encuentre en exceso o sea deficiente. Si fueran varios los elementos deficientes, en la mayoría de los casos bastaría añadir el más deficiente de todos, aunque ésta no sea una regla general.

El establecimiento en el olivar del análisis foliar, como método de diagnóstico del estado nutritivo, y la evaluación de las respuestas del abonado programado a partir de sus resultados, permitirá la optimización de la práctica de la fertilización, evitando excesos y corrigiendo deficiencias.

En otros cultivos, se está desarrollando últimamente un sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS) (Sumner, 1982), mediante el cual se realiza el diagnóstico del estado nutritivo de la plantación a través del análisis foliar, y basándose en relaciones de equilibrio e interacciones entre nutrientes, además de considerar parámetros medioambientales, composición del suelo y prácticas culturales, establecer cuál sería el programa de fertilización más racional, siempre aportando los nutrientes en el orden más apropiado para evitar interacciones entre elementos.

### **III. OBJETIVOS**



Los subproductos de almazara, generados en la extracción del Aceite de Oliva Virgen por los sistemas continuos de dos fases, se producen en cantidades importantes en un intervalo de tiempo relativamente corto, y son considerados como potencialmente contaminantes; pero en la búsqueda de alternativas de reutilización o reciclaje de estos subproductos, se les han encontrado diferentes aplicaciones. Entre las que destaca su aprovechamiento para el compostaje, técnica de tratamiento de residuos orgánicos, sencilla y económica, y que vislumbran una alternativa muy interesante para la obtención de productos con alto poder fertilizante y como enmienda orgánica en la agricultura sostenible destacando el sector del olivar, fruticultura y horticultura, entre otros.

Con la caracterización físico-química de los compost elaborados a partir del alperujo, subproducto mayoritario en la industria del Aceite de Oliva Virgen, se ha podido constatar que se trata de un producto con potencial fertilizante para ser utilizados en el olivar. Además de ser un material con un valor añadido por sus importantes contenidos en nutrientes, sin olvidar que es una fuente de materia orgánica, lo que le confiere la propiedad de ser útil como enmienda en los suelos agrícolas, permitiendo una reducción potencial de la necesidad de insumos fertilizantes como nitrógeno, fósforo y potasio, y la mejora de las propiedades del suelo. Esta estrategia, podría ser de especial interés para el mantenimiento del ecosistema del olivar, pues se caracteriza por presentar bajos contenidos en materia orgánica limitando su capacidad de trabajo, fertilidad a largo plazo y la productividad, pues con el empleo del alperujo compostado tiene lugar un retorno de la materia orgánica y de nutrientes al suelo, lo que ayudaría a paliar los problemas anteriormente descritos, y evitar los problemas asociados con la erosión, tan característico de suelos faltos de estructura por los bajos contenidos en materia orgánica y favorecida por las prácticas culturales asociadas a este cultivo.

A tenor de lo expuesto anteriormente, en la presente Tesis Doctoral se establece como objetivo general:

- La revalorización y el aprovechamiento del alperujo como enmienda orgánica al suelo del olivar mediante la elaboración de tres enmiendas orgánicas:
  - compost de alperujo I (alperujo fresco-estiércol de oveja-restos de poda).
  - compost de alperujo II (alperujo fresco-hoja de limpia-urea).
  - alperujo fresco sin compostar.

La aplicación se realizará durante cinco años a las parcelas de olivar seleccionadas en la finca experimental del IFAPA Centro Venta del Llano en Mengíbar (Jaén) para llevar a cabo el presente trabajo de investigación.

Para ello, se plantearán los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar la viabilidad el proceso de compostaje de alperujo.
- Definir y clasificar el compost de alperujo y el alperujo fresco como enmiendas orgánicas.
- Analizar la influencia de la aplicación del alperujo fresco y el compost de alperujo en el olivar en el efecto sobre:
  - Estado nutricional del árbol
  - Composición físico-química del suelo
  - Características físico-químicas del fruto
  - Calidad y composición nutricional del Aceite de Oliva Virgen

Los resultados y conclusiones obtenidas, permitirán establecer las condiciones más adecuadas para el uso agrícola del alperujo fresco y compost de alperujo como alternativa y/o complemento a la fertilización inorgánica y como enmendante orgánico para minimizar su impacto ambiental, considerándolo como una alternativa adecuada de gestión de los subproductos de la industria agroalimentaria de elaboración de Aceite de Oliva Virgen.



## **IV. MATERIAL Y MÉTODOS**



## IV.1. MATERIAL

A continuación se detalla el material que se ha utilizado para el desarrollo de esta Tesis Doctoral, los equipos utilizados y los reactivos químicos empleados en las determinaciones.

### IV.1.1. Equipos

- Sonda de temperatura Thermometer Crison 637
- Estufa de aire forzado
- Molinillo eléctrico de aspas
- Horno Select-Horn (Selecta, España)
- Barrena
- pHímetro Eutech Instruments EcoScan pH6
- Conductivímetro Eutech Instruments EcoScan CON6
- Agitador Heidolph D-91126
- Balanza de precisión Mettler Toledo modelo AB2004, precisión (0.10±0.01)
- Balanza de precisión Denver Instrument S-234, precisión (0.1000±0.0001)
- Bloque destilador Büchi Digestion UnitK-435, Suiza
- Destilador semiautomático Büchi B324, Suiza
- Abencor MC2 Ingeniería y Sistemas S-I (Sevilla, España)
- Centrífuga Selecta Medifriger BL-S
- Analizador minispec mq10 RMN analyzer (Bruker)
- Espectrofotómetro de Absorción Atómica iCE 300 series (Thermo, UK)
- Espectrofotómetro Varian Cary 50 BIO UV. Visible Spectrophotometer
- Equipo de extracción en fase sólida Supelco visiprep™
- Cromatógrafo de gases Perkin-Elmer Autosystem
- Inyector automático y registrador PE-Nelson 1020s

- Columna capilar BPX70 (SGE Scientific)
- Rancimat 743 (Metherom, Suiza)

#### IV.1.2. Reactivos

**Tabla IV.1.** Compuestos químicos

<b>Compuesto Químico</b>	<b>Calidad</b>	<b>Casa comercial</b>
<i>Ácido acético glacial</i>	PA-ACS-ISO	Panreac
<i>Ácido bórico</i>	PRS	Panreac
<i>Ácido clorhídrico</i>	PA-ACS-ISO	Panreac
<i>Ácido nítrico</i>	PA	Merck
<i>Ácido oxálico</i>	PA-ACS-ISO	Merck
<i>Ácido sulfúrico</i>	PA	Merck
<i>Agua destilada</i>	Millipore Elix 3	Millipore
<i>Amidón</i>	RV	Panreac
<i>Boro</i>	Solución estándar	Merck
<i>Calcio</i>	Solución estándar	Merck
<i>Cloruro de aluminio</i>	PRS-BP-USP	Merck
<i>Cobre</i>	Solución estándar	Merck
<i>Curcumina</i>	PA	Panreac
<i>Dicromato potásico</i>	Solución 0.1 N	Merck
<i>Etanol</i>	HPLC	Merck
<i>Éter etílico</i>	PAI	Panreac
<i>Fenolftaleína</i>	RV	Panreac
<i>Fosfato potásico</i>	PA-ISO	Merck
<i>Hidróxido potásico</i>	PA	Panreac
<i>Hierro</i>	Solución estándar	Merck
<i>Indicador mixto</i>	Para valoraciones de amoniaco	Merck
<i>Magnesio</i>	Solución estándar	Merck
<i>Manganeso</i>	Solución estándar	Merck
<i>Metanol</i>	PA-ACS-ISO (Reag. Ph. Eur.)	Panreac
<i>Molibdato amónico</i>	PA	Panreac
<i>Óxido de lantano</i>	PA	Panreac
<i>Potasio</i>	Solución estándar	Merck
<i>Selenio</i>	PRS	Panreac
<i>Sodio</i>	Solución estándar	Merck
<i>Sulfato de cobre</i>	PRS	Panreac
<i>Sulfato potásico</i>	PRS	Panreac
<i>Vanadato amónico</i>	PA-ACS	Panreac
<i>Yoduro Potásico</i>	PRS-CODEX	Panreac
<i>Zinc</i>	Solución estándar	Merck

**Tabla IV.2.** Compuestos químicos. Continuación

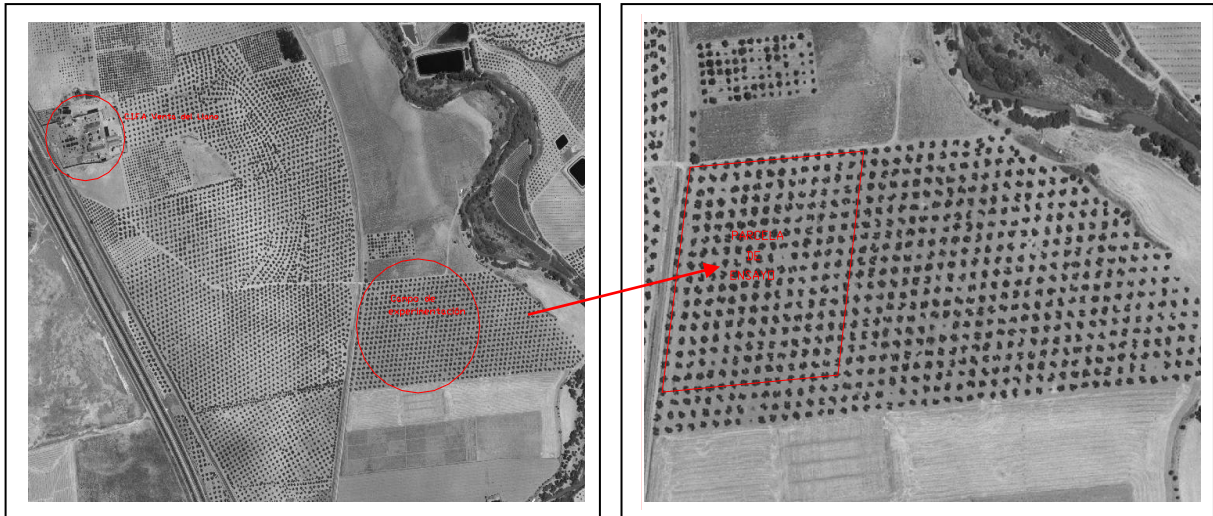
<b>Compuesto Químico</b>	<b>Calidad</b>	<b>Casa comercial</b>
<i>Ciclohexano</i>	HPLC	Merk
<i>Cloruro sódico</i>	PA	Panreac
<i>Folín- ciocalteu</i>	Merck	Merck
<i>Heptano</i>	HPLC	Panreac
<i>Hidróxido sódico</i>	PRS-CODEX	Panreac
<i>Metanol</i>	HPLC	Panreac
<i>n-Hexano</i>	PA	Panreac
<i>Tiosulfato Sódico</i>	Solución 0.01 N	Merck
<i>Triclorometano</i>	PA-ACS-ISO	Panreac



## IV.2. LOCALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS

### IV.2.1. Parcelas de ensayo

La presente Tesis Doctoral se ha desarrollado durante cinco campañas en un olivar representativo de la variedad ‘Picual’ perteneciente a la finca experimental de IFAPA Centro Venta del Llano (Mengibar. Jaén) (Figura IV.1). Dicha parcela se encuentra a 37°56’32” latitud norte, 03°47’10” al oeste, con una altitud media de 292 m sobre el nivel del mar, correspondiendo el centro de dicha parcela a las coordenadas UTM x: 431841,41 e y: 4199360,79. El clima de esta región es mediterráneo con una pluviometría anual media de 445 mm y una temperatura media de 17.7°C, durante los años en los que se ha llevado a cabo la parte experimental de este trabajo.



**Fig. IV.1.** Vista aérea de la parcela en donde se aplican los distintos tratamientos fertilizantes objeto de esta Tesis Doctoral

El suelo (Tabla IV.3) que los sustenta es de tipo inceptisol, desarrollado sobre margas, areniscas y calizas del Oligoceno y Mioceno. Presenta una textura franco-arcillosa con una profundidad media entre 90 y 100 cm. Este es

un suelo calcáreo representativo del olivar al sur de España que presenta las condiciones adecuadas para el cultivo (Aguilar y cols., 1987).

**Tabla IV.3.** Parámetros físico-químicos del suelo perteneciente a la parcela de olivar en estudio

Parámetro	Valor
Arena (USDA, %)	26.60
Limo (USDA, %)	35.50
Arcilla (USDA, %)	38.00
Clase textural	Franco-Arcillosa
pH en agua	8.70
Materia Orgánica (%)	1.38
Carbono orgánico (%)	0.81
Fósforo disp. (Olsen) * (mg kg <sup>-1</sup> )	44.80
Potasio disp. NH <sub>4</sub> Ac * (mg kg <sup>-1</sup> )	594.10
Relación C/N	9.37
Nitrógeno total * (mg kg <sup>-1</sup> )	881.00
Carbonatos (%)	39.70
C.I.C.(meq / 100 g)	21.20

Fuente: elaboración propia

\* Resultados expresados sobre materia seca.

Todas las parcelas de ensayo elegidas reciben las mismas prácticas agronómicas. Así pues, se lleva a cabo un cultivo en no laboreo, con utilización de herbicidas pre-emergencia y post-emergencia y escarda mecánica en verano, mediante el empleo de cuchillas entre dos tierras con una profundidad aproximada de 4 cm. En cuanto a los tratamientos fitosanitarios, se realizan contra *Prays oleae* en primavera en la generación antófaga, contra *Spilotea oleagina* dos tratamientos preventivos uno en primavera y el otro al comienzo

del otoño, y contra *Bactrocera oleae* un tratamiento esporádico. Los árboles siguen un programa de poda de producción bianual y la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio, se detallará más detenidamente en el apartado de tratamientos (IV.2.1.) por ser el objeto de esta Tesis Doctoral.

Para el riego se ha utilizado agua procedente del río Guadalbullón, aplicándose con un sistema de goteros autocompensantes de  $8 \text{ L h}^{-1}$ , con dos goteros por olivo, y sin fertirrigación. Las parcelas de riego recibieron, con una periodicidad de quince días, una aportación total aproximada de  $3750 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (6000 L por árbol) distribuida en un total de diez riegos al año.

Las parcelas presentan una pendiente muy suave tal y como puede observarse en la Figura IV.2.

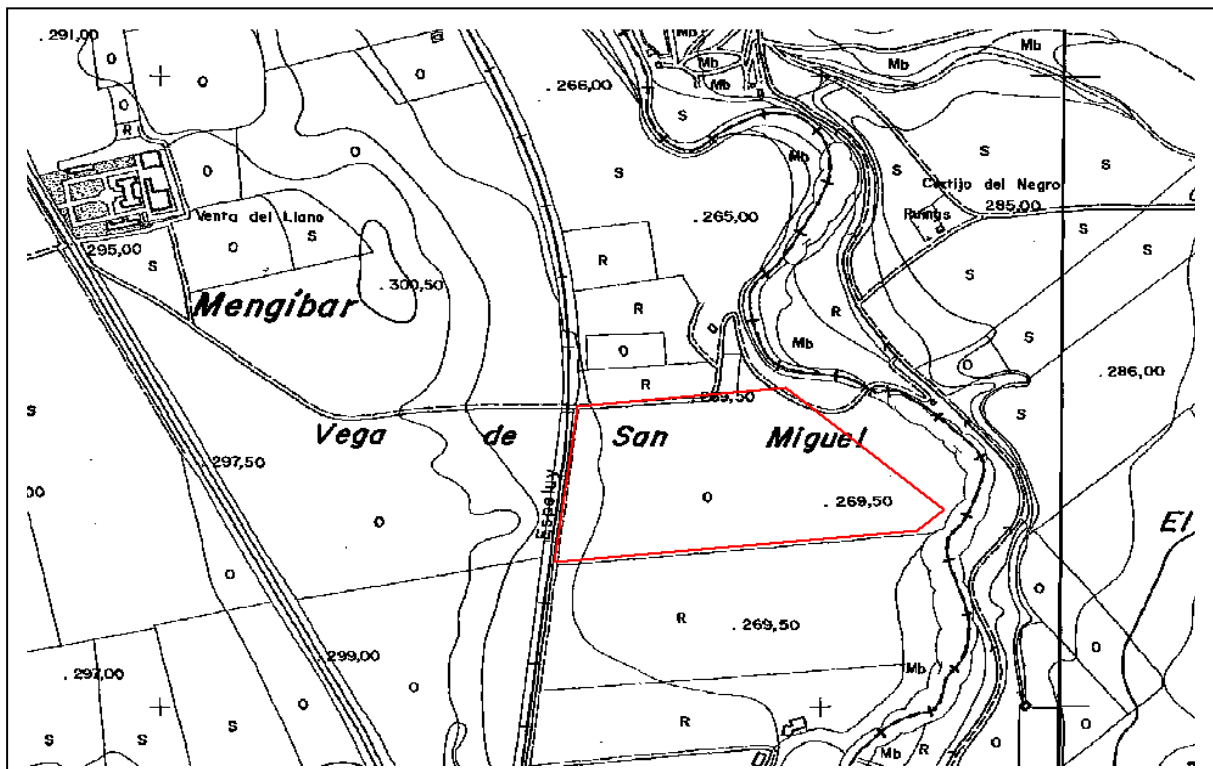


Fig. IV.2. Curvas de nivel de la parcela de ensayo

El ensayo presenta un diseño experimental en bloques al azar que consta de cuatro tratamientos de fertilización (alperujo fresco, compost I, compost II y abonado mineral) con tres repeticiones. La parcela elemental está constituida por dos árboles, manteniendo líneas guarda entre tratamientos.

#### IV.2.2. Planta de compostaje

La planta de compostaje se encuentra situada, al igual que las parcelas de ensayo, en el Centro IFAPA 'Venta del Llano', Mengíbar, (Jaén).

La instalación cuenta con un suelo impermeabilizado mediante un encofrado de hormigón, que evita el riesgo de lixiviados y facilita el volteo y manejo del compost con la pala cargadora y una cubierta de chapa metálica, que proporciona protección frente a las inclemencias climatológicas. (Fig. IV.3) y cuenta con un sistema de canalización de recogida de lixiviados.



**Fig. IV.3.** Planta piloto-experimental de compostaje de alperujo

El sistema de compostaje que se ha seguido es el de pilas móviles, con volteo por medio de una retroexcavadora, como se puede observar en la Figura IV.4.



**Fig. IV.4.** Detalle del volteo de las pilas de compost

Para el almacenamiento del alperujo, se dispone de una balsa hormigonada, donde se deposita hasta el momento de su utilización.

El estiércol utilizado, se adquiere en el momento de su uso y la urea se almacena en el almacén de productos fitosanitarios del Centro.

Se dispone de una toma de agua cercana, para la humectación de las pilas, y de un sistema de bombeo, que impulsa el agua procedente del lavado de aceituna, para el regado del compost ya formulado.



### IV.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

A continuación, se detalla el diseño experimental seguido en esta Tesis Doctoral.

#### IV.3.1. Tratamientos

Esta Tesis Doctoral se ha centrado en la aplicación a las parcelas de ensayo de tres tratamientos diferentes como fertilizante orgánico, y un cuarto tratamiento mediante abonado mineral (AM) que servirá de testigo frente a los otros tres para evaluar sus calidades para uso agrícola como fertilizante orgánico y mejorante de suelo. Al mismo tiempo, se analizará la influencia que estos tratamientos tienen, en el estado nutricional de los árboles, composición del suelo, en la calidad del fruto, en la producción obtenida, y por último, en la calidad de los aceites producidos.

Para los tratamientos orgánicos en las parcelas de ensayo se ha elegido la aplicación directa de alperujo fresco (AF) y la preparación de dos compost (compost I y compost II) cuya composición es la que sigue:

- Compost I (CI) formado por alperujo fresco (AF), esterol de oveja (EO) y restos de poda (Rp)
- Compost II (CII) formado por alperujo fresco (AF), hoja de almazara procedente de las limpiadoras (H) y urea (U).

Cada tratamiento consta de tres repeticiones en la que cada parcela elemental está formada por dos árboles (Figura IV.5), distribuidos en un diseño experimental completamente al azar y manteniendo línea guarda entre tratamientos.

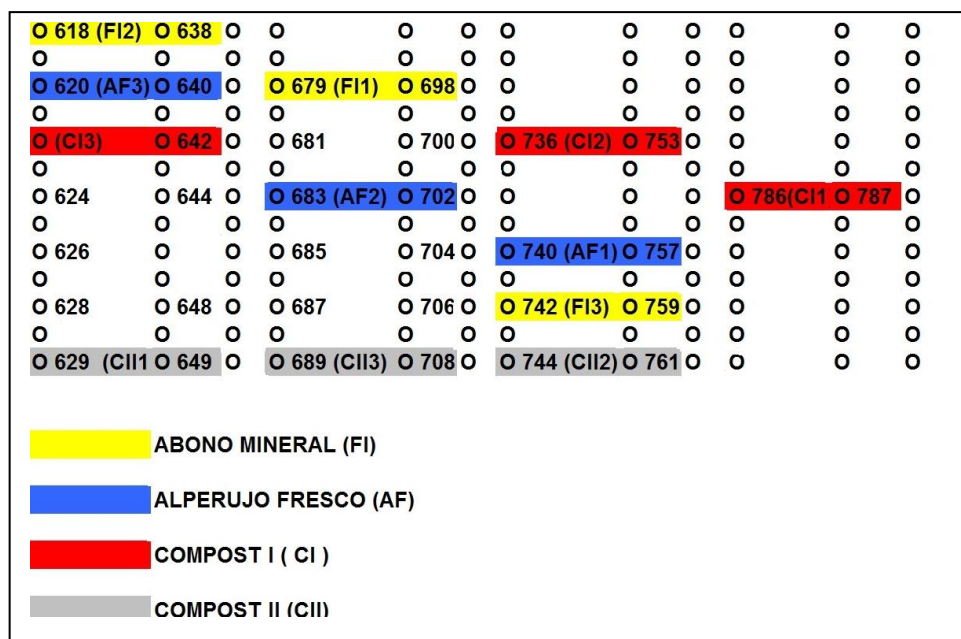


Fig. IV.5. Diseño de la parcela de ensayo

La fertilización inorgánica empleada estaba constituida por: 76 kg urea ha<sup>-1</sup>, 66 kg de KCl ha<sup>-1</sup> y 36 kg de superfosfato ha<sup>-1</sup>.

La dosis de aplicación de los distintos tratamientos orgánicos (alperujo fresco, compost I y compost II), se establece en función de la calidad nutricional del compost maduro. Para ello se utiliza el contenido de nitrógeno como factor limitante, aplicando la dosis de compost (kg compost árbol<sup>-1</sup>), tal que, el aporte final sea de 1 kg N árbol<sup>-1</sup>, no superando 120 kg N/ ha tal y como establece la normativa de Producción Integrada para olivar tradicional de riego (ORDEN de 15 de abril de 2008, por la que se aprueba el Reglamento Específico de Producción Integrada de Olivar). De esta forma se consigue que el aporte de nitrógeno, como nutriente más limitante para el desarrollo del olivar, sea el mismo en todos los tratamientos ensayados. En la Tabla IV.4 se muestra la cantidad aplicada de cada uno de los compost de ensayo en función del contenido de nitrógeno en los composts maduros y las necesidades de nitrógeno indicadas.

**Tabla. IV.4.** Dosis de aplicación de enmendantes orgánicos

	<b>Compost I</b>	<b>Compost II</b>	<b>Alperujo fresco</b>
<b>N (%)</b> *	1.80	1.30	1.20
<b>Humedad (%)</b>	10.10	6.90	49.90
<b>kg compost árbol<sup>-1</sup></b>	62	83	167
<b>kg compost parcela<sup>-1</sup></b>	372	498	1002
<b>kg compost ha<sup>-1</sup></b>	4340	5810	11690

\*Resultados expresados sobre materia seca.

En la Figura IV.6 se muestra la aplicación del compost entre las calles de las parcelas experimentales mediante un esparcidor de materia orgánica acoplado a la toma de fuerza del tractor y con un posterior pase de rastra de forma que, tenga lugar la incorporación de los materiales en los primeros 5 cm de suelo.

Ambos tipos de fertilización se lleva a cabo siguiendo el programa de fertilización establecido en la provincia dependiendo del año.



**Fig. IV.6.** Detalle de máquina esparcidora de compost en las parcelas de ensayo

### IV.3.2. Compostaje de alperujo

#### IV.3.2.1. Etapas de elaboración del compost

Debido a las características que presenta el alperujo como su deficiente estructura física, la baja cantidad de nitrógeno disponible, la descompensada relación C/N y su excesiva humedad, para realizar un correcto proceso de compostaje, se mezcló con agentes estructurantes como son la hoja de la almazara procedente de las limpiadoras y los restos de poda previamente picados. Para la corrección de la deficiencia de nitrógeno, necesaria para que el proceso de compostaje se inicie y se suceda correctamente, se utilizan distintas fuentes de nitrógeno, siendo en nuestro caso empleado el estiércol de oveja y la urea. Así, las materias primas empleadas en las pilas de compost elaboradas, cada una de ellas en la proporción adecuada, se detallan a continuación:

- Alperujo Fresco (AF): es el alperujo procedente de un sistema de extracción de dos fases de Aceite de Oliva Virgen en la almazara experimental de IFAPA Centro Venta del Llano, Mengibar (Jaén) (Figura IV.7.)



**Fig. IV.7.** Vista del alperujo en la mezcla inicial

- Estiércol de Oveja (EO): procede de las heces del ganado ovino de una fuente externa al centro y se utilizará como fuente de carga y de nitrógeno (Figura IV.8.)



**Fig. IV.8.** Estiércol de oveja

- Restos de poda (Rp): procede de los restos de poda de los árboles propios de las parcelas de ensayo, picados mediante picadora de ramón Agric modelo TRO 180, acoplada a la toma de fuerza del tractor.
- Hoja de almazara (H): procedente de la hoja de limpieza de la recepción de aceituna del propio centro (Figura IV.9.)



**Fig. IV.9.** Hoja procedente de la limpiadora

- Urea (U): fertilizante sólido nitrogenado con mayor concentración de nitrógeno, 46 % en forma ureica.
- Agua de riego: procedente de una toma de agua cercana a la instalación de la planta de compostaje y procedente de la red de consumo potable.

Para un correcto compostaje, en el que se aproveche y retenga la mayor parte del carbono (C) y del nitrógeno (N), la relación C/N del material de partida debe ser la adecuada. Los microorganismos que actúan en dicho proceso utilizan generalmente 30 partes de carbono por cada una de nitrógeno; por esta razón, se considera que el intervalo de C/N óptimo para el compostaje es de aproximadamente 30. En función a estas necesidades, se establecen las proporciones de cada una de las materias primas empleadas en la pila de compost, de forma que la relación C/N sea la apropiada. Mediante las expresiones [IV.1] y [IV.2] se puede conocer la cantidad necesaria de cada una de las materias primas de la mezcla para cumplir los requisitos establecidos:

- Compost I (CI):

$$\begin{aligned} X \cdot C/N_{AF} + Y \cdot C/N_{EO} &= 30 \cdot (X+Y) \\ X + Y &= 100 \end{aligned}$$

[IV.1]

- Compost II (CII):

$$\text{kg urea} = \left[ \left( \frac{10 \cdot C/N_{AF}}{30} \right) - 10 \right] \cdot \frac{100}{46}$$

[IV.2]

siendo:

- X: kg de alperujo fresco a utilizar.
- Y: kg de agente estructurante y /o fuente de nitrógeno.
- AF: Alperujo fresco
- H: Hoja procedente de la limpiadora

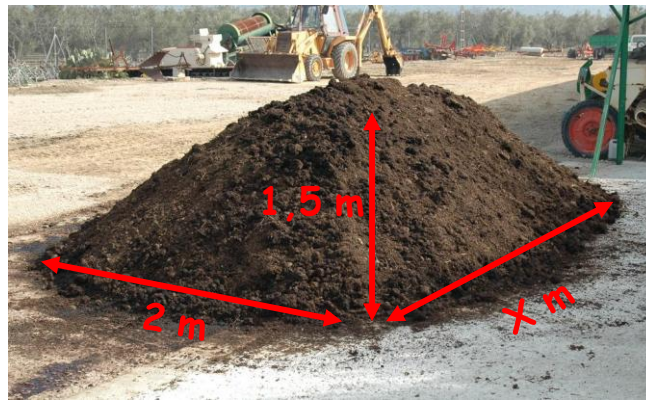
En la Tabla IV.5 se indican las proporciones de las materias primas obtenidas una vez realizados los cálculos:

**Tabla IV.5.** Composición de los distintos compost (% peso)

Compost	MATERIAS PRIMAS				
	AF	EO	Rp	H	U
Compost I (CI)	20%	60 %	20%		
Compost II (CII)	71%			29%	9 kg/tn

Conocida la proporción de materias primas, se elaboran las pilas de compost, manteniendo las siguientes dimensiones (Figura IV.10):

- Altura: 1.5 m.
- Anchura: 2 m.
- Longitud: 4-5 m.
- Carga: 5000 - 6000 kg compost por pila.



**Fig. IV.10.** Dimensionamiento de la pila de compost

Para la mezcla homogénea de las materias primas, se emplea una retroexcavadora, y se procede a la formación de cada una de las pilas de compost ubicadas en la instalación de compostaje anteriormente descrita, tal y como puede observarse en las Figuras IV.11 y IV.12.

A lo largo de esta fase de preparación, será necesaria la adición de agua a la mezcla para que la humedad de la pila esté próxima a unos valores de 30-35%, pues la actividad microbiana, relacionada con el crecimiento y división celular, requiere condiciones de humedad óptimas. En consecuencia, la presencia de agua dentro de la pila de compostaje, es imprescindible para el transporte de sustancias y nutrientes, de modo que los hace más accesibles para los microorganismos.



**Fig. IV.11.** Aspecto inicial de la pila de compost I



**Fig. IV.12.** Aspecto inicial de la pila de compost II

#### IV.3.2.2. Proceso de compostaje

A continuación se van a considerar los parámetros relativos al control del proceso de compostaje: temperatura, humedad y aireación.

#### IV.3.2.2.1. Control de temperatura

Durante la fase de elaboración del compost, es necesario controlar la temperatura de la pila cada dos días (Figura IV.13). A fin de obtener resultados fiables, la medida se realiza a la misma hora de la mañana, en tres puntos repartidos a lo largo de la longitud de la pila de forma equidistante, a una altura de 2/3 de la altura de la misma y profundizando 1m aproximado hacia el centro de la pila. Para ello se dispone de un equipo de medida, constituido por una sonda CRISON Thermometer 637, con una exactitud  $\pm 0.1$  °C, dotado con un sensor acoplado a una varilla de 1 m de longitud, quedando los datos de temperatura debidamente registrados (Figura IV.14).



**Fig. IV.13.** Zona de medida de la temperatura



**Fig. IV.14.** Detalle de medida de la temperatura

#### IV.3.2.2.2. Control de la humedad

Otro parámetro de gran importancia en la elaboración del compost, es la humedad contenida en la pila a lo largo del proceso. La medida de la misma, se realiza cada dos semanas coincidiendo con el volteo, de forma que se llevarán a cabo los riegos necesarios, siempre que la humedad de la pila, en el

momento del volteo, sea inferior a los valores óptimos comprendidos entre el 30-35%, en el caso de esta investigación, y los riegos se realizaran de forma homogénea en toda la pila (Figura. IV.15)

Para conocer el grado de humedad, se toman  $30.00 \pm 0.01$  g de compost que se pesan en una balanza de precisión y se desecan en estufa de aire forzado a una temperatura de 105 °C hasta peso constante. El cálculo se realiza por diferencia de pesada y se expresa como porcentaje, según [IV.3].

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_a - P_d}{P_{\text{muestra}}} \times 100 \quad [\text{IV.3}]$$

siendo:

- $P_a$ : peso antes de la desecación (g).
- $P_d$ : peso después de la desecación (g).
- $P_{\text{muestra}}$ : peso de la muestra (g).

El riego es necesario durante la primera fase del compostaje, denominada fase bio-oxidativa o de fermentación, cuya duración es de entre 17 y 24 semanas.

Al inicio de la segunda fase de compostaje o fase de maduración, el riego y volteo deben suprimirse.



**Fig. IV.15.** Riego y volteo de compost

#### IV.3.2.2.3. *Control de la aireación*

Una medida indirecta de la presencia de oxígeno en la pila, es el control de la temperatura en ella, pues cuando se observa que aquella desciende, puede ser debido a la ausencia de oxígeno en cantidad suficiente que permita la actividad de los microorganismos aeróbicos.

En consecuencia, se hace preciso realizar volteos, con el fin de airear el sustrato y favorecer las condiciones aerobias, para que los microorganismos aerobios puedan degradar la materia orgánica presente, realizándose los mismos con una periodicidad de quince días suprimiéndose al inicio de la fase de maduración (Figura. IV.15)

#### **IV.4. ETAPA DE PREPARACIÓN DE MUESTRAS**

Con el fin de conocer el efecto que tiene la aplicación de fertilizantes orgánicos frente a la fertilización mineral, se lleva a cabo la caracterización de los compost elaborados y aplicados, el efecto en el estado nutricional de los árboles, características del suelo, características pomológicas del fruto y la influencia en la calidad y composición del aceite de oliva. Para ello, fue necesaria la realización de determinadas toma de muestras que se pasan a describir continuación.

##### **IV.4.1 Preparación de las muestras de hojas**

El muestreo debe realizarse en el mes de julio al tratarse de la época en la que las concentraciones de los elementos en las hojas son estables. Las hojas que deben muestrearse para el análisis son aquellas totalmente expandidas, procedentes de brotes sin frutos y de una edad comprendida entre los 3 y 5 meses. Razón por la que el muestreo se sitúa sobre el mes de julio, y deben tomarse hojas de brotes del año en posición media a basal que contengan pecíolo, ya que es para este periodo para el que están establecidos los niveles críticos de nutrientes que servirán para comparar los resultados analíticos de las muestras.

De cada parcela homogénea debe tomarse una muestra de hojas, considerándose en nuestro caso como tales cada uno de los tratamientos. Cada muestra debe de contener al menos 100 hojas, procedentes de la parte central a basal de los brotes del año, situados a la altura del hombro del operario y en cada una de las orientaciones del árbol. Una vez tomadas las muestras se guardan en sobres de papel diferenciados por la referencia de cada parcela con el tratamiento correspondiente.

Una vez las muestras de hojas están en el laboratorio, se lavaron en disolución acuosa al 1% con un detergente no iónico (Tritón X-100), enjuagando sucesivas veces con agua potable y finalmente, dos veces con agua desionizada. El lavado se realizó procurando que las muestras permanecieran en remojo el menor tiempo posible, para evitar pérdidas de elementos solubles. Una vez lavadas, el exceso de humedad se eliminó con papel de filtro y se almacenaron en sobres de papel.

A continuación, se procedió al secado de las muestras de hoja, en los sobres abiertos, en estufa de aire forzado a 60 °C hasta peso constante. La muestra desecada, y a ser posible en caliente, se muele en molino de aspas metálicas.

Las muestras de hoja, se almacenaron en frascos de plástico provistos de tapón en estufa a 60 °C, para evitar proliferaciones de hongos, hasta su posterior análisis.

En la determinación de los nutrientes minerales, excepto el nitrógeno, fue necesaria la calcinación de las muestras a analizar; para ello, se pesaron  $1.00 \pm 0.01$  g de muestra seca y molida de hoja, en crisoles de porcelana de 15 mL aproximadamente. A continuación se calcinaron en un horno mufla SELECT-HORN (Selecta) a 450 °C durante ocho horas, aproximadamente. Las cenizas se disuelven en HCl hasta una concentración final 0.1 N.

#### **IV.4.2 Preparación de las muestras de materias primas y compost**

La toma de muestras se realiza una vez finalizado la fase de maduración de los compost, se coge aleatoriamente muestra de varios puntos y profundidades del interior y exterior de la pila de compost, realizando el mismo procedimiento para la caracterización de las materias primas que utilizamos

para la mezcla en la formación de las pilas. Para que las muestras sean lo más representativa posible, se homogeniza bien y se toma una cantidad de medio kilo aproximadamente, la cual se introduce en una bolsa de plástico, identificada con una etiqueta en la que se anota, el compost al que pertenece, la composición y la fecha de muestreo, a continuación se cierra y se traslada al laboratorio para dejar secar a temperatura ambiente, hasta su análisis.

Una vez totalmente secas, se trituraban con un molinillo eléctrico de aspas equipado con una criba de 1 mm de diámetro, posteriormente se tamizaban con un tamiz para homogenizar la muestra y que el diámetro final de partícula fuera inferior a 1 mm. Las muestras se almacenaron en frascos de plástico previstos de tapón, con su correspondiente etiqueta identificativa y se mantuvieron en lugar fresco, seco y protegidas de la luz, para evitar su contaminación o deterioro.

Para la determinación de los nutrientes minerales, excepto el nitrógeno, fue necesaria la calcinación de las muestras a analizar. Para ello se pesó  $0.50 \pm 0.01$  g de muestra seca y molida en crisoles de porcelana de, aproximadamente, 15 mL. A continuación fueron calcinados en un horno mufla (SELECTA, España) a  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante ocho horas. Las cenizas se disuelven en HCl hasta una concentración final 0.1 N.

#### **IV.4.3 Preparación de las muestras de fruto**

La toma de muestras de aceituna se ha realizado cogiendo los frutos a la altura del operador en las cuatro orientaciones del árbol y evitando aquellos situados en el interior del mismo como recomienda Rodríguez de la Borbolla y cols., 1955. De cada parcela se han tomado tres muestras de 3 kg aproximadamente.

El conjunto de las muestras ha sido tomado cuando los frutos presentaron un índice de madurez (IM) aproximado de 3 – 3.5, correspondiendo al estado final de envero. La selección de este IM es considerado como el momento óptimo de recolección para la obtención de un Aceite de Oliva Virgen de máxima calidad en la variedad '*Picual*'. El método para su determinación se trata del desarrollado por el equipo de investigación de la Estación de Olivicultura y Elaiotecnica, hoy IFAPA 'Venta del Llano' de Mengíbar (Jaén) (Uceda y Frías, 1975). Se trata de un método fenotípico, basado en el cambio de color por pigmentación de la epidermis y el mesocarpio que presenta la aceituna a lo largo del proceso de maduración.

#### **IV.4.4 Extracción del Aceite de Oliva Virgen**

La extracción del aceite se realizó mediante el sistema Abencor MC2 Ingeniería y Sistemas S.I. Sevilla-Spain (Figura IV.16). Este equipo consta de: un molino, una termobatidora y una centrífuga vertical para la pasta. El molino utilizado es de martillos con todos los componentes fabricados en acero inoxidable de calidad alimentaria. Dispone de cribas intercambiables para variar el grado de molienda. La termobatidora con capacidad de trabajar con ocho muestras a la vez y de forma independiente, consta de una baño de agua termostaticado en su parte inferior y de un sistema de paletas para el batido de la pasta. La centrífuga vertical para la pasta de aceituna, permite separar la fase líquida de la sólida, es del tipo denominado de cesta, con un régimen de giro de 3500 rpm y presenta un orificio en la parte inferior para la salida de la fase líquida.



**Fig. IV.16.** Abencor

Las condiciones de extracción del aceite fueron las siguientes:

La aceituna fue molturada inmediatamente después de su recolección y la molienda del fruto se llevó a cabo empleando un tamaño de criba de 6 mm diámetro.

La aceituna, una vez molida, fue homogeneizada y llevada a la termobatidora, con condiciones de batido de  $28 \pm 2$  °C y un tiempo de operación de 30 minutos.

Tras el batido de la pasta, ésta se centrifugó durante un minuto, recogándose la fase líquida o mosto oleoso en una probeta.

Durante el proceso de extracción no se añadió agua ni microtalco natural micronizado (MTN) como coadyuvante natural.

Se dejó decantar durante 10 minutos para separar el agua de vegetación del aceite y este se recogió y posteriormente se centrifugó a 4500 rpm durante 5 minutos en una centrífuga Secelta Medifriger BL-S a fin de eliminar los posibles restos de finos y agua. Después fue filtrado sobre papel jarabe y se llevó a congelación a una temperatura de  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta el momento de ser analizado.

#### **IV.4.5 Preparación de las muestras de suelo**

Para conocer la evolución temporal de los distintos parámetros considerados en esta Tesis Doctoral, se han tomado muestras de suelo al azar a una profundidad de 20 cm utilizando una barrena, al principio y final de la aplicación de los diferentes tratamientos planteados en esta investigación con tres repeticiones por cada uno de ellos.

Los muestreos de los suelos se realizaron de una muestra representativa del suelo obtenido por mezcla de cuatro submuestras de cada parcela de ensayo.

Se toman muestras de 0.5 kg aproximadamente y se etiquetan de forma correcta. Las muestras son llevadas a laboratorio en neveras y congeladas hasta el momento de su análisis para no alterar el contenido de nitrógeno inorgánico; una vez descongeladas, eran secadas y tamizadas por un tamiz de 2 mm.

## IV.5. DETERMINACIONES ANALÍTICAS

A continuación se considerarán las distintas determinaciones realizadas en hojas, compost, fruto, Aceite de Oliva Virgen y suelo.

### IV.5.1 Determinación de elementos minerales en hoja

#### IV.5.1.1 Determinación de Nitrógeno

Para la determinación de Nitrógeno (N), se aplicaron los *Métodos Oficiales de Análisis (1986)*, se pesaron  $0.20 \pm 0.01$  g de muestra, seca y molida, junto con  $1.50 \pm 0.01$  g de catalizador, compuesto por  $\text{Se}:\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}:\text{K}_2\text{SO}_4$  (1:4:16 p/p/p). A continuación, se llevó a cabo la digestión ácida en un bloque digestor Digestion Unit K-435 (Büchi, Suiza), durante 30 minutos a  $370^\circ\text{C}$ , temperatura que es superior a la de ebullición del  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado ( $270^\circ\text{C}$ ), transformando el nitrógeno en sulfato amónico. Para ello, se introdujo la muestra y el catalizador en un tubo digestor de politetrafluoroetileno, añadiéndole 7 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (96%). Una vez finalizada la digestión, se dejaron enfriar y la destilación se llevó a cabo en un analizador semiautomático Büchi B324, Suiza.

El nitrógeno destilado se recogió sobre un matraz erlenmeyer de 250 mL en presencia del indicador mixto 5 de Merck, formado por mezcla de rojo de metilo y verde de bromocresol, disolución con carácter ácido por la adición automática de 50 mL de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (20%, p/v). Una vez finalizado el proceso de destilación, el nitrógeno recogido sobre el matraz erlenmeyer se valoró con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.1 N, observándose el punto de equivalencia en el cambio de coloración verde (medio básico) a color violeta (medio ácido), determinándose la concentración de nitrógeno, mediante la expresión [IV.4]:

$$N = \frac{V \cdot C \cdot Pe}{10 \cdot P} \quad [IV.4]$$

siendo:

- N: concentración de nitrógeno en la muestra (%)
- V: volumen en mL de ácido sulfúrico (0.1N) gastado en la valoración
- C: concentración exacta del ácido sulfúrico 0.1N
- Pe: peso equivalente del N: 14 g eq<sup>-1</sup>
- P: peso de muestra a analizar (g)

Los resultados se expresaron como % sobre materia seca.

#### IV.5.1.2 Determinación de Fósforo

La medida de la concentración de fósforo (P) en las distintas muestras a analizar, se realizó siguiendo los *Métodos Oficiales de Análisis (1986)*. Para ello, se aplicó un método colorimétrico, midiendo la absorbancia a 430 nm en un espectrofotómetro VARIAN Cary 50 BIO UV-Vis.

En esta determinación, se partió de la disolución madre de cenizas, sin previa dilución, en medio ácido (HCl). Se tomaron 4 mL de disolución de cenizas, adicionándoles 2 mL del reactivo nitrovanadomolibdico, formado por: molibdato amónico 5% (p/v), vanadato amónico 2,5% (p/v) y ácido nítrico concentrado en una proporción 100/100/67 (v/v/v), dando lugar a la formación de un complejo amarillento del ácido fosfórico en presencia de V<sup>5+</sup> y Mo<sup>6+</sup>, enrasándose a 10 mL con agua desionizada en un matraz aforado. Paralelamente, se preparó un blanco tomando los 2 mL del reactivo complejante y llevando a 10 mL con agua desionizada. Se dejó reaccionar

durante una hora, tras la que la coloración permanece estable durante varias horas.

La curva patrón se determinó, realizando varias diluciones de una solución madre de fósforo de concentración  $1000 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$  en agua desionizada) obteniéndose un total de veinte patrones distintos en un intervalo de concentraciones  $0.32 - 12 \text{ mg kg}^{-1}$ .

La ecuación de calibrado fue la siguiente:

$$P (\text{mg kg}^{-1}) = (21.17 \cdot \text{Abs}) + 0.098 \quad R^2 = 0.999 \quad [\text{IV.5}]$$

siendo:

- Abs: absorbancia de la muestra a la longitud de onda seleccionada

expresándose los resultados en % sobre materia seca.

#### IV.5.1.3 Determinación de Boro

La determinación de Boro (B) se realizó según el método que está propuesto por Greweling (1976), basado en la formación de un complejo coloreado llamado rosacianina, al evaporarse, en baño maría, una mezcla de ácido bórico, ácido oxálico y curcumina. La rosacianina formada es función de la cantidad de boro presente en la muestra.

Para ello, se dispone 1 mL de la disolución de las cenizas en un vaso estéril, al que se le añade 5 mL de oxalato de curcumina ( $16.00 \pm 0.01 \text{ g}$  de ácido oxálico y  $0.12 \pm 0.01 \text{ g}$  de curcumina, en 200 mL de etanol (96 %)). La mezcla se agitó y colocó en un baño maría, a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ , hasta llegar a sequedad,

durante dos horas aproximadamente. Una vez seca, se disolvió en etanol 96 % enrasando a 25 mL, se filtró recogiendo el filtrado sobre tubos de ensayo.

La medida espectrofotométrica, se realizó a 540 nm usando un espectrofotómetro VARIAN Cary 50BIO UV-Vis. La concentración de B en las distintas muestras, se calculó a partir de la curva de calibrado, realizada con los patrones obtenidos a partir de diversas diluciones de una solución madre de boro de concentración  $1000 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $\text{H}_3\text{BO}_3$  en agua). La curva se construyó utilizando patrones de concentraciones 0.10 – 0.25 – 0.50 – 1.0 – 2.0 – 3.0  $\text{mg kg}^{-1}$ .

Cabe indicar, que cada baño debía de constar, además de las muestras a analizar, de los patrones descritos en la recta de calibrado y del blanco, formado éste por 1 mL de HCl al 2 % y 5 mL de oxalato de curcumina. Los resultados se expresaron en  $\text{mg kg}^{-1}$  sobre peso seco.

#### IV.5.1.4 Determinación de K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn

Todos los elementos se determinaron siguiendo los métodos descritos por *Fernández-Hernández y cols.*, 2010, para ello, se empleó un Espectrofotómetro de Absorción Atómica iCE 300 series (Thermo, UK), en las condiciones descritas en Tabla IV.6.

Las medidas de todos los elementos fueron en absorción, excepto el potasio (K), que se llevó a cabo en emisión. Las medidas tanto en emisión o absorción se realizaron en modo continuo, con llama de aire-acetileno, en la que el aire actúa como oxidante a un flujo de  $50 \text{ mL min}^{-1}$ , y el acetileno como combustible a  $20 \text{ mL min}^{-1}$ , alcanzando una temperatura de ionización de  $2600^\circ\text{C}$ .

Las lámparas de cátodo hueco empleadas, fueron específicas para cada elemento a analizar (Hollow Cathode Lamp).

Previamente a la lectura de las muestras, se realizaron una serie de operaciones en el equipo para conseguir la máxima precisión y absorbancia, tales como: alineación de la lámpara y mechero, tanto horizontal como verticalmente, y ajuste de la longitud de onda de medida. En la Tabla IV.6 se muestran los valores de longitud de onda para las que cada elemento presenta su máximo de energía, la energía máxima de cada lámpara a la que emite radiación, y la anchura de rendija característica de cada elemento.

En la medida de potasio, calcio y magnesio fue necesaria una dilución 2/25 (v/v) de la disolución de cenizas inicial. Para la eliminación de las interferencias debidas a fosfatos en la lectura de calcio, se adicionó  $\text{La}_2\text{O}_3$  15 % (p/v) en una concentración del 10 % (v/v). De igual forma, se evitaron las interferencias debidas al Ca, en la medida en emisión de éste, mediante la adición de Al-Cs, mezcla formada por  $1.27 \pm 0.01$  g de CsCl y  $13.40 \pm 0.01$  g  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en 100 mL de HCl al 2 %, encontrándose esta mezcla a una concentración del 10 % (v/v) en la disolución de cenizas a analizar.

Como blanco, se empleó HCl 2%, y para determinar la concentración de los distintos nutrientes minerales, se realizaron las rectas de calibrado antes de comenzar el análisis.

Los patrones utilizados en la recta de calibrado de cada elemento, se recogen en la Tabla IV.6. Para la preparación de los patrones, se ha partido de una solución madre de  $1000 \text{ mg kg}^{-1}$  de cada elemento. Los resultados se expresaron en % sobre materia seca en potasio, calcio y magnesio, y en  $\text{mg kg}^{-1}$  sobre materia seca en hierro, cobre, manganeso y zinc.

**Tabla IV.6.** Condiciones de análisis e intervalos de concentraciones de los patrones para los elementos minerales analizados en absorción atómica

<b>Elemento Mineral</b>	<b>Longitud de onda (nm)</b>	<b>Ancho de rendija (nm)</b>	<b>Energía máx. lámpara (mA)</b>	<b>Concentración patrones (mg kg<sup>-1</sup>)</b>
Mg	285.2	0.7	4	0.5 – 3.0
Ca	422.7	0.7	6	1.0 – 10.0
Mn	279.5	0.2	20	0.1 – 10.0
Zn	213.9	0.7	10	0.2 – 4.0
Fe	248.3	0.2	30	1.0 – 50.0
Cu	324.8	0.7	10	0.1 – 20.0
K	766.5	2.0	8	5.0 – 300.0

#### IV.5.2 Determinaciones analíticas en compost y materias primas

Una vez se recibieron las muestras de compost I y II en el laboratorio, se procedió a realizar la caracterización de dichos materiales. El procedimiento de toma de muestras de los compost se recoge en el apartado IV.4.2. A continuación se indican las determinaciones realizadas y las metodologías utilizadas en la presente Tesis Doctoral para la caracterización de los composts, así como la referencia del método empleado. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

##### IV.5.2.1. Humedad

Se determinó como humedad el porcentaje de agua respecto a muestra húmeda, por diferencia de peso entre material húmedo y seco a 105 °C.

Para esta determinación, se toman  $30.00 \pm 0.01$  g de compost, se pesan en una balanza de precisión Mettler Toledo modelo AB204 y se desecan en estufa de aire forzado a una temperatura de 105 °C hasta pesada constante. El

cálculo se realiza por diferencia de pesada y se expresa como %, expresión [IV.6]:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_a - P_d}{P_m} \cdot 100 \quad [\text{IV.6}]$$

siendo:

- $P_a$  : peso antes de la desecación (g)
- $P_d$  : peso después de la desecación (g)
- $P_m$  : el peso de la muestra (g)

#### IV.5.2.2. Determinación del Carbono

Se determina según el método de Navarro y *cols.*, 1991, se toma como cenizas el residuo obtenido de la calcinación de la muestra a 430°C.

Para ello se pesan de 2 a 3 g de muestra seca, molida y tamizada, en un crisol de paso conocido. Se calienta a 105°C durante 12 horas y se vuelve a pesar. Se calcina por espacio de 24 horas a 430°C, se deja enfriar en desecador y se pesa. El contenido en "cenizas" se expresa en porcentaje respecto de muestra seca.

#### IV.5.2.3. Determinación del pH y de la conductividad eléctrica (CE)

Se determinaron según el método descrito por Gómez-Muñoz y *cols.*, 2013.

Para el análisis de estos parámetros, se introdujo 10 gramos de muestra seca y molida en un frasco de plástico provisto de tapón, y se le añadió 50 ml de agua destilada, tras agitación enérgica se introdujo en la disolución la sonda

del pHímetro, previamente calibrado hasta que la lectura se estabilizó. Después de anotar la lectura del pH Eutech Instruments EcoScan pH6, se procedió de la misma manera, realizándose la medida de la conductividad con el conductímetro Eutech Instruments EcoScan CON6. Los resultados de CE se expresaron en  $\text{dS m}^{-1}$  a 25 °C.

#### IV.5.2.4. Contenido en polifenoles totales

La composición fenólica se cuantificará analizando el contenido en polifenoles totales expresados como  $\text{mg kg}^{-1}$  de ácido cafeico, siguiendo el método descrito por Vázquez-Roncero *y cols.* (1973).

En matraces de fondo redondo, previamente tarados, se pesaron 10 g de cada uno de los distintos compost. Una vez pesados se procedió a su dilución en 200 ml de agua destilada.

Para la extracción de los polifenoles, se mantuvo la disolución en agitación mediante un agitador magnético durante dos horas. Transcurrido este tiempo, se toman 40 ml de la mezcla en tubos de centrifuga de fondo cónico, y posteriormente se centrifugó a 6000 rpm durante 5 minutos. Sacamos los tubos de la centrifuga y procedemos a su filtrado con papel de filtro y embudos en botes de muestra.

Una vez que tenemos la disolución de cada compost separada en los distintos botes numerados, se procede a la realización de las diluciones para la determinación de los polifenoles totales.

En un matraz aforado de 50 mL, se agregó un volumen variable (2 o 5 mL) de disolución de compost, 35 mL de agua desionizada y 2.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu, se agitó y se adicionaron 5 mL de disolución de NaOH 6 %

(p/v) para crear el medio básico. Se llevó a un volumen final de 50 mL con agua desionizada y se agitó para homogeneizar la mezcla.

Paralelamente se prepara un blanco con 35 mL de agua desionizada y 2.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu, se agitó y se adicionaron 5 mL de disolución de NaOH 6% (p/v). Se llevó a un volumen final de 50 mL con agua desionizada y se agitó para homogeneizar la mezcla.

Esperamos unos 15-20 minutos y se mide a 725 nm (espectrofotómetro VARIAN Cary 50BIO UV-Vis) la absorbancia frente al blanco obteniendo el contenido en polifenoles totales presentes en la muestra.

#### IV.5.2.5. Determinación de elementos minerales

Para la determinación del contenido de nitrógeno, fósforo, boro, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, manganeso y zinc en los compost y en las materias primas se emplean los mismos métodos descritos para la determinación de elementos minerales en la hoja recogidos en el apartado IV.5.1.

### **IV.5.3 Caracterización del fruto**

Al objeto de comprobar los efectos que los tratamientos aplicados han tenido sobre los frutos se aplicaron los procedimientos que se indican a continuación.

#### IV.5.3.1 Peso medio

La determinación del peso medio de los frutos se pesaron 50 de ellos, tomados según la norma establecida y empleando una balanza Mettler Toledo

modelo AB204, con precisión  $\pm 0.01$  g. Se suman los pesos de los 50 frutos y se dividen por el número de frutos, obteniendo el peso medio, el cual se expresa en gramos, tal y como se indica en la expresión [IV.7]:

$$\text{Peso medio} = \sum \text{peso aceituna} / n^{\circ} \text{ de aceitunas} \quad [\text{IV.7}]$$

#### IV.5.3.2 Índice de madurez

Su determinación se llevó a cabo siguiendo el método desarrollado por el equipo de investigación de la Estación de Olivicultura y Elaiotecnia (Uceda y Frías, 1975) que se basa en los cambios en la pigmentación de la epidermis y el mesocarpio que presenta la aceituna a lo largo del proceso de maduración. Para ello se tomaron 50 frutos al azar de la muestra homogeneizada, clasificando los frutos en cada una de las categorías o clases definidas a continuación:

- **Clase 0:** Piel verde intenso.
- **Clase 1:** Piel verde amarillento.
- **Clase 2:** Piel verde con manchas rojizas en menos de la mitad del fruto. Inicio de envero.
- **Clase 3:** Piel rojiza o morada en más de la mitad del fruto. Final del envero.
- **Clase 4:** Piel negra y pulpa blanca.
- **Clase 5:** Piel negra y pulpa morada sin llegar al hueso.
- **Clase 6:** Piel negra y pulpa morada sin llegar al hueso.
- **Clase 7:** Piel negra y pulpa morada totalmente hasta el hueso.

El índice de madurez (IM) se calculó como sumatoria de los productos del número de frutos de cada clase o categoría por el valor numérico asignado a cada clase, dividido por el número total de frutos:

$$IM = \frac{a \cdot 0 + b \cdot 1 + c \cdot 2 + d \cdot 3 + e \cdot 4 + f \cdot 5 + g \cdot 6 + h \cdot 7}{50} \quad [IV.8]$$

Siendo a, b, c, d, e, f, g, h, el número de frutos de las clases 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, respectivamente.

#### IV.5.3.3 Humedad del fruto

Se pesaron  $30.00 \pm 0.01$  g de fruto previamente molido que se desecaron en estufa de aire forzado a una temperatura de  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  hasta peso constante. El cálculo de la humedad se realizó por diferencia de pesada y se expresó como porcentaje respecto al peso inicial.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Dif. peso fruto desecado} \times 100}{\text{Peso muestra}} \quad [IV.9]$$

#### IV.5.3.4 Contenido graso en fruto

El contenido graso de la aceituna se determinó mediante un analizador minispec mq10 RMN analyzer (Bruker). Se pesaron  $30.00 \pm 0.01$  g de fruto previamente molido sobre un plato de aluminio, recubierto de una lámina de plástico resistente a altas temperaturas, especial para RMN.

Para la medida, se empleó la muestra previamente desecada a la que se le determinó la humedad. El analizador, determina el contenido en aceite de la muestra por comparación con la recta de calibrado obtenida previamente con patrones de aceite de peso conocido, utilizándose rectas diferentes en los

estados iniciales de desarrollo del fruto en los que el contenido graso es pequeño, y en la aceituna a partir del momento en que el contenido graso supera el 10 %.

Las condiciones del programa del analizador RMN que se ha utilizado en el análisis de las muestras de este trabajo fueron las siguientes:

- Pulsos, 4
- RD (s), 1.00
- Ganancia (dB), 64
- Intentos, 0
- Pasos ciclo, 0
- Gradiente estática, 0
- Modo de detección, magnitud
- Anchura de banda, estrecho
- Digital (kHz), 100

De la lectura del analizador RMN, se obtuvo el contenido graso en base húmeda (RGH) expresado en %.

El contenido graso en base seca (% RGS) se calculó mediante la expresión [IV.10]:

$$RGS = \frac{RGH}{100 - H} \quad [IV.10]$$

siendo:

- H: humedad de la muestra (%)
- RGH: contenido graso de la muestra en base húmeda (%)

#### IV.5.4 Caracterización química del Aceite de Oliva Virgen

A continuación, se detallan los parámetros analíticos en los aceites de oliva vírgenes obtenidos.

##### IV.5.4.1 Parámetros de calidad reglamentada

###### IV.5.4.1.1 *Determinación de la acidez*

Se lleva a cabo según método oficial de la Unión Europea, Reglamento (UE) N° 1348/2013, en el que se realiza una valoración ácido-base en muestra no acuosa, disuelta en una disolución de alcohol-éter etílico, empleando fenolftaleína como indicador.

Para su determinación se pesan  $5.00 \pm 0.01$  g de aceite previamente filtrado, en un matraz erlenmeyer de 250 mL. La muestra de aceite es disuelta con 50 mL de una mezcla de alcohol etílico-éter etílico (1:1, v/v), que previamente ha sido neutralizada con hidróxido potásico (KOH) 0.1 N hasta viraje débil del indicador fenolftaleína añadido, valorándose con la misma base anterior hasta que de nuevo vuelve a producirse el viraje del indicador hacia una coloración rosa persistente durante unos segundos.

La acidez libre se expresa en % de ácido oleico mediante la expresión [IV.11]:

$$\text{Grado de acidez (\%ácido oleico)} = \frac{V \cdot C \cdot 282}{10 \cdot P} \quad \text{[IV.11]}$$

donde:

- V: volumen de KOH gastado (mL)

- C: normalidad de la disolución alcalina utilizada
- P: peso de muestra de aceite filtrada (g)

#### IV.5.4.1.2 *Determinación del índice de peróxidos*

El índice de peróxidos mide el grado de oxidación primaria de un aceite, e indica el estado de conservación del mismo.

Se realiza según método oficial de la unión Europea, Reglamento (UE) Nº 1348/2013. Su determinación se realiza mediante una volumetría de oxidación-reducción, del tipo iodometría, en la que la muestra, disuelta en disolvente orgánico, es tratada con yoduro potásico en exceso, valorándose el yodo liberado con tiosulfato sódico en presencia de almidón como indicador del punto final.

Para su realización, se pesan  $1.50 \pm 0.01$  g de aceite filtrado en un matraz de 250 mL de cierre esmerilado. Se disuelve en 25 mL de una mezcla de ácido acético-cloroformo (1.5:1, v/v), se le añade 1 mL de solución sobresaturada de yoduro potásico, se agita durante un minuto y se mantiene 5 minutos en la oscuridad. Pasado este tiempo, se agregan 75 mL de agua destilada y se agita vigorosamente, valorándose con tiosulfato sódico 0,002 N y usando almidón como indicador. El punto final se reconoce cuando se produce el cambio de color de violeta a blanco sucio.

Del mismo modo, pero sin aceite, se realiza una prueba en blanco.

El resultado se expresa en miliequivalentes de oxígeno activo por kg de materia grasa, según la expresión [IV.12]:

$$\text{Indice de peróxidos (mEq O}_2\text{ kg aceite}^{-1}) = \frac{(V - V_0) \times N \times 1000}{P} \quad [\text{IV.12}]$$

siendo:

- V: volumen de tiosulfato gastados en la muestra (mL)
- V<sub>0</sub>: volumen de tiosulfato gastados en la prueba en blanco (mL)
- N: normalidad del tiosulfato sódico
- P: peso de la muestra en (g)

#### IV.5.4.1.3 *Determinación de la absorbancia en el ultravioleta a 270 nm y 232 nm*

Se realizó siguiendo el método oficial de la Unión Europea, descrito en el anexo correspondiente del Reglamento (UE) N° 1348/2013, que estima el estado de oxidación real del aceite, mediante la medida de la absorción molecular, en la zona del ultravioleta, de sistemas cromóforos como los dienos y trienos conjugados a través de la medida de la absorción específica, de una disolución de la materia grasa al 1% en ciclohexano, en una cubeta de 10 mm de paso óptico.

Para su ejecución, se pesan en una balanza analítica Denver Instrument S-234 0.1000 ± 0.0001 g de aceite filtrado en un matraz de 10 mL. Se agrega ciclohexano hasta el enrase, se tapa y se agita. Empleando ciclohexano como referencia, se llenan las cubetas, una con el disolvente solo y otra con la disolución de la muestra y se mide la extinción a 232 y 270 nm, empleando un espectrofotómetro VARIAN Cary 50 BIO UV-Vis, y expresando los resultados mediante la ecuación [IV.13]

$$K_{270,232} = \frac{L}{C \times e} \quad [\text{IV.13}]$$

siendo:

- L: lectura a 270 y 232 nm.
- C: concentración de la muestra (g/100 mL)
- E: espesor de la cubeta (cm)

#### IV.5.4.2 Composición del Aceite de Oliva Virgen

##### IV.5.4.2.1 *Ésteres metílicos de los ácidos grasos*

Se llevó a cabo según método oficial de la Unión Europea, Reglamento (UE) N° 1348/2013. Se pesaron  $0.30 \pm 0.01$  g de aceite en un matraz de balón de 50 mL, al que se le añaden 5 mL de metilato sódico 0.5 % (p/v), empleando como indicador fenolftaleína. Se llevó a ebullición con un refrigerante de reflujo abierto, manteniendo la ebullición durante 10 minutos. A continuación, se le adicionó 5 mL de metanol sulfúrico 4 % (v/v) y se mantuvo otros 10 minutos más en ebullición con reflujo.

Para evitar evaporaciones se dejó enfriar tapado, llevando el contenido a un matraz de 25 mL. Se enjuagó tres veces el matraz donde se ha llevado a cabo la metilación empleando 1 mL de heptano cada vez. Los 3 mL de heptano procedentes del lavado del matraz, se vertieron en el matraz de 25 mL.

Para facilitar la separación de fases, se le añadió salmuera hasta que el heptano alcanzó el cuello del matraz, agitando suavemente para conseguir su homogeneización, y posterior separación de los ésteres metílicos en la fase superior (Frías y cols., 1991) y la muestra a inyectar, en el cromatógrafo, se tomó directamente de la fase superior del cuello del matraz.

La determinación de la composición en ácidos grasos se realizó mediante cromatografía gaseosa, empleando un cromatógrafo de gases Perkin-Elmer Autosystem equipado con un detector de ionización de llama (FID), un inyector automático y un registrador PE-Nelson 1020s, empleándose una columna capilar BPX 70 de 50 m de longitud, 0.25 mm de diámetro interno y 0.25  $\mu\text{m}$  de grosor de película (SGE Scientific). Se utilizó como gas portador Helio y la temperatura del horno, se mantuvo en condiciones isoterma a 198 °C. La temperatura del inyector (modo split/splitless) fue de 235 °C y la del detector de 245 °C, inyectándose un volumen de 0.5  $\mu\text{L}$  de muestra y aplicando un tiempo de análisis de 40 minutos.

Los resultados se expresaron como porcentaje relativo de área de cada éster metílico respecto del total.

#### IV.5.4.2.2 *Contenido en polifenoles totales*

Para la determinación del contenido total de polifenoles, se siguió el método descrito por Vázquez-Roncero y cols. (1973). Se pesaron  $10.00 \pm 0.01$  g de aceite que se disolvieron en 50 mL de n-hexano. La extracción líquido-líquido se realizó utilizando tres volúmenes de 20 mL de metanol:agua, (60:40, v/v), repitiendo el proceso tres veces y recogiendo en un matraz aforado de 100 mL y enrasándolo con agua desionizada. Se deja reposar, con el fin de separar los restos de aceite del extracto.

En un matraz aforado de 50 mL, se agregó un volumen variable (1 - 5 mL) del extracto metanólico, 35 mL de agua desionizada y 2.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu, se agitó dejando 3 minutos para que se desarrollara la reacción y se adicionaron 5 mL de disolución de NaOH 5 % (p/v) para crear el medio básico. Se llevó a un volumen final de 50 mL con agua desionizada y se agitó para homogeneizar la mezcla.

Después de 20 minutos de tiempo de reacción, se midió la absorción a una longitud de onda de 725 nm (espectrofotómetro VARIAN Cary 50 BIO UV-Vis). Como blanco se empleó una disolución preparada de igual forma que las muestras problema sin la adición de extracto de polifenoles.

Los resultados se expresarán como  $\text{mg kg}^{-1}$  de ácido caféico.

#### IV.5.4.2.3 Medida del amargor ( $K_{225}$ )

La determinación del amargor medido como  $K_{225}$ , se realizó según el método desarrollado por Gutiérrez y cols. (1992). Se empleó una columna de extracción en fase sólida SPE C18 (Baker, J.T) con un volumen de 6 mL y un peso de fase estacionaria de 500 mg, que se activó con metanol (5 mL); posteriormente, se hizo pasar por la columna 5 mL de n-hexano, realizándose con cada columna un número máximo de cinco análisis (Gutiérrez y Perdiguero, 1992).

Se pesó  $1.00 \pm 0.01$  g de aceite que se disolvió en 5 mL de n-hexano, se vertió en la columna SPE, el vial fue lavado con n-hexano que se hizo pasar por la columna. A continuación, se pasó n-hexano a través de la columna hasta eliminar cualquier resto de grasa en la fase estacionaria.

La elución de los compuestos amargos retenidos en la columna, se llevó a cabo con una mezcla de metanol:agua desionizada (1:1, v/v), pasando volúmenes de 5 mL en cuatro ocasiones. El eluato se recogió en matraz aforado y se llevó a un volumen final de 25 mL con metanol:agua (1:1, v/v).

La medida espectrofotométrica fue realizada a 226 nm en un espectrofotómetro VARIAN Cary 50 BIO UV-Vis.

#### IV.5.4.2.4 *Estabilidad oxidativa*

En la determinación de la estabilidad oxidativa de los Aceites de Oliva Virgen se ha empleado un equipo Rancimat 743 (Methrom, Suiza) con ocho viales de capacidad.

Se pesaron  $3.00 \pm 0.01$  g de aceite a través del cual se hizo borbotear aire con un flujo de  $10-12 \text{ L h}^{-1}$ , manteniendo la muestra de aceite a  $98 \text{ }^\circ\text{C}$  (Gutiérrez Rosales, 1989) hasta alcanzar el tiempo de inducción. Cada muestra se analizó por duplicado. Los resultados se expresaron en horas de Rancimat a  $98^\circ\text{C}$ .

### **IV.5.5 Caracterización de los suelos**

Para evaluar la mejora de la calidad y fertilidad de un suelo de olivar que está recibiendo distintas enmiendas orgánicas es necesaria la realización de análisis de suelos con la finalidad de obtener algunas de sus características físico-químicas.

Los parámetros considerados para el estudio de la evolución de la calidad de los suelos se analizaron según los métodos oficiales de análisis de suelo (BOE, 1976) por el Laboratorio Agroalimentario de Atarfe (Granada).

#### IV.5.5.1. Determinación de la textura (Método de Bouyoucos)

El análisis de granulometría del suelo, basado en el Método de Bouyoucos, permite conocer la distribución de partículas minerales de la fracción tierra fina según diferentes tamaños. Se trata de la expresión sintética de la composición del mismo según las proporciones de arena, limo y arcilla

que van a condicionar de forma directa y estrechamente el funcionamiento de los horizontes de un suelo.

Los métodos más empleados se basan en la diferente velocidad de sedimentación que presentan las distintas fracciones del suelo, así el método empleado es el Método Densiométrico o Densímetro de Bouyucos.

Para el estudio de la textura se toman  $50.00 \pm 0.01$  g de suelo secado al aire y tamizado en tamiz de 2 mm. Se aplica agua oxigenada al 6% para eliminar la materia orgánica que presente, agitando con una varilla para que la espuma que se produce no derrame el contenido del vaso. En general, bastan con tres o cuatro adiciones para conseguir la oxidación total de las sustancias húmicas, de forma que se separarán las partículas cementadas. Posteriormente se lleva la muestra a sequedad total y a continuación, se procede a su dispersión introduciéndolo en un bote de agitación añadiéndole 25 mL de disolución de hexametáfosfato sódico al 10 % y 300 mL de agua destilada, agitando durante 20 minutos hasta conseguir una completa homogeneización de la muestra.

El contenido del bote de agitación, se pasa a una probeta de 1000 mL arrastrando con el frasco lavador todas las partículas y se enrasa; se agita para su homogeneización e introduce el densímetro, realizando una primera lectura a los 40 segundos y una segunda a las dos horas.

El contenido de las distintas fracciones de suelo se calcula mediante las expresiones [IV.14 y IV.15]:

$$\% \text{Limo} + \text{Arcilla} = \frac{c + (t - 20) \times 0,36}{S - MO} \times 100 \quad [\text{IV.14}]$$

$$\% \text{ Arcilla} = \frac{c' + (t' - 20) \times 0,36}{S - MO} \times 100 \quad [\text{IV.15}]$$

siendo:

- c: lectura en densímetro de Bouyucos a los 40 segundos
- c': lectura en densímetro de Bouyucos a las 2 horas
- t y t': temperatura de la suspensión (°C)
- S: peso del suelo (g)
- 0.36, factor de corrección de la temperatura con medida diferente a los 20°C

#### IV.5.5.2 Determinación del pH

Para el análisis del pH, se pesaron 10.00± 0.01 g de muestra seca y molida en un frasco de plástico provisto de tapón y se le añadió 20 mL de agua destilada, tras agitación enérgica durante 30 minutos, se introdujo en la disolución la sonda del pHmetro, previamente calibrado hasta que la lectura se estabilizó.

#### IV.5.5.3 Determinación del contenido de materia orgánica oxidable

Para la determinación de la materia orgánica se emplea el método Walkley-Black. Éste se fundamenta en el ataque al carbono presente en la materia orgánica el cual se oxida mediante solución de dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado, el exceso de ácido crómico no reducido por la materia orgánica, es determinado por titulación frente al sulfato ferroso amoniacal, usando difenilamina como indicador.

Para determinar el contenido de materia orgánica, se comienza introduciendo en un vaso de precipitado de 250 mL 0.40 ± 0.01 g de suelo, se adiciona 10 mL de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 1N y 20 mL de ácido sulfúrico concentrado al 96%, agitando cuidadosamente y dejando enfriar. Se añade 130 mL de agua destilada, una vez frío, se añaden 10 mL de ácido fosfórico al 85% y 1 mL de difenilánima, como indicador, lo que provocará una coloración violeta-negro. Finalmente, se valora con sulfato ferroso amoniacal 0.5 N hasta la aparición de un color verde brillante, anotando el volumen consumido por la muestra.

$$\% \text{ MO} = \frac{V_1 \times N_1 - V_2 \times N_2}{\text{g de muestra}} \times 100 \times \frac{12}{4000} \times \frac{1,724}{0,74} \quad [\text{IV.18}]$$

siendo:

- V<sub>1</sub>: volumen de dicromato (mL)
- N<sub>1</sub>: normalidad del dicromato
- V<sub>2</sub>: volumen de la sal de Mohr (mL)
- N<sub>2</sub>: normalidad de la sal de Mohr
- 12/4000: meq del carbono.
- 1.724: factor correspondiente a la transformación del carbón a materia orgánica
- 0.74: factor de recuperación

#### IV.5.5.4 Determinación del Nitrógeno total

El nitrógeno es el principal macroelemento que las plantas requieren para su crecimiento y desarrollo. Interviene en diferentes procesos metabólicos y forma parte de numerosos biomoléculas. En los suelos, la mayor parte se presenta en forma orgánica, existiendo cantidades relativamente pequeñas en

forma de compuestos de amonio, siendo las principales fuentes de nitrógeno la atmósfera y la materia orgánica.

Para la determinación del nitrógeno total en las muestras de suelo se emplea el método Kjeldahl (Bremner, 1965).

Se pesaron  $0.20 \pm 0.01$  g de muestra, seca y molida, junto con  $1.50 \pm 0.01$  g de catalizador, compuesto por  $\text{Se}:\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}:\text{K}_2\text{SO}_4$  (1:4:16 p/p). A continuación, se llevó a cabo la digestión ácida en un bloque digestor (Büchi Digestión UnitK-435) durante 30 minutos a una temperatura superior a la de ebullición del  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (96%)  $T=270$  °C, transformando el nitrógeno en sulfato amónico. Para ello se introdujo la muestra junto al catalizador en un tubo digestor de politetrafluoroetileno, añadiéndole 7 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (96%). Una vez finalizada la digestión, se dejaron enfriar y la destilación se llevó a cabo en un analizador semiautomático Büchi B324.

El nitrógeno destilado, se recogió sobre un matraz erlenmeyer de 250 mL en presencia del indicador mixto 5 de Merck, formado por mezcla de rojo de metilo y verde de bromocresol, disolución con carácter ácido por la adición automática de 50 mL de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (20%, p/v). Una vez finalizado el proceso de destilación, el nitrógeno recogido sobre el matraz erlenmeyer se valoró con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.1 N, observándose el punto de equivalencia en el cambio de coloración verde (medio básico) a color violeta (medio ácido). La concentración de nitrógeno se calculó mediante la expresión [IV.19] expresando los resultados como % sobre peso seco.

$$\% \text{N} = \frac{V \times C_x \times P_e}{10 \times P} \quad [\text{IV.19}]$$

siendo:

- N: concentración de nitrógeno en la muestra en (%)
- V: volumen de ácido sulfúrico (0.1 N) gastado en la valoración (mL)
- C: concentración del ácido sulfúrico (0.1 N)
- Pe: peso equivalente del nitrógeno (14 g eq<sup>-1</sup>)
- P: peso de muestra a analizar (g)

#### IV.5.5.5. Determinación del Fosforo asimilable

El fósforo es el segundo elemento de importancia para las funciones nutricionales de las plantas, está presente en diversos compuestos que forman parte de los procesos de transferencia de energía: fotosíntesis, conversión de carbohidratos, la glucólisis, grasas y aminoácidos entre otros.

En el suelo, generalmente, el fósforo se encuentra en forma orgánica e inorgánica o combinado con elementos como: hierro, aluminio, flúor y calcio entre otros, tendiendo a formar compuestos pocos o insolubles en el agua, influyendo el pH, en la disponibilidad del fósforo inorgánico, disminuyendo en suelos ácidos.

El método empleado para la determinación del fósforo asimilable es el *Método de extracción Olsen*. Forma un precipitado de color amarillo, que se origina cuando una muestra que contiene fósforo es tratada con molibdato de amonio, el precipitado es reducido con ácido ascórbico a azul molibdofosfórico. La concentración de fósforo para las distintas muestras se determina colorimétricamente midiéndose la absorbancia a 660 nm mediante el uso de un espectrofotómetro VARIAN Cary 50 BIO UV-Vis.

Para determinar el fosforo asimilable a 1 gramo de muestra, se le adiciona 20 mL de bicarbonato, se agita por tres minutos y se filtra. Posteriormente, se pipetea 2 mL del destilado, colocando en el tubo klerk; se

añaden 5 mL de agua destilada, 2 mL de molibdato de amonio y 1 mL de cloruro estañoso. Finalmente, se agita la solución y se lee en el fotoclorímetro después de transcurrir diez minutos después de la adición de la solución de  $\text{Cl}_2\text{Sn}$ , empleando para el cálculo de la concentración de fósforo la ecuación [IV.20].

$$\text{ppm} = \frac{\text{ppm P en solución} \times \text{ml solución extractora} \times \text{ml totales}}{\text{g muestra} \times \text{ml filtrado}} \quad [\text{IV.20}]$$

#### IV.5.5.6. Determinación del Potasio asimilable

La determinación de la fracción asimilable del K se basa en la extracción del mismo del suelo mediante acetato amónico.

Se toman  $5.00 \pm 0.01$  g de suelo y se le añade disolución extractora de acetato amónico 1 N, tomando una relación de volumen de 1/10, y se agita mecánicamente mediante agitador rotativo durante 30 minutos. Una vez agitado se filtra la disolución obtenida sobre papel de filtro en un frasco de plástico de 100 mL.

La medida de potasio se realiza mediante un Espectrofotómetro de Absorción Atómica con sistema de atomización de llama, iCE 300 series (Thermo, UK), en las condiciones descritas en Tabla IV.6. Las medidas se llevaron a cabo en emisión en modo continuo, con llama de aire-acetileno, en la que el aire actúa como oxidante a un flujo de  $50 \text{ mL min}^{-1}$ , y el acetileno como combustible a  $20 \text{ mL min}^{-1}$  alcanzando una temperatura de ionización de  $2600^\circ\text{C}$ , siendo la lámpara de cátodo hueco, específica para el elemento a analizar (Hollow Cathode Lamp).

Previamente a la lectura de las muestras, se realizaron una serie de operaciones en el equipo para conseguir la máxima precisión y absorbancia como eran: alineación de la lámpara y mechero, tanto horizontal como verticalmente, y ajuste de la longitud de onda de medida. En la Tabla IV.6 se recogen los valores de longitud de onda a los cuales el potasio presenta su máximo de energía, así como la energía máxima de la lámpara para la cual emite radiación y que posteriormente pasará por una rendija cuya anchura será característica del potasio. La función de esta rendija, es conseguir la franja de radiación emitida por la lámpara de cátodo hueco en la que exista el menor contenido de absorciones inespecíficas que interfieren en la medida a realizar, disminuyendo la intensidad de absorción del potasio.

Para la medida de potasio se empleó una dilución 1/100 (v/v) de la disolución inicial filtrada y guardada.

Como blanco se empleó HCl al 2%. Para determinar la concentración de potasio, se realizaban las rectas de calibrado antes de comenzar el análisis y los patrones utilizados en la recta de calibrado, se recogen en la Tabla IV.6. Para la preparación de los patrones se partía de una solución madre de 1000 mg kg<sup>-1</sup>, siendo disoluciones de los nitratos correspondientes en ácido nítrico 0.5 M de calidad Merck. Los resultados se expresan en mg kg<sup>-1</sup>.

## **IV.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Los datos experimentales fueron sometidos a un análisis unidireccional de la varianza (ANOVA) para un diseño experimental completamente al azar. La diferencia entre las medias es estableciendo un test LSD para un nivel de significación de  $p < 0.05$ , utilizando el programa Statistix 8 para Windows.



## **V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**



En este apartado se van a exponer y discutir los resultados obtenidos en:

- Estudio y control del proceso de compostaje de alperujo
- Caracterización físico-química de los compost de alperujo
- Influencia del tipo de fertilización, inorgánica y orgánica, sobre:
  - Estado nutricional del olivo
  - Características pomológicas del fruto
  - Calidad y composición del Aceite de Oliva Virgen
  - Composición físico-química del suelo

## **V.1. ESTADO Y CONTROL DEL PROCESO DE COMPOSTAJE**

A continuación, se muestran los resultados obtenidos referidos al proceso de compostaje

### **V.1.1. Caracterización las de materias primas**

Como se indicó en el apartado IV.2.1, las materias primas de las que se parte para la preparación de los dos tipos de compost empleados, compost I y compost II, son:

- Alperujo fresco (AF)
- Hoja de almazara (H)
- Estiércol de oveja (EO)
- Restos de poda (Rp)

En la Tabla V.1 se detallan el valor medio de las características de las mismas para los años de ensayo, parámetros a tener en cuenta para poder

realizar el cálculo de las proporciones de cada materia prima en la mezcla inicial del compost a elaborar.

**Tabla V.1.** Caracterización de las materias primas

	<i>Alperujo</i>	<i>Estiércol de oveja</i>	<i>Hoja</i>
<b>C (%)</b>	51.67±4.45	32.59±9.11	42.44±8.20
<b>N (%)*</b>	1.20±0.19	1.82±0.46	1.21±0.20
<b>Relación C/N</b>	43.25±5.94	17.84±2.14	35.45±8.25
<b>Humedad</b>	57.98±3.37	35.76±3.74	3.96±2.05

\* Resultados expresados sobre materia seca

Resultados expresados como valor medio de los años en estudio ± error

Como se puede apreciar, el alperujo presentó una relación C/N alta, encontrándose entre los valores descritos en bibliografía, 29.3-59.7 (Roig y cols. 2006). En cuanto a la caracterización de las hojas, los resultados obtenidos fueron similares al alperujo, por esta circunstancia es necesario, el uso de una fuente de nitrógeno externa para elevar la relación C/N.

El estiércol de oveja es rico en nitrógeno lo que conlleva una relación C/N menor. En este trabajo el contenido en nitrógeno fue menor de la media establecida para el estiércol de oveja, probablemente debido a que parte del mismo se perdió en forma de amonio, por las condiciones de madurez del propio estiércol y una elevada proporción de cama del animal en su composición

### V.1.2. Elaboración del compost de alperujo

Tal y como se definió en el apartado IV.2.2.1, la composición de los dos tipos de compost empleados para los ensayos, compost I y compost II, estuvo

formada por las proporciones de materias primas que se recogen en la Tabla V.2. Para un correcto proceso de compostaje en el que se aproveche y retenga la mayor parte del carbono y del nitrógeno, la relación C/N del material de partida debe ser la adecuada. Los microorganismos utilizan generalmente 30 partes de carbono por cada una de nitrógeno; por esta razón se considera que el intervalo de C/N, teóricamente óptimo para el compostaje de un producto, se halla entre 25-35 (Jhorar y cols., 1991).

La mezcla y homogeneización del alperujo con los co-sustratos de compostaje se realizó con la ayuda de una pala mecánica o retroexcavadora tal y como se observa en la Figura IV.14. Las mezclas se dispusieron para su compostaje en pilas trapezoidales de unos 5 - 6 toneladas de peso fresco cada una y con una altura no superior a 1.5 m, para evitar su excesiva compactación y evitar fermentaciones no aeróbicas.

**Tabla V.2.** Composición de los distintos compost

	COMPOST I (AF + EO + Rp)	COMPOST II (AF + H + Urea)
<i>Alperujo fresco (AF)</i>	20 %	71 %
<i>Estiércol de oveja (EO)</i>	60 %	
<i>Restos de poda (Rp)</i>	20 %	
<i>Hoja de almazara (H)</i>		29 %
<i>Urea</i>		9 kg t <sup>-1</sup>

Una vez elaboradas las pilas, se efectuaron volteos mecánicos con ayuda de la pala mecánica durante el proceso de compostaje para permitir la correcta homogeneización y oxigenación de los sustratos. Los volteos mecánicos se efectuaron cada quince días durante la fase bio-oxidativa o de fermentación, fase más activa del proceso, suprimiéndose estos volteos una vez alcanzada la fase de maduración.

### **V.1.3. Control del proceso de compostaje**

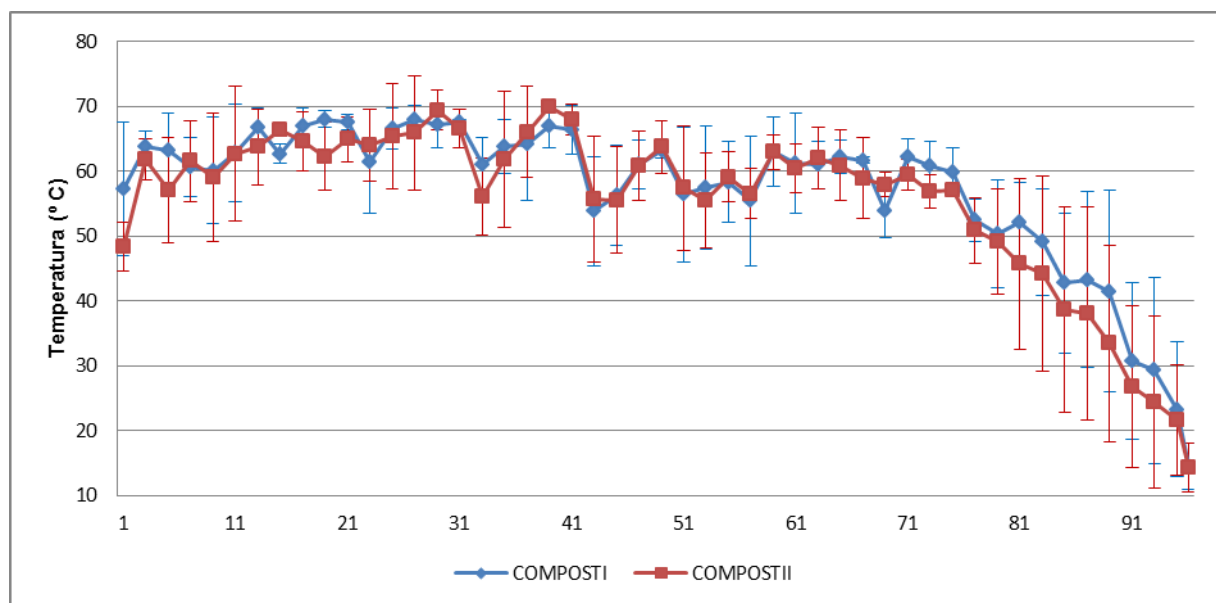
Se hizo un seguimiento del proceso de compostaje in situ con la medida de temperatura tres veces por semana en distintos puntos de las pilas, para que la medida fuera lo más representativa posible, a una profundidad de un metro alcanzando la zona central de la misma y a lo largo de la fase de fermentación o fase bio-oxidativa. Una vez alcanzada la fase de maduración se realizó una vez por semana. La finalidad del control de la temperatura en las pilas de compost fue la de evaluar las necesidades de volteo, ya que un descenso de la misma indicaba una disminución en la actividad microbiana a consecuencia de la falta de oxígeno y/o la falta de humedad y/o el exceso de humedad en las mismas.

Así mismo, coincidiendo con los sucesivos volteos de las pilas se tomaron muestras mediante pala manual de la zona central de la pila para proceder al cálculo de la humedad. Para ello se tomaron 4 sub-muestras cada vez, que posteriormente fueron homogenizadas conjuntamente en un recipiente, tomando la cantidad necesaria para la determinación de la humedad descrita en IV.3.3.

#### **V.1.3.1 Temperatura**

El control de temperatura es esencial en el proceso de compostaje, ya que es un parámetro que está relacionado directamente con la actividad microbiana del mismo.

La Figura V.1 muestra la evolución de temperatura en el compost I y compost II para los cinco años de estudio.



**Fig. V.1.** Evolución de la temperatura promedio a lo largo del proceso de compostaje para los cinco años de ensayo.

Valor medio  $\pm$  error estándar (n=5)

La evolución de la temperatura de las dos mezclas siguió el patrón típico para este tipo de material a lo largo de los cinco años de estudio, que se caracterizó por altas temperaturas y un largo proceso de compostaje hasta la 30 o 35 semanas (Cayuela y cols., 2006; Albuquerque y cols., 2009; Fernández-Hernández y cols., 2014). La temperatura de las dos pilas aumentó rápidamente hasta valores de 50-70 °C (Fig. V.1). Estas altas temperaturas se mantuvieron durante 10 semanas aproximadamente y luego disminuyó ligeramente a 40-50 °C por la semana 16, lo que indicó el final de la fase termófila. Durante la maduración, las temperaturas eran generalmente por debajo de 40 °C y se redujo a valores finales cerca de aire ambiente (alrededor de 30 °C) después de 26 semanas de compostaje.

Como se aprecia en la evolución de la temperatura de ambos compost es muy similar lo que hace pensar que las proporciones de materias primas son correctas. Estas altas temperaturas fueron debidas a que los restos de poda y

hoja contenían una gran cantidad de materia orgánica, de más difícil degradación en el caso de restos de poda. Ambos agentes estructurantes, restos de poda y hojas, poseen compuestos más solubles a disposición de los microorganismos mesófilos, responsables del aumento de temperatura en la fase bio-oxidativa del compost; por lo tanto estas altas temperaturas fueron ocasionadas por el material de partida (García de la Fuente, 2011).

En los compost con urea como fuente de nitrógeno como ocurre en el compost II, tuvo lugar en las primeras etapas del proceso una rápida degradación de la materia orgánica de los compuestos. Esta alta disponibilidad de nitrógeno inicial, suministrado por la hidrólisis de la urea, tiene como consecuencia el desarrollo de una población microbiana con alta actividad metabólica (García-Gómez y cols., 2003) asociado a un aumento importante de la temperatura en los momentos iniciales del proceso.

Se ha de decir, que el aumento y evolución de la temperatura también es función del dimensionamiento de la pila y de la transferencia de calor dentro de la misma (Serramiá, 2010).

Otro detalle a discutir son los descensos acusados que se observan en las temperaturas debidos a una disminución de la actividad microbiana en las pilas por falta de humedad y aireación, lo que justificó en gran medida la necesidad del volteo, ya que como se observa, después de los volteos realizados quincenalmente, se produjo un aumento progresivo de la temperatura.

Una vez que la temperatura alcanzada después de los volteos no aumentaba, sino que se mantenía o disminuía, comenzaba el periodo de maduración del compost.

### V.1.3.2. Humedad

Al igual que la temperatura, el seguimiento de la humedad fue de vital importancia en el proceso de compostaje. En la Figura V.2 se muestra la evolución promedio de este parámetro en los cinco años de ensayo.

La medida de la humedad se realizó cada quince días coincidiendo con el volteo, de forma que se llevaron a cabo los riegos necesarios siempre que la humedad de las pilas en el momento del volteo fuera inferior a los valores óptimos de proceso, comprendidos entre el 20-40 %. Por ello cuando se realizaba el volteo, se regaba la pila de forma homogénea para mantener los niveles de humedad en su óptimo, por esto mismo a lo largo del proceso hay picos crecientes de humedad debidos al riego, ejemplo de ello se puede apreciar en la Fig. V.2 para el compost II.

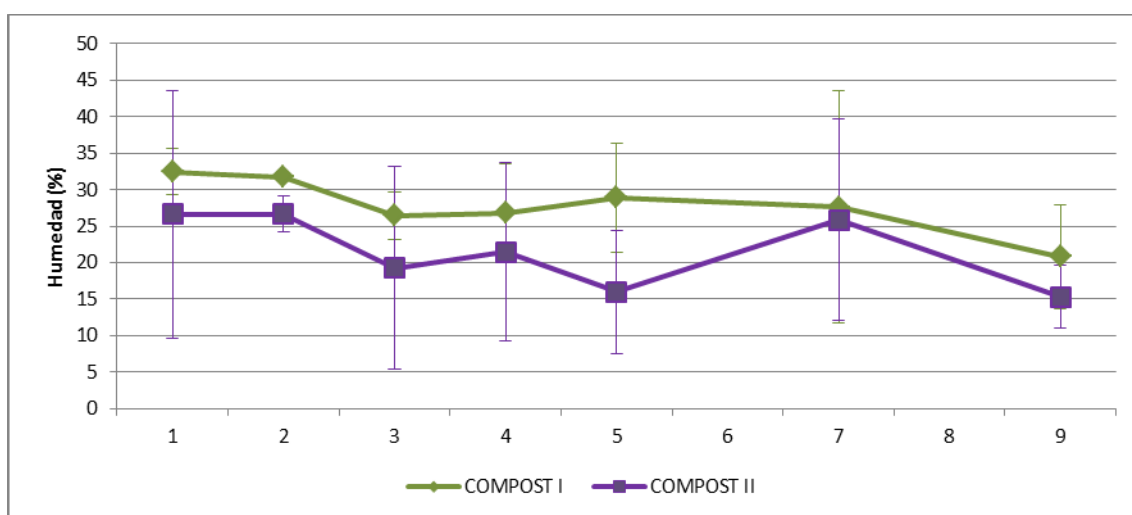
La presencia de agua en el compost es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos implicados en el proceso ya que ésta es el medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células microbianas y de los productos de deshecho de las reacciones que tienen lugar en el proceso.

La evolución de la humedad en las pilas de compost, compost I y compost II, a lo largo del proceso fue adecuada para que tuviera lugar de forma correcta.

Como se aprecia, la evolución de la humedad decrecía conforme avanzaba el proceso, excepto para el compost II al final del mismo debido a que los materiales de partida contenían muy poca humedad por lo que se tuvo que realizar un ajuste de la misma hasta llegar a valores adecuados a lo largo de los distintos volteos realizados. La humedad en las pilas al inicio del proceso

presentaban valores  $\geq 20\%$  para el compost I y el compost II siendo mayores para el compost I ya que las materias primas al inicio presentaban una humedad mayor (Tabla V.1). Así los valores de la humedad al final del proceso para el compost I y compost II fueron próximos al 20%.

Ambos compost evolucionaron con la misma tendencia a lo largo del proceso, pero el compost II lo hizo a menor humedad que el compost I, debido a la composición del mismo, ya que la hoja, al ser un material estructurante más poroso, dio paso a una mayor actividad microbiológica, por poseer una mayor aireación, aumentó la temperatura y por consecuencia, una mayor evaporación, la humedad disminuyó.



**Fig. V.2.** Evolución de la humedad promedio a lo largo del proceso de compostaje para los cinco años de ensayo.

Valor medio  $\pm$  error estándar (n=5)

Durante los cinco años de ensayo los riegos promedios aplicados a cada uno de los compost fueron de  $1774 \pm 1255$  L para el compost I y de  $2485 \pm 2239$  L en el compost II. Así pues, el compost I requirió un 40% menos de consumo de agua que el compost II pudiendo ser debido a que éste último enmendante

orgánico presentaba en su composición hoja procedente de la limpieza de la aceituna que le confiere una mayor porosidad al mismo.



## **V.2. CARACTERIZACION FÍSICO-QUÍMICA DE LAS ENMIENDAS ORGÁNICAS**

La aplicación de compost a suelos de cultivo es una de las principales alternativas utilizadas con el fin de elevar y mantener el contenido en materia orgánica del suelo y generar fertilidad sostenible en los agroecosistemas, debido tanto al aprovechamiento de sus nutrientes por los cultivos como a una serie de efectos beneficiosos sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Ingelmo y Rubio, 2008; Moral y Muro, 2008).

Los efectos de las enmiendas orgánicas dependen de las propiedades del medio receptor así como del tipo de material orgánico utilizado, su estabilidad y madurez, y la cantidad aplicada, entre otros factores. En este contexto, cada compost posee unas características específicas y éstas influyen de manera diferencial en las propiedades del suelo y el desarrollo del cultivo y, por consiguiente, en la producción y la calidad de ésta (Courtney y Mullen, 2008; Roe, 2005). Por tanto, el uso de materiales orgánicos como mejoradores del suelo requiere el análisis previo de cada tipo de enmienda (Ortiz, 2001).

Por otra parte, el uso de compost como enmiendas orgánicas en Agricultura está regulado básicamente por el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, que especifica las características técnicas y los criterios requeridos para que su utilización no produzca efectos nocivos desde el punto de vista sanitario ni medioambiental. Este Real Decreto, incluye el “Compost de alperujo” en la categoría 09 del grupo 6 “Enmiendas orgánicas” y especifica además los requisitos mínimos que éste debe cumplir, los cuales se han incluido en la Tabla V.3.

Respecto a las propiedades de los dos compost de alperujo objeto de estudio (compost I y compost II), resulta de gran interés que éstos reúnan

determinadas características cuando vayan a utilizarse como enmiendas del suelo o como abonos orgánicos, tales como ser biológicamente estables, no inmovilizar nitrógeno, estar libres de fitotoxinas y patógenos, no ser excesivamente salinos, etc. Sin embargo, la cantidad aplicada a las dosis habituales (10 - 40 T ha<sup>-1</sup>) representa una concentración muy baja de compost en la rizosfera, por efecto de dilución al mezclarse éste con la capa arable, considerándose, además, que su influencia se ve amortiguada por el gran poder tampón de los suelos agrícolas (Carmona y Abad, 2008). Todo esto permite que las exigencias de calidad relativas a sus propiedades físicas, químicas o biológicas en su aplicación como mejoradores de los suelos cultivados sean menores que en su uso como sustratos o componentes de sustratos de cultivo (Masaguer y Benito, 2008).

Tabla V.3. Requisitos que deben cumplir los compost de alperujo, especificados en el Anexo I del Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.

---

#### Requisito

---

Humedad máxima 40%

Materia orgánica total  $\geq$  45% (mf)

Relación C/N < 20

Contenido máximo en polifenoles 0.8%

No podrán contener impurezas ni inertes de ningún tipo tales como piedras, gravas, metales, vidrios o plásticos

---

mf: materia fresca

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la caracterización de los dos compost y el alperujo fresco objeto de esta Tesis Doctoral.

### V.2.1 Caracterización físico-química de los compost

En relación con las características de los compost, en la Tabla V.4 se presentan los resultados obtenidos para los compost I y II así como el intervalo de variación de diferentes compost a base de alperujo estudiados por diversos autores. El alperujo fue mezclado con distintos materiales que actúan como agentes estructurantes, tales como residuos del desmotado del algodón, hojas de olivo, raspón de uva, estiércol fresco de vaca, estiércol de oveja, etc. Al mismo tiempo también aparecen los niveles de elementos minerales según la normativa vigente (Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes).

En contraposición con las enmiendas orgánicas convencionales, como los estiércoles, que se mineralizan más o menos rápidamente, los compost efectúan una acción fertilizante a lo largo de un período relativamente largo, por lo que generalmente suelen considerarse fertilizantes de liberación lenta (Moral y Muro, 2008). Entre los parámetros que pueden utilizarse para evaluar la aptitud de un compost como mejorador del suelo, deben considerarse aquellos que determinan su calidad química, tales como su contenido en materia orgánica y la madurez/estabilidad de ésta, además de su concentración en fitonutrientes y, finalmente, su contenido en elementos potencialmente tóxicos o contaminantes (Soliva, 2001; Masaguer y Benito, 2008).

El contenido de humedad es un parámetro relevante a la hora de manejar el compost y de aplicarlo en campo (Moral y Muro, 2008), y depende fundamentalmente de su origen, del desarrollo del proceso de compostaje, y de las condiciones de almacenamiento (Masaguer y Benito, 2008). El contenido en agua de los compost I y II fue inferior al máximo tolerado por la legislación vigente (40%), lo que es beneficioso ya que valores de humedad superiores a

dicho umbral incrementan el coste del transporte y, adicionalmente, dificultan su aplicación (Moral y Muro, 2008).

**Tabla V.4.** Caracterización físico-química del compost I y compost II

Resultados expresados como valor medio  $\pm$  error estándar para n=3

	<i>Compost I</i>	<i>Compost II</i>	<b>**Rango de variación</b>	<b>NORMATIVA RD 506/2013</b>
<b>Humedad (%)</b>	10.10 $\pm$ 2.12	6.90 $\pm$ 1.27		Max 40.00
<b>pH</b>	8.90 $\pm$ 0.45	7.90 $\pm$ 0.40	7.42-9.37	
<b>CE (dS m<sup>-1</sup>)</b>	3.70 $\pm$ 1.76	5.00 $\pm$ 2.47	1.95-4.81	
<b>MO (g kg<sup>-1</sup>)</b>	593 $\pm$ 51	392 $\pm$ 97	408-912	30.00
<b>COT (g kg<sup>-1</sup>)</b>	324 $\pm$ 18	227 $\pm$ 56	254-435	
<b>Polifenoles Totales (%)</b>	0.16 $\pm$ 0.16	0.13 $\pm$ 0.09		Max 0.80%
<b>C/N</b>	19.20 $\pm$ 3.46	17.30 $\pm$ 1.18	14.60-22.07	
<b>N (%)*</b>	1.80 $\pm$ 0.21	1.30 $\pm$ 0.39	1.74-2.63	1.00
<b>P (%)*</b>	0.40 $\pm$ 0.06	0.10 $\pm$ 0.05	0.14-0.24	1.00
<b>K (%)*</b>	1.30 $\pm$ 0.07	0.90 $\pm$ 0.44	1.30-4.27	1.00
<b>Ca (%)*</b>	16.00 $\pm$ 6.36	16.80 $\pm$ 8.02	0.90-2.97	0.90
<b>Mg (%)*</b>	1.90 $\pm$ 0.49	0.80 $\pm$ 0.33	0.19-0.57	0.90
<b>Na (%)*</b>	0.40 $\pm$ 0.00	0.30 $\pm$ 0.08	0.10-0.40	0.90
<b>Fe (g kg<sup>-1</sup>)*</b>	2.10 $\pm$ 0.35	7.20 $\pm$ 4.73	0.42-7.70	
<b>Cu (mg kg<sup>-1</sup>)*</b>	119 $\pm$ 33	102 $\pm$ 118	21-41	
<b>Zn (mg kg<sup>-1</sup>)*</b>	48.00 $\pm$ 5.66	66.00 $\pm$ 43.67	38-138	200.00
<b>Mn (mg kg<sup>-1</sup>)*</b>	120 $\pm$ 21	237 $\pm$ 71	34-98	

\* Resultados expresados sobre materia seca.

\*\* Intervalos de variación según Albuquerque y cols., 2006a, 2006b, 2006c, 2007, 2009; Altieri y Esposito, 2010; Cayuela, 2004; Cayuela y cols., 2008a; Cegarra y cols., 2005b, 2006; Walker y Bernal, 2008b.

El pH de los compost maduros obtenidos (Tabla V.4) fue ligeramente superior al intervalo considerado compatible por Zucconi y de Bertoldi, (1987), con el crecimiento de las plantas (5.5-8.0), observándose valores ligeramente alcalinos siendo mayores para el compost I, situándose dentro del intervalo normal de variación. La conductividad eléctrica fue menor para el caso del compost I que para el compost II aunque sin ser significativo, el cual presentaba un valor algo superior al intervalo observado por distintos autores donde la conductividad eléctrica del compost maduro fue inferior a 8 dS cm<sup>-1</sup>, por lo que no supuso riesgo de salinización en suelo tras aplicación directa (Navarro, 1990; Paulet, 2000).

El contenido en materia orgánica total (Tabla V.4) en el compost I fue superior significativamente al compost II, hecho que se observó igualmente para el contenido en carbono orgánico total y nitrógeno total. En cuanto al contenido de nitrógeno, en el compost I fue mayor que en el compost II, tratándose de diferencias no significativas y pudiendo ser debido a una pérdida de nitrógeno por la mayor liberación de amonio cuando se utiliza la urea como fuente de nitrógeno, como es el caso del compost II. Los valores de relación C/N para el compost I y II de 17.3 y 19.2, respectivamente, claramente superiores a 12, valor sugerido por Bernal y cols. (1998), como representativo de materiales suficientemente maduros e indicador de buena estabilidad. El valor de la relación C/N se considera como índice de la disponibilidad por los cultivos del nitrógeno contenido en los productos orgánicos, en este sentido Jakse y Mihelic, (1999), indicaron que una relación C/N de 17 produjo la inmovilización en los cultivos de espinaca y acelga, mientras que con una relación C/N menor de 15 no se alteró la actividad microbiana del suelo (Allison, 1973). El valor de la relación C/N para estos compost de alperujo fue algo superior que para otro tipo de compost debido a que presentaban un mayor contenido de lignina, compuesto resistente a la biodegradación y que pudo incrementar el valor de la relación C/N. Además, tanto el compost I como

el compost II cumplieron los requerimientos especificados por la legislación vigente, que indica que los compost de alperujo deben poseer un contenido en materia orgánica total superior al 45% sobre materia fresca y una relación C/N inferior a 20 (ver la Tabla V.3).

En cuanto al contenido en macro y micronutrientes, en líneas generales, se aprecia como el compost I presentó mayor contenido en casi todos los nutrientes que el compost II, a excepción del calcio, hierro, zinc y manganeso. Esto pudo ser debido a la mayor riqueza de los materiales de partida ya que el compost I estaba elaborado con estiércol de oveja como fuente de nitrógeno y los estiércoles presentan mayor contenido de estos elementos debido a la alimentación animal que el caso del alperujo, cosa que no sucede en el compost II que empleaba urea para tal fin.

Los valores de fósforo, calcio, magnesio, cobre y manganeso fueron muy elevados para ambos compost, alcanzando valores por encima de los compost de alperujo caracterizados por otros autores, lo que podría explicarse por la alta variabilidad registrada en la composición del alperujo fresco, especialmente en calcio, magnesio, hierro y manganeso (Alburquerque y cols., 2004). El contenido de potasio fue elevado para el compost I, aunque para el compost II se obtuvieron valores más bajos aunque dentro de los límites establecidos por Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. El manganeso y el calcio se observa que el contenido fue mayor para el compost II, esto se pudo deber a un mayor contenido presente en la hoja de olivo que en el estiércol de oveja y la descomposición de esta a lo largo del proceso provocaba el incremento del contenido en estos nutrientes. Respecto a la riqueza en nutrientes recogida en el Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes, merece destacarse que los compost I y II cumplieron los requerimientos especificados en dicho Real Decreto (expresados en porcentaje sobre materia fresca).

El contenido de polifenoles en las enmiendas orgánicas, compuestos a los que se le atribuyen propiedades antimicrobianas y fitotóxicas (Alburquerque y cols., 2006b), fue baja tanto para el compost I (0.16%), así como para el compost II (0.13%) no superando los valores habituales en compost de alperujo, ni así como el límite de 8 g Kg<sup>-1</sup> (0.8%) que establece la legislación vigente (Tabla V.3.). El descenso de los polifenoles durante el proceso de compostaje está relacionado con su función como precursores de la síntesis de sustancias húmicas (Ait Baddi, G. y cols., 2009), y debido a la mayor degradación de la fracción lignocelulósica (Serramiá y cols., 2010; Fernández-Hernández y cols., 2011).

Los compuestos orgánicos empleados como abonos y enmendantes de suelo en esta Tesis Doctoral, mostraron una composición mineral y una propiedades físico-químicas similares a otros abonos orgánicos obtenidos a partir de diferentes subproductos agroindustriales que se utilizan comúnmente como fertilizantes orgánicos (Fernández-Hernández y cols., 2014).

### **V.2.2. Caracterización del alperujo fresco**

En la Tabla V.5 se detalla la caracterización del alperujo fresco empleado en los campos de ensayo como aporte.

**Tabla V.5.** Caracterización físico-química media de los años de estudio del alperujo fresco

	<i>Alperujo Fresco</i>	<i>**Rango de variación</i>
<i>Humedad (%)</i>	49.90±20.07	49.60-71.40
<i>pH</i>	5.70±0.70	4.90-6.80
<i>CE (dS m<sup>-1</sup>)</i>	3.20±0.40	1.20-5.20
<i>MO (g kg<sup>-1</sup>)</i>	780±253	603-985
<i>COT (g kg<sup>-1</sup>)</i>	452±147	254-435
<i>Polifenoles Totales (%)</i>	1.53±0.37	0.50-2.40
<i>C/N</i>	40.10±11.45	29.30-59.70
<i>N (%)*</i>	1.20±0.11	0.97-1.85
<i>P (%)*</i>	0.10±0.02	0.03-0.15
<i>K (%)*</i>	1.10±0.27	0.63-2.90
<i>Ca (%)*</i>	0.40±0.16	0.23-1.20
<i>Mg (%)*</i>	0.20±0.15	0.05-0.17
<i>Fe (g kg<sup>-1</sup>)*</i>	2.40±3.21	0.53-2.60
<i>Cu (mg kg<sup>-1</sup>)*</i>	26.00±9.41	13-138
<i>Zn (mg kg<sup>-1</sup>)*</i>	18.00±13.29	10-27
<i>Mn (mg kg<sup>-1</sup>)*</i>	59.00±89.70	13-67

\* Resultados expresados sobre materia seca.

\*\* Intervalos de variación según Roig y cols., 2006.

CE: conductividad eléctrica; MO: materia orgánica; COT: carbono orgánico total.

El alperujo fresco presentó una humedad que hacía difícil su aplicación directa a campo y un valor de pH característico que se atribuye a la presencia de compuestos que le confieren acidez al residuo, como son los ácidos

orgánicos de bajo peso molecular, lípidos y fenoles, que se ven reducidos durante el proceso de compostaje (Serramiá y cols., 2010). La conductividad eléctrica (CE) ( $3.20 \text{ dS m}^{-1}$ ) (Tabla V.15) es una variable que puede presentar valores muy dispares en función del origen del residuo (Roig y cols., 2006).

Poseía un elevado contenido de materia orgánica significativamente superior a los valores obtenidos para el compost I y II. Al igual que ocurre con la relación C/N, esto es indicativo del menor grado de madurez del alperujo fresco con respecto a los composts I y II, ya que se ha constatado que con el proceso de compostaje disminuyen los niveles de lignina y celulosa (Komilis y Ham, 2003; Albuquerque y cols., 2009).

Además el alperujo fresco presentó un elevado contenido en polifenoles (1.53%), fracciones que le otorgan propiedades fitotóxicas (Albuquerque y col., 2006b). El alperujo fresco presentó un alto contenido en nitrógeno y carbono orgánico total (COT), siendo estos los responsables de la relación C/N resultante. El contenido en potasio fue relativamente bajo considerando los valores reconocidos en el alperujo fresco (Tabla II.1). El resto de macro y micronutrientes se encontraban dentro de los rangos de variación establecidos por Roig y cols. (2006) (Tabla II.1).



### **V.3. INFLUENCIA DEL TIPO DE FERTILIZACIÓN, INORGÁNICA Y ORGÁNICA**

El abonado es una de las prácticas más frecuentes en la agricultura, pues tiene por objeto aportar los nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta y asegurar el ciclo vital del olivo.

#### **V.3.1. Estado nutricional del olivo**

Mediante el análisis foliar, es decir, el análisis químico de la muestra de hojas de los árboles, se pretende ver el estado nutricional de los mismos a lo largo de los años de ensayo. Esta técnica es muy útil para identificar desórdenes nutritivos, detectar bajos niveles de nutrientes antes de la aparición de sus síntomas, establecer las respuestas a los distintos programas de fertilización y descubrir la existencia de toxicidades causadas por ciertos elementos (Fernández-Escobar, 2008). La composición mineral de una hoja está determinada por muchos factores, entre ellos su estado de desarrollo, las condiciones climáticas, la disponibilidad de nutrientes en el suelo, la distribución y actividad de las raíces, la cosecha y las condiciones de humedad del suelo. El análisis foliar refleja la integración de todos esos factores. Aquí quedan establecidos los niveles óptimos de macro y micronutrientes en hoja de olivo como queda reflejado en la Tabla II.10. El muestreo de hojas debe realizarse en un periodo caracterizado por la estabilidad de las concentraciones de los nutrientes minerales, que viene a ser el mes de julio (Fernández-Escobar y cols., 2004).

Los resultados y discusión del efecto de la aplicación de los diferentes tratamientos de fertilización con respecto a la concentración en macro y micronutrientes en las hojas de olivo en estudio se hará para cada elemento por separado.

## V.3.1.1. Nitrógeno

La concentración de nitrógeno (N) en hoja, como se puede ver en la Tabla V.6, el primer año de estudio, no se observaron diferencias significativas en las plantas sometidas a la aplicación de los distintos tipos de compost ensayados y alperujo fresco con respecto a las parcelas que presentan aplicación de abonado mineral. La falta de resultados significativos el primer año de ensayo puede estar justificada por la lenta respuesta de los cultivos leñosos al abonado (Fernández-Hernández y cols., 2014). De hecho, en pruebas de invernadero en trigo, se observa un aumento en el contenido de nitrógeno durante el primer año de aplicación de compost de alperujo, aunque estos aumentos fueron sólo estadísticamente significativos para los tratamientos de mayor dosis (Barreto da Silva, 2009).

**Tabla V.6.** Contenido de nitrógeno (N) en la hoja de olivo

Resultados expresados como valor medio para n=3

	<i>AM</i>	<i>AF</i>	<i>Compost I</i>	<i>Compost II</i>
<b><i>N (%)*</i></b>				
<b><i>Año 1</i></b>	1.56 a	1.52 a	1.63 a	1.59 a
<b><i>Año 3</i></b>	2.03 ab	1.63 c	2.15 a	1.75 bc
<b><i>Año 5</i></b>	1.82 ab	1.80 ab	1.61 b	1.89 a

\* Resultados expresados sobre materia seca.

Letras distintas en cada fila indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

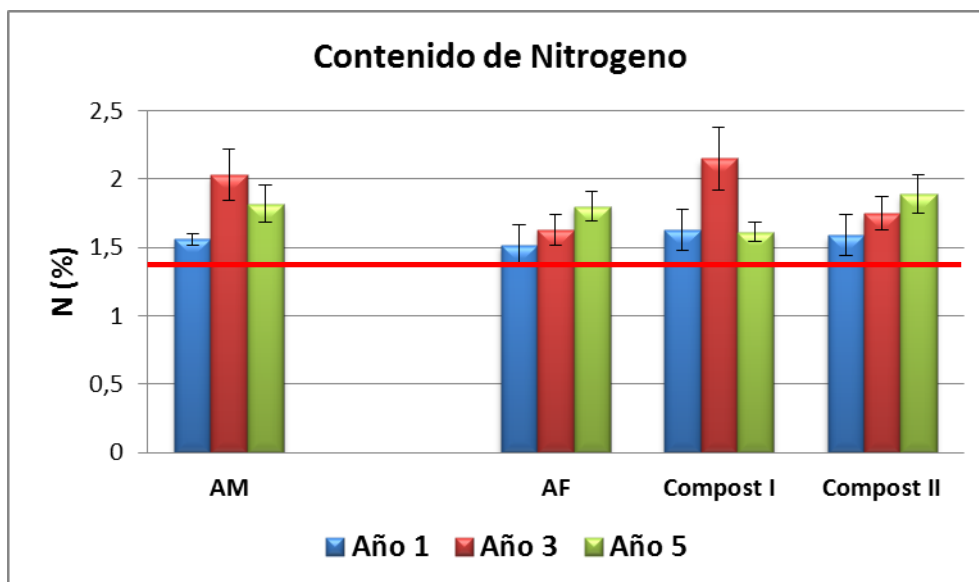
AM: abonado mineral; AF: alperujo fresco; Compost I: alperujo fresco + estiércol de oveja + restos de poda; Compost II: alperujo fresco + hoja de olivo + urea.

En la Tabla V.6 se observa que las diferencias significativas en el contenido de nitrógeno se producían a partir del tercer año de ensayo. El compost I es el que presenta un mayor contenido de nitrógeno en hoja pero no presentaba diferencias significativas con el abonado mineral y si eran significativas con respecto al tratamiento con compost II y alperujo fresco. En este año era el tratamiento con alperujo fresco el que presentaba un menor contenido de este nutriente en hoja dando lugar a diferencias significativas con todos los tratamientos excepto con el compost II. De igual modo el último año de ensayo, quinto año, se observaron diferencias significativas en cuanto al contenido de nitrógeno entre el compost II y el compost I, sin que hubiera diferencias entre estos dos tratamientos con el resto. El mayor valor de contenido de nitrógeno correspondía al tratamiento con compost II.

Podemos observar que la evolución del contenido de nitrógeno para cada tratamiento a lo largo de los años en ensayo (Figura V.3), es similar para el abonado mineral y las enmiendas orgánicas empleadas, lo que pone de manifiesto, que al tercer año de aplicación de las mismas tenemos una respuesta en el estado nutricional del olivar. Esto es, los nutrientes minerales aplicados por medio del alperujo y compost de alperujo, son asimilados por el cultivo. Por lo tanto, los niveles de nitrógeno en hoja no presentaban valores deficientes para ningún año de ensayo (Figura V.3) y la gran mayoría de ellos se encontraban dentro de los valores adecuados (1.5-2.0), establecidos por Fernández-Escobar, 2008 (Tabla II.10).

Analizando los datos obtenidos se puede concluir que el contenido en nitrógeno de los enmendantes orgánicos empleados es correcto para el desarrollo del olivar, ya que las pérdidas de nitrógeno por volatilización, desnitrificación o lixiviación no se producen de manera destacada. El aumento del contenido en nitrógeno en las parcelas puede explicarse por las bajas pérdidas de nitrógeno inorgánico (Contreras-Ramos y cols., 2004), y

biodegradación de la materia orgánica contenida en los enmendantes que conlleva una pérdida de peso y una concentración de los materiales (Serramiá y cols., 2010).



**Fig. V. 3.** Contenido de nitrógeno en los árboles de las parcelas de ensayo para cada tratamiento de fertilización y año.

Resultados expresados sobre materia seca.

AM: abonado mineral; AF: alperujo fresco; Compost I: alperujo fresco + estiércol de oveja + restos de poda; Compost II: alperujo fresco + hoja de olivo + urea

Valor medio  $\pm$  error estándar para  $n=3$

### V.3.1.2. Fósforo

En cuanto a los resultados obtenidos del análisis foliar para cada tratamiento y cada año de ensayo, el contenido de fósforo no mostraba diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos de fertilización orgánica y el abonado mineral, tal y como se muestra en la Tabla V.7. Los mismos resultados fueron obtenidos por Fernández-Hernández y cols., 2014,

después de seis años de aplicación de diferentes tipos de compost de alperujo sobre olivar adulto.

**Tabla V.7.** Contenido de fósforo (P) en la hoja de olivo. Resultados expresados como valor medio para n=3

	<i>AM</i>	<i>AF</i>	<i>Compost I</i>	<i>Compost II</i>
<b><i>P (%)</i>*</b>				
<b><i>Año 1</i></b>	0.10 b	0.14 a	0.10 b	0.10 b
<b><i>Año 3</i></b>	0.10 a	0.10 a	0.10 a	0.10 a
<b><i>Año 5</i></b>	0.10 a	0.11 a	0.10 a	0.10 a

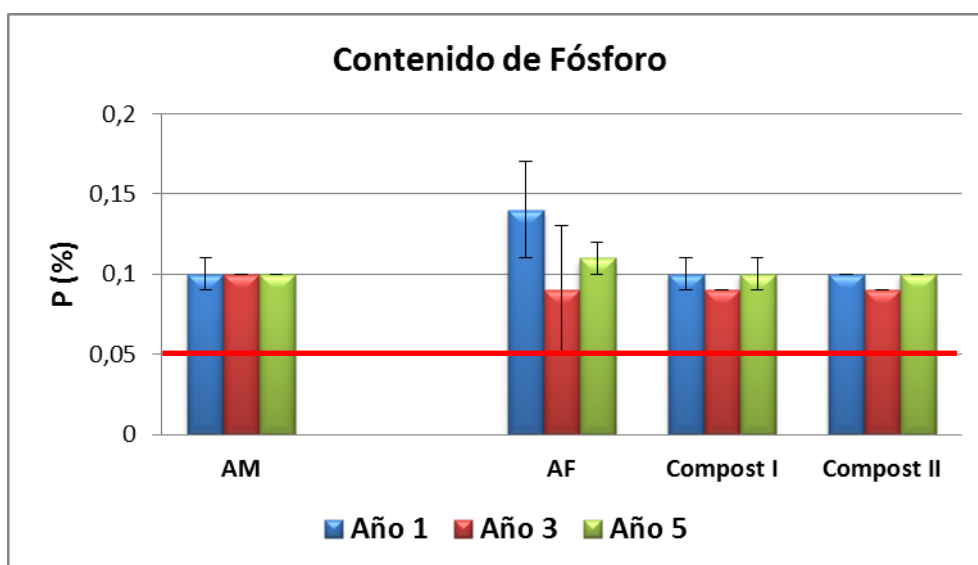
\* Resultados expresados sobre materia seca.

Letras distintas en cada fila indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

AM: abonado mineral; AF: alperujo fresco; Compost I: alperujo fresco + estiércol de oveja + restos de poda; Compost II: alperujo fresco + hoja de olivo + urea.

La evolución en el contenido de fósforo en hoja (Figura V.4) para los distintos tratamientos a lo largo de los años de estudio siguieron una evolución similar excepto para el caso del alperujo fresco en el que partimos de un primer año de aplicación con los niveles más altos de todos los tratamientos pero que a lo largo de los años de aplicación de esta enmienda orgánica decrece su contenido en hoja, hecho que no sucede para el resto de tratamientos en los que el contenido de fósforo para cada uno de ellos a lo largo de los años de ensayo permanece prácticamente constante. El alperujo fresco es una enmienda que no se caracteriza por tener altos contenidos en este elemento. Al tener además una naturaleza fundamentalmente orgánica permite suponer que los cambios inducidos en el contenido de este elemento en el suelo por la aplicación de este residuo no van a ser muy importantes. El fósforo aplicado

por medio de las enmiendas orgánicas fueron asimilados por el cultivo de forma que, los niveles de este nutriente en hoja presentaron valores adecuados (0.1-0.3) todos los años de ensayos (Figura V.4) establecidos por Fernández-Escobar, (2008), en todos los tratamientos orgánicos de fertilización llevados a cabo, al igual que en el caso del abonado mineral.



**Fig. V. 4.** Contenido de fósforo en los árboles de las parcelas de ensayo para cada tratamiento de fertilización y año.

Resultados expresados sobre materia seca.

AM: abonado mineral; AF: alperujo fresco; Compost I: alperujo fresco + estiércol de oveja + restos de poda; Compost II: alperujo fresco + hoja de olivo + urea

Valor medio  $\pm$  error estándar para n=3

La disponibilidad del fósforo se puede mejorar mediante la adición de residuos orgánicos en el suelo, en la medida en que la materia orgánica de estos residuos proporcionan fósforo de forma gradual, ya sean en sus formas orgánicas solubles como por el resultado de su mineralización. Además proporciona ácidos orgánicos que compiten con los sitios de adsorción del fósforo evitando su bloqueo (Varenes, 2003). La adición de los residuos

todavía favorecen la disponibilidad de fósforo en el suelo a través de la quelación de los cationes responsables de la formación de compuestos insolubles que reaccionan con el fósforo (Mohanty y cols., 2006).

#### V.3.1.3. Potasio

El potasio es el elemento mineral más abundante de todos los nutrientes del suelo. Su disponibilidad para las plantas depende de la concentración de nutrientes en la solución de la capacidad de intercambio catiónica, de la cantidad de potasio en la estructura de los minerales, de la temperatura del suelo (que afecta a las tasas de meteorización de nutrientes, el transporte y la absorción por las plantas), del contenido de agua en el suelo y de los niveles de otros cationes tales como calcio, magnesio o sodio, que pueden impedir su absorción debido al antagonismo entre iones (Varenes, 2003).

Los olivares de la cuenca mediterránea se han desarrollado tradicionalmente en suelos calcáreos en condiciones de secano, donde la deficiencia de potasio ha sido descrita como uno de los problemas nutricionales más importantes de esta cultura (Restrepo-Díaz y cols. 2008). Dado que este es un nutriente extraído en grandes cantidades por el fruto y que desempeña un papel importante en la regulación del nivel del mismo, es fácil de entender que el potasio puede ser un problema nutricional en el olivar en caso de deficiencia.

En cuanto al contenido de potasio se observa en la Tabla V.8 que desde el primer año de aplicación existían diferencias significativas entre los distintos tratamientos, siendo el tratamiento con alperujo fresco el que presentaba un mayor contenido en potasio y significativamente superior al resto de tratamientos orgánicos y el abonado mineral. Estas diferencias significativas

se tornaron en el quinto año de ensayo y el menor contenido en potasio en hoja se detectó para el tratamiento con alperujo fresco, valor significativamente menor que para el tratamiento con compost I y compost II y para el abonado mineral.

**Tabla V.8.** Contenido de potasio (K) en la hoja de olivo. Resultados expresados como valor medio de n=3.

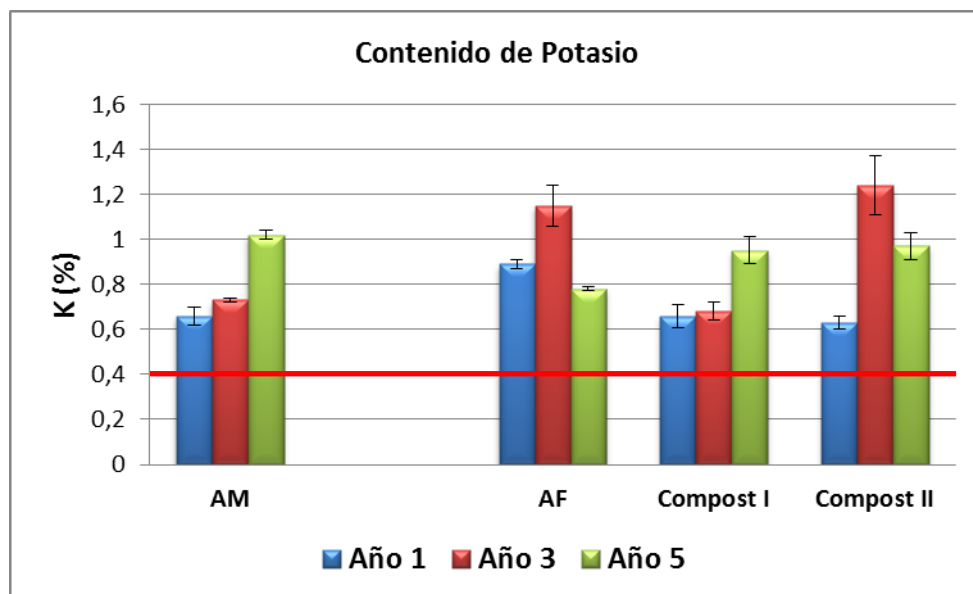
	<i>AM</i>	<i>AF</i>	<i>Compost I</i>	<i>Compost II</i>
<i>K (%)*</i>				
<b>Año 1</b>	0.66 b	0.89 a	0.66 b	0.63 b
<b>Año 3</b>	0.73 b	1.15 a	0.68 b	1.24 a
<b>Año 5</b>	1.02 a	0.78 b	0.95 a	0.97 a

\* Resultados expresados sobre materia seca.

Letras distintas en cada fila indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

AM: abonado mineral; AF: alperujo fresco; Compost I: alperujo fresco + estiércol de oveja + restos de poda; Compost II: alperujo fresco + hoja de

En general se puede decir que, existía un aumento de potasio (Figura V.5) con diferencias significativas a lo largo de los años de ensayo para el caso del tratamiento con compost I, compost II y abonado mineral. Aguilar y cols., (1996) observaron un aumento significativo en el contenido de potasio foliar en olivos tratados con residuos sólidos urbanos a partir del segundo año de aplicación. Sin embargo, para Altieri y Esposito, (2008), la aplicación a suelo de olivar de residuos de almazara no produjo diferencias en el contenido de potasio foliar en comparación con las parcelas control.



**Fig. V. 5.** Contenido de potasio en los árboles de las parcelas de ensayo para cada tratamiento de fertilización y año.

Resultados expresados sobre materia seca.

AM: abonado mineral; AF: alperujo fresco; Compost I: alperujo fresco + estiércol de oveja + restos de poda; Compost II: alperujo fresco + hoja de olivo + urea

Valor medio  $\pm$  error estándar para  $n=3$

Es evidente que la divergencia de los resultados de estos estudios está relacionada con una amplia gama de factores. Así, Restrepo-Díaz y cols., (2008), estudiaron la respuesta del olivar a la fertilización potásica, observando que esta puede ser muy desigual dependiendo de el régimen de agua y nivel de potasio en los árboles previo a la aplicación.

Se podría decir que los compost presentan carácter fertilizante que al estar en presencia de un importante contenido en materia orgánica, la liberación de dichos nutrientes es lenta en comparación a una fertilización inorgánica (Ayuso y cols., 1996). Factor a tener en cuenta a la hora de evaluar

la eficacia de estas enmiendas para favorecer la fertilidad del suelo al que se adicionan.

#### V.3.1.4. Calcio y magnesio

El calcio y el magnesio son nutrientes normalmente abundantes en el suelo. Su disponibilidad para las plantas es la suma de los iones presentes en la solución del suelo e, indirectamente, los que se encuentran retenidos en el complejo de cambio. El calcio suele ser el primer catión en salir del complejo de cambio, seguido del magnesio, mientras que las plantas absorben mayores cantidades de potasio, siendo por lo tanto el tercero en importancia.

**Tabla V.9.** Contenido de calcio (Ca) y magnesio Mg) en la hoja de olivo. Resultados expresados como valor medio para n=3.

	<i>AM</i>	<i>AF</i>	<i>Compost I</i>	<i>Compost II</i>
<b>Ca (%)*</b>				
<b>Año 1</b>	1.83 a	1.29 b	1.80 a	1.74 a
<b>Año 3</b>	2.06 ab	0.78 c	2.38 a	1.67 b
<b>Año 5</b>	1.04 b	1.72 a	0.85 c	1.07 b
<b>Mg (%)*</b>				
<b>Año 1</b>	0.12 b	0.15 a	0.11 b	0.11 b
<b>Año 3</b>	0.13 b	0.13 b	0.14 b	0.23 a
<b>Año 5</b>	0.24 ab	0.13 c	0.24 b	0.27 a

\* Resultados expresados sobre materia seca.

Letras distintas en cada fila indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

AM: abonado mineral; AF: alperujo fresco; Compost I: alperujo fresco + estiércol de oveja + restos de poda; Compost II: alperujo fresco + hoja de olivo + urea.

Los resultados mostraron un descenso del contenido de calcio para cada tratamiento desde el inicio del ensayo, excepto para el caso del tratamiento con alperujo fresco que en el último año de ensayo presenta un contenido en calcio significativamente mayor que para el resto de los años (Tabla V.9), que podría ser debido por el efecto antagónico con el potasio o por la acción quelante de la materia orgánica (Albuquerque y cols., 2007). Los niveles de calcio en hoja se encontraron dentro de los niveles adecuados, > 1% (Fernández-Escobar, 2008).

El contenido de magnesio (Tabla V.9) presentó una respuesta contraria a la descrita para el caso del calcio, ya que se produjo un aumento significativo del contenido del mismo para cada tratamiento a lo largo de los años de ensayo, a excepción igualmente del tratamiento con alperujo fresco. El mayor contenido de magnesio se obtuvo para el compost II mostrando diferencias significativas con el resto de los tratamientos orgánicos empleados y no siendo significativas con respecto al abonado mineral al quinto año de aplicación. Sin embargo, todos los tratamientos mantuvieron el estado nutricional dentro de los niveles óptimos, > 0.1 (Fernández-Escobar, 2008).

#### V.3.1.5. Micronutrientes

El comportamiento seguido por los micronutrientes seleccionados para este estudio, se muestra en la Figura V.6, siendo estos: boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y manganeso (Mn).

El contenido de hierro en hoja al quinto año, era significativamente mayor entre el abonado mineral y el alperujo fresco, siendo similar al obtenido para los tratamientos con compost de alperujo. Pero en todos los tratamientos con enmiendas orgánicas se observó un incremento a lo largo de los años justificado porque existen estudios previos por otros autores en los que se

destaca el incremento de hierro asimilable en suelos tratados con enmiendas orgánicas (Albuquerque y cols., 2007). Por el contrario, cuando el cultivo era remolacha, el contenido de hierro en éste era menor al estar los suelos tratados con alperujo y aparecer el efecto de antagonismo entre el hierro y manganeso (Clemente y cols., 2007).

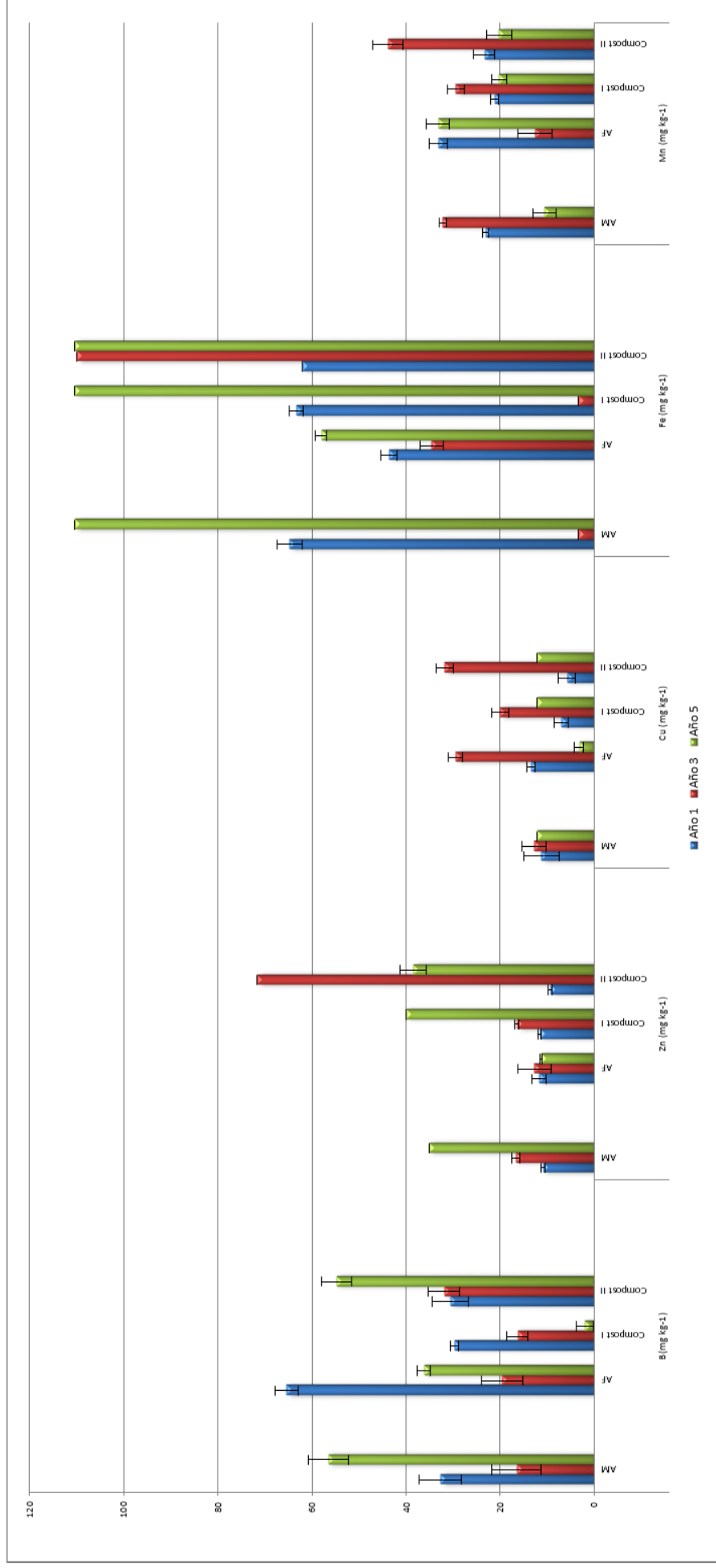
El contenido de cobre en hoja es muy variable como consecuencia del factor residual de los tratamientos fitosanitarios propios del olivar. Así, la evolución observada en los distintos tratamientos fue muy similar, mostrando un incremento al tercer año que no se corresponde con el resto de años en estudio, con diferencias significativas entre las parcelas con tratamientos orgánicos y el abonado mineral. Así, destacamos, la similitud de este nutriente entre el tratamiento con alperujo fresco y el compost II en el que hay mayor proporción de esta materia prima frente al compost I con mayor contenido de estiércol.

Los niveles de zinc tendieron a aumentar desde el inicio de los ensayos hasta el último año, obteniéndose los mayores contenidos en hoja para el tratamiento con compost I, presentando diferencias significativas con el abonado mineral y el alperujo fresco. Estos resultados fueron debidos a la presencia de una mayor proporción de restos de poda y estiércol en la composición del compost (Fernández-Hernández y col., 2014).

El contenido de manganeso, disminuyó conforme avanzaba el estudio hasta el tercer año de tratamiento, recuperando sus niveles hasta obtener un valor similar al inicio del ensayo. En general, este nutriente puede disminuir su contenido como consecuencia de un incremento de materia orgánica del suelo, favoreciendo la formación de complejos y la quelación de este catión. También tendrá en cuenta el antagonismo Fe / Mn, ya que como se ha indicado

anteriormente el contenido de hierro foliar tendió al incremento durante el último año de ensayo (García de la Fuente, 2011).

En general, el contenido de todos los micronutrientes analizados se hallaron en niveles óptimos que no mermaron el crecimiento y desarrollo del olivar.



**Fig. V. 6.** Contenido de boro, zinc, cobre, hierro y manganeso en los árboles de las parcelas de ensayo para cada tratamiento de fertilización y año.

Resultados expresados sobre materia seca.

AM: abonado mineral; AF: alperujo fresco; Compost I: alperujo fresco + estiércol de oveja + restos de poda; Compost II: alperujo fresco + hoja de olivo + urea  
 Valor medio  $\pm$  error estándar para n=3

#### V.4 CARACTERÍSTICAS POMOLÓGICAS DEL FRUTO

Las características físico-químicas seleccionadas para el presente estudio han sido: índice de madurez, peso medio, humedad y contenido graso en fruto. Para analizar la influencia de las enmiendas aplicadas sobre dichas características, se han plasmado sólo los resultados obtenidos para el último año en estudio, al tratarse de una respuesta a corto o medio plazo de estos fertilizantes orgánicos, aunque han sido analizados todos los años implicados en este trabajo.

Es conocido que las características del fruto se encuentran influenciadas por factores extrínsecos como pueden ser tanto condiciones medioambientales y de cultivo como por la producción del árbol. Por ello fueron controladas las producciones para cada tratamiento y años en los que se ha llevado a cabo este trabajo.

Las muestras de fruto, para su posterior caracterización y extracción de aceite, se recolectaron en el momento en que el índice de madurez (Tabla V.10), no presentaba diferencias significativas entre las parcelas enmendadas con materiales orgánicos y la parcela con abono mineral. Los valores del índice de madurez para las diferentes parcelas controladas representan a un fruto en el momento óptimo para la recolección de la variedad picual, índice establecido sobre el 3.5 (Frías Ruiz y cols., 1991).

**Tabla V.10.** Caracterización del fruto de los tratamientos de fertilización al quinto año de aplicación

TRATAMIENTO	AM	AF	Compost I	Compost II
<i>H (%)</i>	52.69 b	53.63 b	52.36 b	57.16 a
<i>IM*</i>	3.57 a	4.00 a	3.74 a	3.67 a
<i>PM* (g)</i>	3.28 b	3.33 b	3.61 b	4.77 a
<i>RGS* (%)</i>	36.96 c	46.74 a	41.63 b	44.03 ab
<i>RGH* (%)</i>	17.46 c	25.94 a	19.83 b	18.82 bc

\* Resultados expresados sobre materia seca.

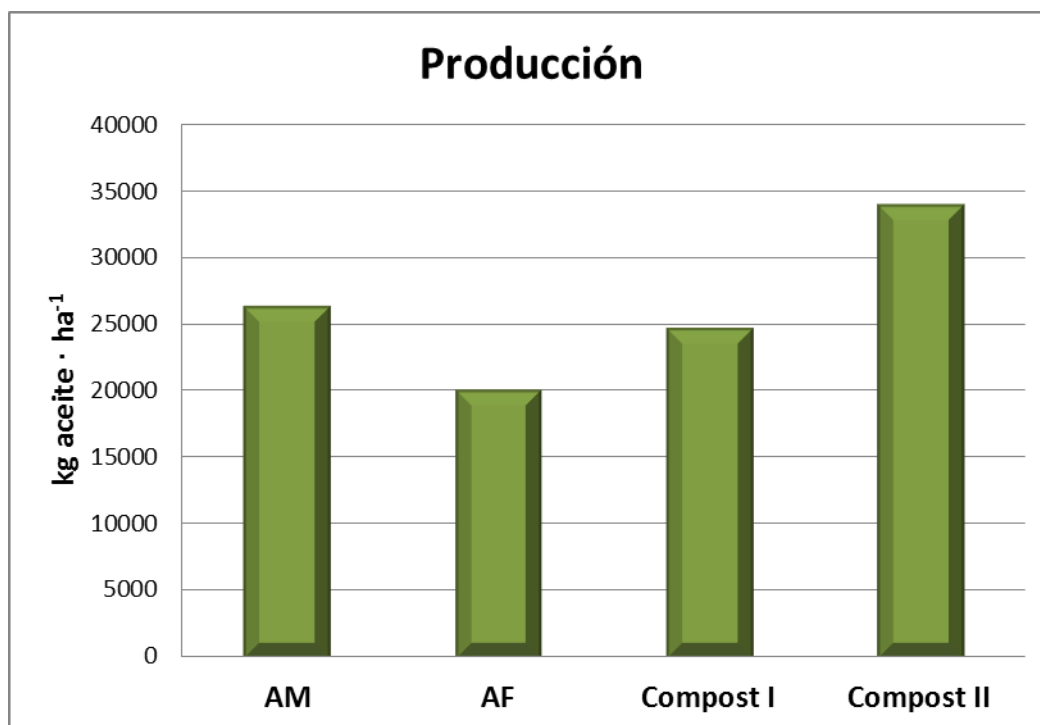
Letras distintas en cada fila indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

AM: abonado mineral; AF: alperujo fresco; Compost I: alperujo fresco + estiércol de oveja + restos de poda; Compost II: alperujo fresco + hoja de olivo + urea.

Valor medio para  $n=3$

Se observó que el peso medio del fruto (Tabla V.10) en todos los tratamientos orgánicos presentaban una tendencia ascendente con respecto al abonado mineral en el que solamente se puede decir que existían diferencias significativas entre las parcelas tratadas con compost II y abonado mineral presentando este último el menor tamaño de fruto, el resto de tratamientos orgánicos no presentaron diferencias significativas con respecto al abonado inorgánico. Así, se obtuvo un incremento de los frutos con respecto al abonado mineral de un 1.5 % en las parcelas tratadas con alperujo fresco, un 10% en las parcelas tratadas con compost I y de un 45% en las parcelas tratadas con compost II. Estos resultados fueron ya observados por Nasini y cols. (2013). En cualquier caso, los valores de peso medio se hallaron en los intervalos característicos para la variedad 'Picual' (Barranco, 2008).

El peso medio del fruto está directamente relacionado con la producción obtenida en cada una de las parcelas. Así, en la Figura V.7 se representa la producción obtenida a lo largo de los cinco años de ensayo, expresada en Kg aceite · ha<sup>-1</sup>. Se observa como las parcelas abonadas con los distintos tipos de compost de alperujo empleados en los ensayos presentaron una mayor producción de aceite a lo largo de todos los años de ensayo (Nasini y cols., 2013). Debido a que todas las parcelas de ensayo están bajo las mismas condiciones de cultivo, se podría decir que el mayor peso medio de fruto obtenido en las parcelas con aplicaciones de compost de alperujo, con lo que implica un fruto con mayor tamaño de pulpa y por consiguiente, tal y como se ha observado en la Figura V.7, con una mayor producción de aceite, es debido a la aplicación de los distintos tipos de compost de alperujo. Según Cimato y cols. (1990a), una mayor producción también pudo ser debida a un mayor índice de cuajado de frutos y a la reducción de la caída de aceitunas después del cuajado al reducirse la competencia entre frutos por el nitrógeno ya que según se ha descrito los niveles de este elemento eran adecuados (Tabla V.3) y más elevados para aquellos tratamientos con mayores producciones en el último año de ensayo.



**Fig. V. 7.** Producción de Aceite de Oliva Virgen a lo largo de los cinco años de ensayo para cada tratamiento

AM: abonado mineral; AF: alperujo fresco; Compost I: compost elaborado con alperujo nuevo, estiércol de oveja y restos de poda; Compost II: compost el alperujo nuevo, hoja y urea

La humedad observada (Tabla V.10) para los diferentes tratamientos presentó diferencias significativas para el tratamiento con compost II con respecto al resto de aplicaciones orgánicas y al abonado mineral. El resto de tratamientos orgánicos no presentaron diferencias significativas con el abonado mineral pero si se detectó una tendencia creciente. Este hecho podría explicarse por la mejora que supone la aplicación de fertilización orgánica a los suelos ya que ocasiona un aumento en el contenido de materia orgánica y en consecuencia un aumento en la humedad del mismo, por lo que la humedad aprovechable para las raíces es superior, tal y como describió García-Ruiz y cols. (2013).

El contenido graso sobre materia seca (Tabla V.10), es un parámetro que, junto al índice de madurez, informa sobre el momento óptimo de recolección para producir un Aceite de Oliva Virgen de máxima calidad. De los datos contenidos en la Tabla V.10 se observaron diferencias significativas entre las enmiendas con compost II y alperujo fresco, frente al abonado mineral, con una tendencia ascendente de los tratamientos orgánicos con respecto al abonado mineral. El comportamiento observado para la evolución de los datos de rendimiento graso sobre seco fue el mismo que se detectó y se ha descrito para el parámetro de peso medio del fruto. Aunque se trata de un parámetro característico para cada variedad de aceituna difícil de modificar por factores externos (Lavee y Wodner, 2003), la aplicación de enmiendas orgánicas mostraron una influencia más favorable frente al abonado inorgánico por una mejora en la disponibilidad de nutrientes minerales. Así es conocido que una mayor concentración de potasio en hoja produjo un aumento significativo de la biosíntesis de aceite de oliva en el fruto (Fernández-Hernández y cols., 2014). Debida a la influencia de los distintos tipos de fertilización en las parcelas de ensayo se observó un aumento en el contenido de aceite en fruto sobre materia seca obteniéndose unos porcentajes de crecimiento de un 13 % en el compost I, un 19 % en el compost II y un 26 % en el alperujo fresco, con respecto al abonado mineral.



## V.5. CALIDAD Y COMPOSICIÓN DEL ACEITE DE OLIVA VIRGEN

### V.5.1. Calidad Reglamentada

La calidad reglamentada en Aceites de Oliva Virgen, está influenciada por diversas variables. Así, en este trabajo se presenta un estudio sobre posibles modificaciones en las características de los aceites a consecuencia del cambio en las técnicas de abonado en nuestro olivar, manteniendo todos los demás factores relativos al cultivo constantes, para todos los tratamientos ensayados. Para analizar la influencia de las enmiendas aplicadas sobre dichas características, se han plasmado sólo los resultados obtenidos para el último año en estudio, al tratarse de una respuesta a corto o medio plazo de estos fertilizantes orgánicos, aunque han sido analizados todos los años implicados en este trabajo.

Se considerará la tendencia sufrida en los parámetros de calidad reglamentada seleccionando de los establecidos por normativa: acidez, índice de peróxidos,  $K_{232}$ ,  $K_{270}$ . Las determinaciones analíticas se han realizado conforme a los métodos descritos en el capítulo IV de esta Tesis Doctoral.

En la Tabla V.11 se recogen los resultados obtenidos de los parámetros de calidad reglamentada, destacando que los valores observados en todos los tratamientos se encontraban dentro de los límites establecidos por el Reglamento (UE) N° 1348/2013 modificando al Reglamento (CEE) 2568/91 relativo a las características de los aceites de oliva y de los aceites de orujo de oliva y sobre sus métodos de análisis, clasificando a los aceites obtenidos en la categoría de Aceite de Oliva Virgen Extra , en su Anexo 1.

V.5.1.1. Acidez

Como se puede observar en la Tabla V.11, la acidez presentaba diferencias significativas entre algunas de las parcelas enmendadas con compost y las parcelas con abonado mineral.

**Tabla V.11.** Parámetros de calidad del Aceite de Oliva Virgen procedente de los tratamientos al quinto año de aplicación

TRATAMIENTO	AM	AF	Compost I	Compost II
Acidez (%)	0.15 b	0.29 a	0.17 b	0.11 c
K232	1.55 b	1.80 a	1.59 b	1.43 c
K270	0.15 a	0.13 ab	0.15 a	0.11 b
Peróxidos (meqO <sub>2</sub> kg aceite <sup>-1</sup> )	4.53 b	16.88 a	3.43 b	3.04 b

Letras distintas en cada fila indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

AM: abonado mineral; AF: alperujo fresco; Compost I: alperujo fresco + estiércol de oveja + restos de poda; Compost II: alperujo fresco + hoja de olivo + urea.

Valor medio para n=3

Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos realizados con alperujo fresco y compost II con respecto al abonado mineral de forma que el mayor valor correspondió a éste último y el menor valor significativamente menor que el resto para el abonado con compost II. El aceite contenido en la aceituna sana que está en el árbol tiene 0 % de acidez libre, por lo tanto, la presencia de ácidos grasos libres es una anomalía resultante, entre otros factores, del mal estado de los frutos, mal tratamiento, o mala conservación de los mismos. Un índice de acidez muy bajo se corresponde con un aceite de alta calidad; valores próximos a 0.1 indican, no de forma absoluta, de que la

aceituna procesada estaba en buenas condiciones en el momento de la recolección, en un adecuado estado de madurez, sin problemas sanitarios, adecuado sistema de cosecha y un buen proceso de extracción (Troncoso y cols., 2006). Así pues, los resultados obtenidos ponen de manifiesto que la acidez de los aceites es un parámetro influenciado por factores externos, agronómicos y/o industriales (Fernández-Hernández y cols., 2014). En esta Tesis Doctoral, los frutos fueron recolectados sanos y en su momento óptimo de maduración junto a una extracción del Aceite de Oliva Virgen con condiciones controladas, hecho que justifica los resultados obtenidos por lo tanto, las diferencias significativas observadas en la acidez de los aceites obtenidos puede ser debido a los tratamientos de fertilización realizados, como práctica agronómica diferenciadora de todos los parámetros que influyen en nuestras parcelas de ensayo. Además, las distintas fertilizaciones orgánicas empleadas, no afecta negativamente a la calidad del Aceite de Oliva Virgen obtenido, al igual que ocurre con el abonado mineral.

Cabe destacar que en todos los tratamientos los valores de la acidez se encuentran dentro de los límites establecidos por el Reglamento (UE) N° 1348/2013 modificando al Reglamento (CEE) 2568/91 relativo a las características de los aceites de oliva y de los aceites de orujo de oliva y sobre sus métodos de análisis, clasificando en su Anexo 1, a los aceites obtenidos en la categoría de Aceite de Oliva Virgen Extra.

#### V.5.1.2. Índice de peróxidos

El índice de peróxidos es un parámetro que mide el estado de oxidación temprana de un Aceite de Oliva Virgen. Éste, se puede ver influenciado por el estado del fruto, la conservación del aceite una vez elaborado, así como por el envasado (Rotondi y cols., 2004 y Cires, 2007).

Los resultados obtenidos (Tabla V.11) muestran diferencias significativas entre el abonado con alperujo fresco y el resto de tratamientos tanto orgánicos como con el tratamiento mineral, produciéndose aceites con un mayor contenido de peróxidos en los aceites procedentes del abonado con alperujo fresco lo que puede hacer pensar que este tratamiento presentaba una mayor vulnerabilidad a la oxidación de su aceite desde el fruto, ya que el estado del fruto y las condiciones de elaboración del Aceite de Oliva Virgen fueron controladas in situ. En cualquier caso, el índice de peróxidos se hallaba dentro de los niveles establecidos por normativa como Aceite de Oliva Virgen Extra en su Anexo I (Reglamento (UE) Nº 1348/2013).

#### V.5.1.3. Absorbancia en el ultravioleta a 270 nm y 232 nm

La medida espectrofotométrica ultravioleta del coeficiente de extinción a 232 nm (K232), indica al igual que el índice de peróxidos, estado de oxidación inicial de un aceite, mientras que la medida a 270 nm (K270) detecta un estado de oxidación más avanzado.

Los datos obtenidos para K232 al final de las aplicaciones de los distintos tratamientos de fertilización observándose diferencias significativas entre los distintos tratamientos orgánicos y entre la aplicación de alperujo fresco y compost II con respecto al abonado mineral. Al igual que se ha descrito para el caso de los peróxidos, los aceites obtenidos de las parcelas enmendadas con alperujo fresco presentaron unos valores superiores de K232, comportamiento similar al índice de peróxidos, por lo que puede hacer pensar que este tratamiento presentaba una mayor facilidad para la oxidación que el resto de los aceites (Gutiérrez y cols. 1999).

Los datos obtenidos para el parámetro K270 (Tabla V.11) donde se observó que el compost (compost II) que presentaba mayor proporción de

alperujo tenía el menor valor y similar al tratamiento con alperujo fresco, aunque en todos los casos, este parámetro de calidad se encuentra dentro de normativa para el Aceite de Oliva Virgen Extra.

Así pues, los datos obtenidos para el K232 y k270 ponen de manifiesto la influencia de los distintos tratamientos de fertilización empleados, ya que el resto de factores externos, maduración y estado del fruto como prácticas culturales, tratamientos fitosanitarios y elaboración, almacenamiento y conservación del Aceite de Oliva Virgen, se mantuvieron controlados durante los años en estudio (Fernández-Hernández y cols., 2014).

De los aceites obtenidos de los distintos tratamientos tanto orgánicos como mineral y después de cinco años de aplicaciones, se observó que aquel que procedía de las parcelas enmendadas con compost II presentaba una menor acidez así como una menor vulnerabilidad a la oxidación de su aceite desde el fruto.

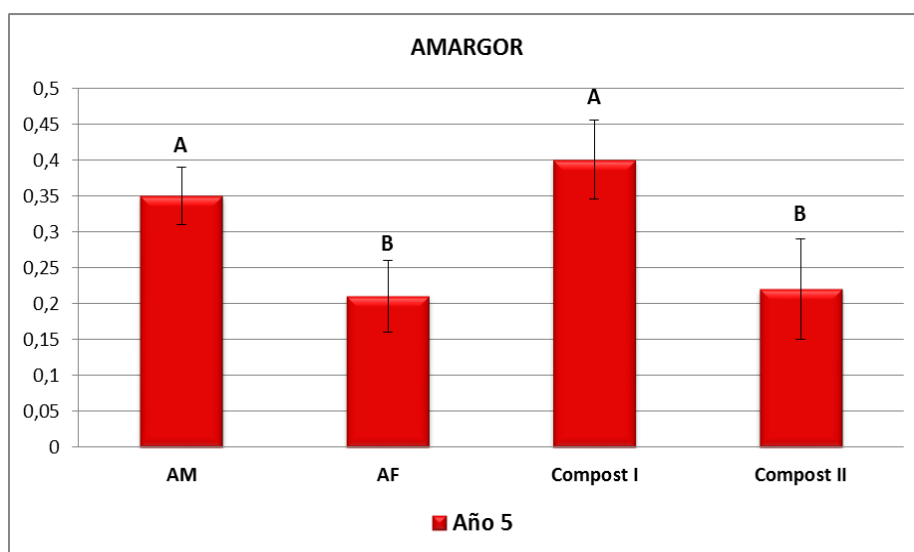
### **V.5.2. Calidad nutricional del Aceite de Oliva Virgen**

#### **V.5.2.1. Amargor (K225)**

El amargor es un atributo sensorial positivo que está presente en el Aceite de Oliva función del contenido en polifenoles (Beltrán, G. y cols. 2000). El amargor de los aceites es cuantificado mediante la medida del K225, parámetro correlacionado con la evaluación sensorial del amargo y cuyo método se describe en el punto IV.4.4.2.3.

El amargor de los aceites obtenidos (Figura V.8) fue mayor para el abonado mineral y el compost I, lo que vuelve a poner de manifiesto que la aplicación de alperujo fresco y compost II, en el que la proporción de alperujo

es mayor, presentaba una mayor vulnerabilidad a la oxidación como consecuencia de un bajo contenido de antioxidantes naturales causantes del amargor en los aceites. No obstante, el amargor de los aceites obtenidos de la parcelas enmendadas con alperujo y compost de alperujo, estaban comprendidos dentro de lo establecido por otros autores con similares tratamientos (Fernández-Hernández y cols., 2014).



**Fig. V. 8.** Amargor del Aceite de Oliva Virgen procedente de los distintos tratamientos de fertilización al quinto año de aplicación.

AM: abonado mineral; AF: alperujo fresco; Compost I: compost elaborado con alperujo nuevo, estiércol de oveja y restos de poda; Compost II: compost el alperujo nuevo, hoja y urea

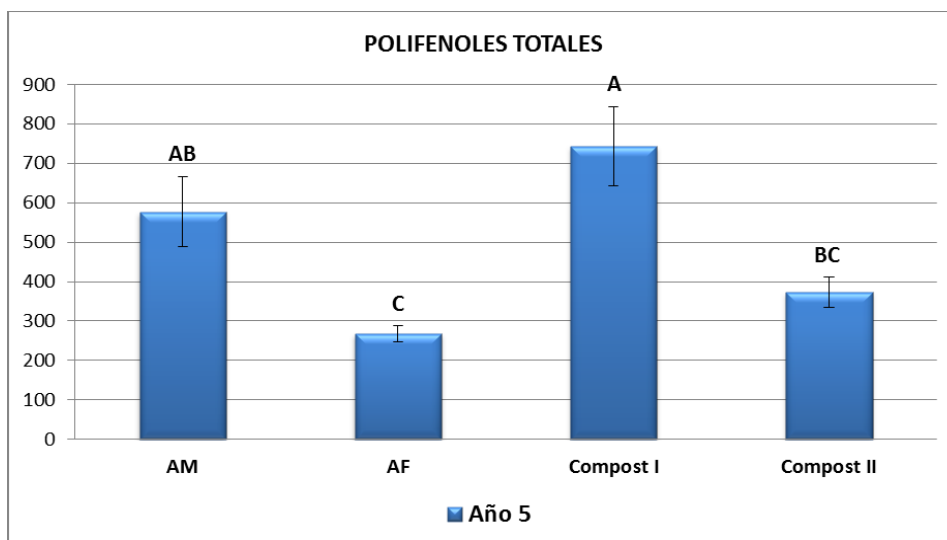
Letras diferentes en columna indica diferencias significativas entre tratamientos para una  $p < 0.05$ .

Valor medio  $\pm$  error estándar para  $n=3$

#### V.5.2.2. Polifenoles totales

Los polifenoles son antioxidantes naturales que producen los atributos positivos de amargor y picante en los aceites de oliva, compuestos directamente relacionados con la vida útil del alimento. Así como, información sobre la calidad nutricional, estabilidad y características sensoriales del Aceite de Oliva Virgen.

El comportamiento de este parámetro (Figura V.9) fue similar al descrito para el amargor, poniendo de manifiesto la correlación entre ambos (Gutiérrez Rosales, 1989). El contenido de polifenoles fue significativamente menor para el tratamiento con alperujo fresco con respecto al resto de tratamientos orgánicos y el tratamiento mineral lo que explicó el comportamiento de sus aceites con respecto al amargor (Figura V.8). El resto de tratamientos orgánicos (compost I y compost II) no presentaron diferencias significativas con respecto al abonado mineral presentando un mayor contenido de polifenoles en aquellos aceites procedentes de las parcelas tratadas con compost I. De los datos obtenidos se puede indicar que la composición cuantitativa de fenoles en los aceites de oliva obtenidos se vieron influenciados por prácticas agronómicas manteniendo sin variación entre tratamientos el índice de madurez, producción y contenido en nutrientes minerales en las hojas de olivo (Fernández-Hernández y cols., 2014).



**Fig. V. 9.** Contenido en polifenoles totales del Aceite de Oliva Virgen procedente de los distintos tratamientos de fertilización al quinto año de aplicación

AM: abonado mineral; AF: alperujo fresco; Compost I: compost elaborado con alperujo nuevo, estiércol de oveja y restos de poda; Compost II: compost el alperujo nuevo, hoja y urea

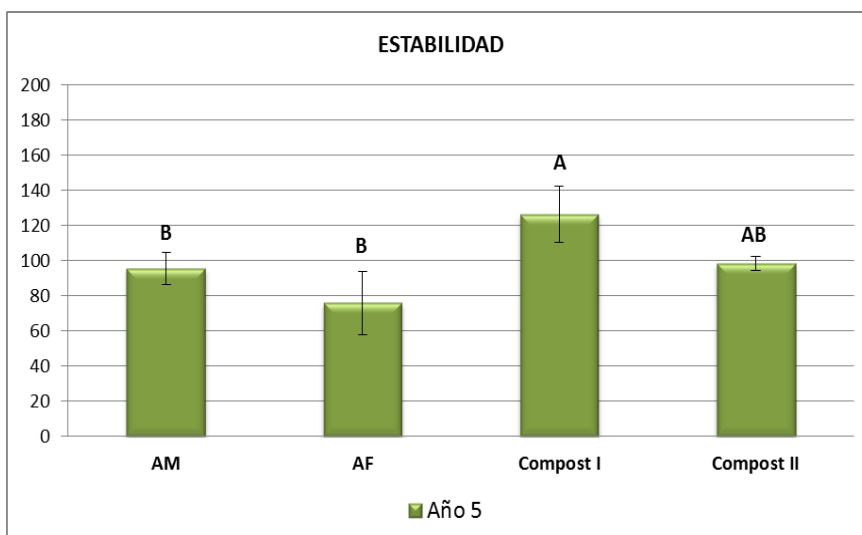
Letras diferentes en columna indica diferencias significativas entre tratamientos para una  $p < 0.05$ .

Valor medio  $\pm$  error estándar para  $n=3$

### V.5.2.3. Estabilidad

Es importante la determinación de la estabilidad oxidativa de los aceites (Gutiérrez Rosales, 1989), ya que nos indica la resistencia al deterioro oxidativo y aunque no se considera un parámetro de calidad, proporciona información sobre de la vida útil del aceite. Es un parámetro relacionado directamente con el contenido de polifenoles totales (Gutiérrez-Quijano y cols., 1977) y la composición de ácidos grasos, principalmente ácido oleico y la relación entre ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados (Fernández –Hernández y cols., 2014).

La estabilidad (Figura V.10) para los aceites obtenidos de cada parcela de ensayo presentó un comportamiento similar al contenido en polifenoles totales, siendo los compost I y II los que producen un Aceite de Oliva Virgen de mayor estabilidad. Lo que hace pensar la estabilización de nutrientes y materia orgánica del alperujo a través del proceso de compostaje, una vía para mejorar la calidad oxidativa de los aceites. Esta proporcionalidad entre estabilidad y composición fenólica se pone de manifiesto cómo queda reflejado en anteriores investigaciones (Gutiérrez-Quijano y cols., 1977; Gutfinger y cols. 1981).



**Fig. V. 10.** Estabilidad del Aceite de Oliva Virgen procedente de los distintos tratamientos de fertilización al quinto año de aplicación

AM: abonado mineral; AF: alperujo fresco; Compost I: compost elaborado con alperujo nuevo, estiércol de oveja y restos de poda; Compost II: compost el alperujo nuevo, hoja y urea

Letras diferentes en columna indica diferencias significativas entre tratamientos para una  $p < 0.05$ .

Valor medio  $\pm$  error estándar para  $n=3$

#### V.5.2.4. Ácidos grasos

La calidad nutricional del Aceite de Oliva Virgen Extra depende también del perfil de ácidos grasos, conveniente para una adecuada función celular, de ahí la importancia de su contenido en ácido oleico y ácidos grasos esenciales, además de su composición en antioxidantes. El ácido graso mayoritario en el Aceite de Oliva es el ácido oleico, que representa aproximadamente el 79% del total de ácidos grasos. Dependiendo del medio agrológico y de la variedad, ese contenido puede variar ampliamente, de modo que hay aceites en los que el oleico es mínimo, del orden del 57%, mientras que en otros, puede alcanzar el 82%, como sucede en el caso de la *variedad 'Picual'*.

En la Tabla V.12 se observa que el tratamiento con alperujo fresco presentó diferencias significativas con respecto al abonado mineral, destacando el contenido significativamente menor con respecto al abonado mineral y al resto de tratamientos orgánicos en ácido palmítico (12.54%), ácido margárico (0.03%) y ácido linolénico (0.55%). Por el contrario, fue el que presentó un valor significativamente mayor con respecto al abono mineral y al resto de tratamiento orgánicos en ácido oleico (77.96%). Este aumento del contenido de ácido oleico se traduce principalmente en un descenso de ácido linoleico y en menor medida de ácido linolénico. Esto provocó que se modificara las relaciones entre ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados siendo superior en los aceites que procedían de olivos enmendados con los distintos tipos de compost empleados y alperujo fresco, frente a los tratados con abono mineral (Figura V.12).

**Tabla V.12.** Composición ácida del Aceite de Oliva Virgen procedente de los distintos tratamientos de fertilización al quinto año de aplicación. Resultados expresados en %.

TRATAMIENTO	AM	AF	Compost I	Compost II	Rango de variación (Reglamento (UE) nº 1348/2013)
C16:0	13.62 a	12.54 b	13.85 a	14.06 a	7.5 – 20
C16:1	1.15 b	1.07 b	1.13 b	1.39 a	0.3 – 3.5
C17:0	0.04 a	0.03 b	0.04 a	0.04 ab	
C17:1	0.08 a	0.08 a	0.07 b	0.08 a	
C18:0	3.09 a	3.08a	3.36 a	3.24 a	0.5 – 5.0
C18:1	75.34 b	77.96 a	75.14 b	75.10 b	55 - 83
C18:2	5.18 a	4.04 a	5.01 a	4.70 a	3.5 – 21.0
C18:3	0.80 a	0.55 c	0.72 b	0.74 b	≤ 1.0
C20:0	0.37 ab	0.36 b	0.39 a	0.35 b	≤ 0.6
C20:1	0.23 a	0.21 a	0.21 a	0.21 a	≤ 0.4
C22:0	0.10 a	0.09 a	0.10 a	0.09 a	≤ 0.2

Letras distintas en cada fila indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

AM: abonado mineral; AF: alperujo fresco; Compost I: alperujo fresco + estiércol de oveja + restos de poda; Compost II: alperujo fresco + hoja de olivo + urea.

Valor medio para  $n=3$

Todos estos datos, contemplan una composición ácida correspondiente a lo establecido por Reglamento (UE) nº 1348/2013 en su Anexo I como Aceite de Oliva Virgen Extra, lo que pone de manifiesto la no influencia entre la fertilización a partir de los distintos tipos de compost y el alperujo fresco y la composición ácida de los Aceites de Oliva Virgen obtenidos. De aquí se deduce, que cualquier medio de fertilización puede proporcionar aceites clasificados en la categoría de Virgen Extra, siempre que proceda de aceituna sana, recogidas en el momento oportuno, de forma adecuada y elaborada correctamente. Estos valores, además de encontrarse

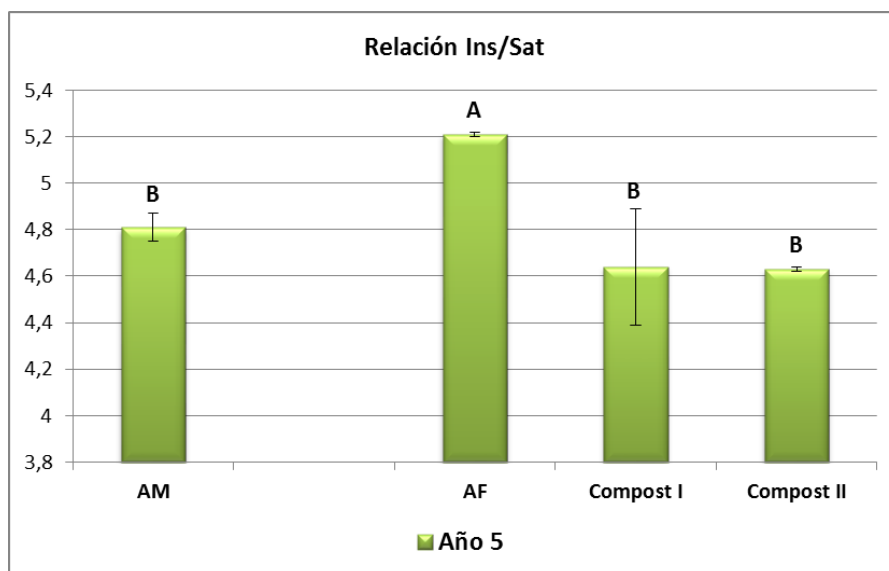
dentro de lo habitual y establecido, emplaza a destacar la importancia del alto contenido en ácido oleico (junto con la composición en compuestos fenólicos) de los aceites de oliva vírgenes, pues tiene un efecto protector frente a determinados tipos de cáncer a nivel celular, al igual que una acción protectora frente a las enfermedades cardiovasculares ya que protegen a las LDL de los procesos oxidativos (Lamuela y cols., 2004).

Los múltiples estudios realizados sobre la composición en ácidos grasos de Aceites de Oliva Virgen, muestran amplios márgenes y variabilidad de ésta, lo que se considera relacionado con factores genéticos y ambientales en el desarrollo de estos frutos (Kiritsakis, 1992). Otros autores indican igualmente al estudiar la composición acídica del Aceite de Oliva procedente de diferentes campañas, épocas de recolección y variedades, que el contenido graso tiene una fuerte componente varietal, atribuyendo a este factor más del 70 % de la variabilidad encontrada, en especial si se tienen en cuenta las variaciones porcentuales del contenido en ácido palmítico, esteárico, oleico y linoleico (Uceda y cols., 2008).

Con el fin de profundizar en el estudio sobre caracterización de los aceites a partir de los ácidos grasos, se han utilizado unas relaciones entre ellos, calificadas como índices y que simplifican y mejoran en algunos casos posibles comparaciones entre los aceites en cuanto a su sensibilidad a la oxidación y vida útil, como puede ser la relación insaturados/saturados o en cuanto a sus implicaciones en la calidad nutricional como es la relación monoinsaturados/poliinsaturados.

En la Figura V.11 se representa la relación de ácidos grasos Insaturados/Saturados. No se observaron claras diferencias significativas entre los aceites obtenidos de los olivos fertilizados con compost I y compost II con respecto a los fertilizados con abono mineral. Por el contrario, para el

tratamiento de alperujo fresco se observó el mismo comportamiento al descrito con el contenido en ácidos grasos en el que presentó el mayor valor para esta relación con diferencias significativas con el resto de tratamientos. Este resultado junto al contenido de polifenoles, pone de manifiesto la mayor influencia sobre la estabilidad de los aceites el contenido en antioxidantes naturales que la relación de ácidos grasos (Tabla V.12 y Figura V.9) no encontrándose diferencias significativas en este sentido para el resto de aceites obtenidos (Fernández-Hernández y cols., 2014).



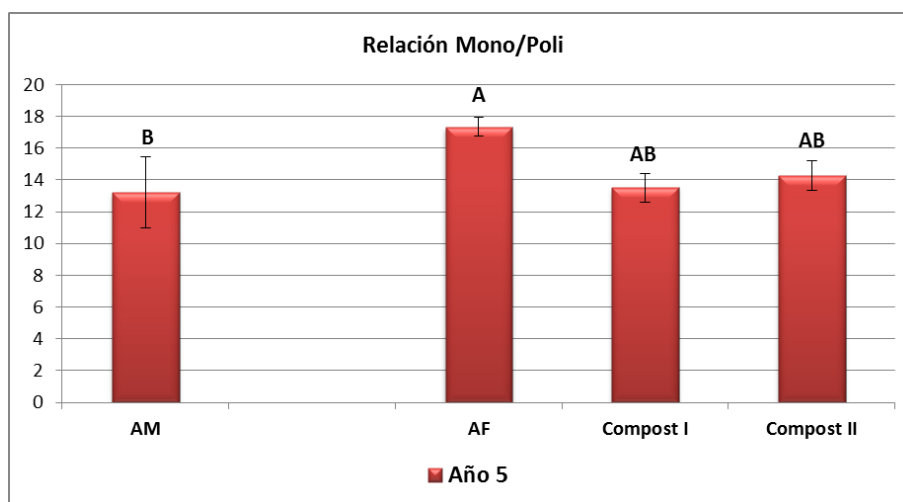
**Fig. V. 11.** Relación ácidos grasos Insaturados/Saturados del Aceite de Oliva Virgen procedente de los distintos tratamientos de fertilización al quinto año de aplicación.

AM: abonado mineral; AF: alperujo fresco; Compost I: compost elaborado con alperujo nuevo, estiércol de oveja y restos de poda; Compost II: compost el alperujo nuevo, hoja y urea

Letras diferentes en columna indica diferencias significativas entre tratamientos para una  $p < 0.05$ .

Valor medio  $\pm$  error estándar para  $n=3$

Evaluando la relación de ácidos grasos Monoinsaturados/Poliinsaturados (Figura V.12), no presentó diferencias significativas entre los aceites obtenidos de los olivos fertilizados con compost I y compost II con respecto a los fertilizados con abono mineral. Por el contrario, para el tratamiento de alperujo fresco se observó el mismo comportamiento al descrito con el contenido en ácidos grasos y la relación de ácidos grasos insaturados/saturados, presentando el mayor valor para esta relación con diferencias significativas con el tratamiento inorgánico. El valor de la relación obtenida es perfectamente adecuada al rango esperado para la variedad ‘Picual’ (Tablas V.12), y a los publicados en agricultura ecológica (Gutiérrez y cols., 1999). Al igual que la importancia de un mayor contenido en ácidos grasos insaturados frente a los saturados para su mayor estabilidad oxidativa y por lo tanto, un mejor mantenimiento y conservación de la calidad del Aceite de Oliva Virgen.



**Fig. V. 12.** Relación ácidos grasos Monoinsaturados/Poliinsaturados del Aceite de Oliva Virgen procedente de los distintos tratamientos de fertilización al quinto año de aplicación.

AM: abonado mineral; AF: alperujo fresco; Compost I: compost elaborado con alperujo nuevo, estiércol de oveja y restos de poda; Compost II: compost el alperujo nuevo, hoja y urea

Letras diferentes en columna indica diferencias significativas entre tratamientos para una  $p < 0.05$ .

Valor medio  $\pm$  error estándar para  $n=3$

## V.6. COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL SUELO

Las muestras de suelo recogidas de cada una de las parcelas de ensayo en las que se realizan las distintas prácticas de fertilización descritas a lo largo de esta Tesis Doctoral, son recogidas conforme al procedimiento descrito en el apartado IV.3.5, una vez analizadas en laboratorio, se recogen las características fisicoquímicas de ellos en la Tabla V.13

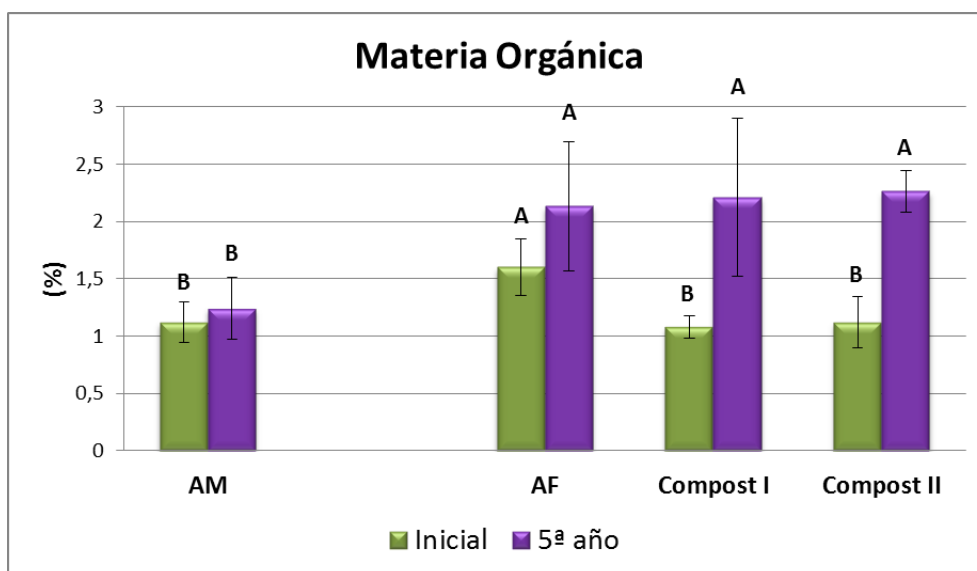
**Tabla V.13.** Valores de pH y textura del suelo de olivar (0-20 cm de profundidad) al principio y tras cinco años de aplicación agronómica de diferentes compost.

Resultados expresaron como valor medio  $\pm$  error estándar (n = 3).

### TRATAMIENTOS

	AM		AF		Compost I		Compost II	
	0	5	0	5	0	5	0	5
<b>pH</b>	8.47 $\pm$ 0.12	8.37 $\pm$ 0.06	8.30 $\pm$ 0.00	8.33 $\pm$ 0.06	8.30 $\pm$ 0.12	8.37 $\pm$ 0.06	8.53 $\pm$ 0.12	8.27 $\pm$ 0.06
<b>Arena (%)</b>	12.78 $\pm$ 1.38	13.79 $\pm$ 1.58	7.93 $\pm$ 0.88	13.54 $\pm$ 2.82	13.62 $\pm$ 0.61	15.21 $\pm$ 1.48	33.17 $\pm$ 18.10	14.17 $\pm$ 0.91
<b>Arcilla (%)</b>	37.95 $\pm$ 5.78	25.07 $\pm$ 15.88	48.12 $\pm$ 5.50	27.05 $\pm$ 19.15	40.58 $\pm$ 3.39	23.78 $\pm$ 16.18	40.58 $\pm$ 3.39	13.55 $\pm$ 13.03
<b>Limo (%)</b>	49.27 $\pm$ 6.52	61.15 $\pm$ 14.67	43.95 $\pm$ 4.72	59.41 $\pm$ 18.62	45.80 $\pm$ 3.13	61.00 $\pm$ 15.46	41.81 $\pm$ 3.23	72.28 $\pm$ 13.86

La aplicación de los distintos tipos de compost en las parcelas de ensayo no provocó un aumento del pH de los suelos en la mayoría de los casos estudiados tal y como se observa en la Tabla V.13. En cambio, la aplicación de compost II produjo un descenso en el pH de los suelos después de cinco años de aplicación. Esta disminución de pH en los suelos puede ser debido a los grupos fenólicos y carboxílicos resultantes de la descomposición de materia orgánica del compost, que actúan como ácidos débiles (García-Ruiz y cols., 2013), llegando a disminuir entre 0.12 – 0.17 unidades como queda descrito por López-Piñeiro y cols. (2008).



**Fig. V. 13.** Contenido de materia orgánica total del suelo olivar (0-20 cm de profundidad) al principio (inicial) y después de 5 años (quinto año) de aplicación agronómica de los fertilizantes inorgánicos y diferentes enmiendas orgánicas

AM: abonado mineral; AF: alperujo fresco; Compost I: compost elaborado con alperujo nuevo, estiércol de oveja y restos de poda; Compost II: compost el alperujo nuevo, hoja y urea.

Resultados expresados en materia seca, como valor medio  $\pm$  error estándar (n=3).

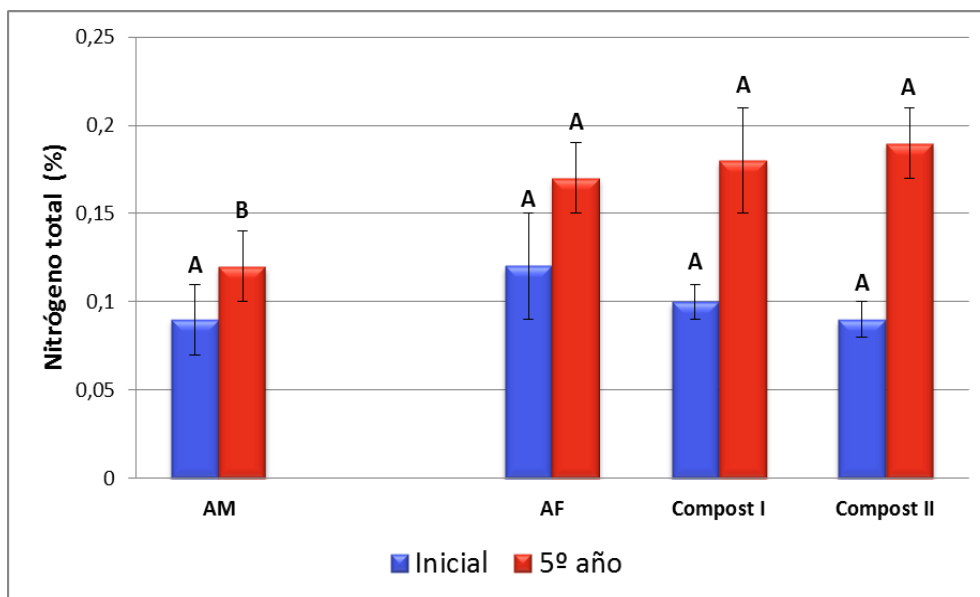
Letras diferentes en columna indica diferencias significativas entre tratamientos para una  $p < 0.05$ .

El compost de alperujo contiene una gran cantidad de materia orgánica, y por lo tanto, podría ser útil su uso como una enmienda a los suelos agrícolas, reduciendo potencialmente la necesidad de insumos fertilizantes de nitrógeno, fósforo y potasio, y la mejora de una serie de propiedades del suelo. Esta estrategia podría ser de especial importancia para el mantenimiento del ecosistema olivar en el que el retorno de la materia orgánica al suelo, además de su efecto positivo de almacenamiento de carbono en el suelo, ayudaría a evitar los problemas asociados con la erosión (Pleguezuelo y cols., 2009).

En general, la aplicación de los distintos compost de alperujo en las parcelas de ensayo durante los cinco años estudiados dio lugar a un aumento significativo de la materia orgánica del suelo en comparación con los suelos que no recibieron compost y fueron fertilizados con abono mineral. Según se puede observar en la Figura V.13 al inicio de los ensayos todas las parcelas presentaban un contenido de materia orgánica similar y sin diferencias significativas entre los tratamientos con compost de alperujo y el abonado mineral, excepto para el tratamiento con alperujo fresco que presentaba un valor significativamente mayor que el resto de parcelas de ensayo. Tras cinco años se observó que en los suelos tratados con abono mineral no había aumento en el contenido de materia orgánica de los mismos, como cabría esperar, ya que con este tipo de fertilización no se realizó aporte orgánico alguno. Sin embargo, en los suelos con aplicación de compost I y compost II si se produjo un importante aumento en el contenido de materia orgánica observándose diferencias significativas entre el inicio y el último año para cada una de las aplicaciones aplicaciones, alcanzando valores superiores al 2%. Para los suelos en los que se empleó alperujo fresco como enmendante orgánico se observó un aumento en el contenido de materia orgánica entre el inicio y el último año de aplicación pero sin diferencias significativas entre ellos ya que, aunque el contenido en materia orgánica en el alperujo fresco es muy elevada, ésta es incorporada al suelo sin ser degradada por lo que su

disponibilidad es menor que en el caso de la materia orgánica procedente del compost I y compost II, que mediante el proceso de compostaje es degradada y transformada provocando un mayor contenido de materia orgánica en los suelos. Aun así, y debido a que los suelos enmendados con alperujo fresco presentaban los mayores contenidos de materia orgánica al inicio de los ensayos, el último año alcanza valores superiores al 2%, al igual que los suelos tratados con compost I y compost II, por lo que en los tres casos conseguimos llegar a valores de suelos fértiles, considerándose como tales aquellos que presenta un contenido en materia orgánica  $\geq 2\%$ .

Así pues, tras cinco años de ensayo estas parcelas tratadas con alperujo fresco, compost I y compost II presentaron un contenido del 72%, 78% y 82% superior al valor de la materia orgánica de las parcelas con abonado mineral. Este aumento de la materia orgánica del suelo después de la aplicación continua no es hecho extraño debido a que los compost de alperujo empleados y el alperujo fresco presentaron el alto contenido de materia orgánica (Tabla V.4 y V.5). Este aumento es importante en condiciones semiáridas donde los suelos agrícolas son pobres en materia orgánica y están sujetos a una intensa degradación, como es el caso en muchas áreas de las explotaciones de aceite de oliva. Nuestros datos confirman los resultados previos, lo que indica que la materia orgánica del suelo aumentó después de las enmiendas con los distintos compost de alperujo elaborados y el alperujo fresco durante las primeras semanas después de la aplicación (Piotrowska y cols., 2006) o después de varios años (López-Piñeiro y cols., 2008, García-Ruiz y cols., 2013, Fernández-Hernández y cols., 2014).



**Fig. V. 14.** Contenido de nitrógeno total del suelo olivar (0-20 cm de profundidad) al principio (inicial) y después de 5 años (quinto año) de aplicación agronómica de los fertilizantes inorgánicos y diferentes enmiendas orgánicas

AM: abonado mineral; AF: alperujo fresco; Compost I: compost elaborado con alperujo nuevo, estiércol de oveja y restos de poda; Compost II: compost el alperujo nuevo, hoja y urea.

Resultados expresados en materia seca, como valor medio  $\pm$  error estándar (n=3).

Letras diferentes en columna indica diferencias significativas entre tratamientos para una  $p < 0.05$ .

Otras propiedades del suelo relacionadas directa o indirectamente con el contenido de materia orgánica en el mismo también aumentaron con los distintos tratamientos de compost y alperujo fresco, aunque dependía del número de años de aplicación. Esto es lo que ocurrió, tal y como se puede observar en la Figura V.14, con el contenido de nitrógeno total. En los suelos tratados con los distintos compost de alperujo y el alperujo fresco presentaron un contenido significativamente mayor tras cinco años consecutivos de aplicaciones habiendo iniciado el ensayo sin diferencias significativas para ninguno de los tratamientos. Tras cinco años se observó como en los suelos

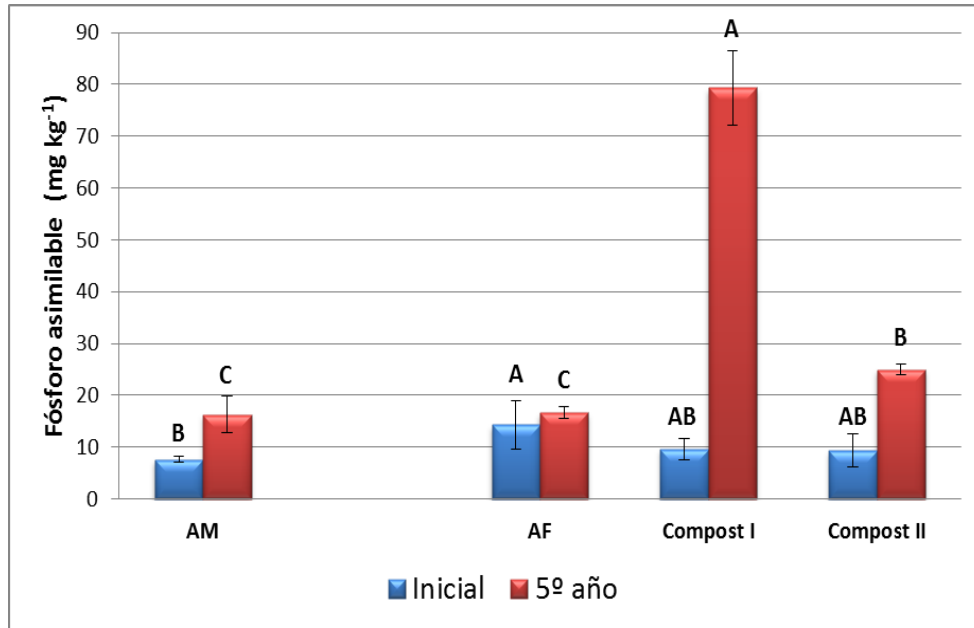
con aplicación de compost I y compost II se produjo un aumento en el contenido de nitrógeno observándose diferencias significativas entre el inicio y el último año para cada una de las aplicaciones. En el caso del alperujo fresco el aumento de nitrógeno presentó el mismo comportamiento que el descrito para el caso de la materia orgánica, en el que tiene lugar un incremento del contenido de nitrógeno pero sin diferencias significativas entre el primer y último año de ensayo ya que, al ser un material, como se ya se ha indicado no degradado, y presentar una relación C/N muy elevada, requiere de todo el nitrógeno existente en él y en sus alrededores para que los microorganismos encargados de la transformación de este alperujo puedan llevarlo a cabo. De los datos obtenidos se puede afirmar que los tratamientos con compost I, compost II y alperujo fresco presentaron un contenido del 55%, 62% y 49% superior al contenido de nitrógeno en las parcelas con abonado mineral.

Estos resultados ya han sido descritos por diferentes autores, con aplicación de compost de alperujo con diferente composición de materias primas y tras años de aplicación consecutiva (López-Piñeiro y cols., 2008, García-Ruiz y cols., 2013, Fernández-Hernández y cols., 2014). Este resultado sugiere que el nitrógeno orgánico en el alperujo de compostado es muy resistente a la mineralización, y por lo tanto se retiene en el suelo (García-Ruiz y cols., 2013), evitando su pérdida por lixiviación en el propio suelo y evitando la contaminación de aguas subterráneas.

El fósforo disponible en los suelos tratados con los distintos tipos de compost fue mayor que el existente en las parcelas de aplicación de abono mineral, excepto para la aplicación de alperujo fresco que no presenta diferencias significativas con el abonado mineral pero sí con el resto de tratamientos orgánicos empleados, tal y como queda reflejado en la Figura V.15. Tanto para el compost I como en el compost II se observaron diferencias significativas en los valores de fósforo obtenidos para el quinto año con respecto al inicial, siendo estos valores mayores para el último año. Para el

caso del alperujo fresco sigue el mismo comportamiento descrito anteriormente en el que no se observan diferencias significativas entre años. En las parcelas de olivar en las que se aplica compost I y compost II, el fósforo disponible en los suelos fue del 386% y 53% superiores a la de los suelos con abonado mineral. Este aumento del contenido de fósforo disponible es mayor para aquellos suelos en los que se ha aplicado compost elaborado con restos de poda de olivar triturados como material estructurante, hecho que ya es observado y descrito por Fernández-Hernández y cols. (2014) tras la aplicación continuada durante seis años de distintos tipos de compost algunos de ellos elaborados a base de restos de poda triturada. Aumento que era debido a la mayor disponibilidad del fósforo del suelo contenido e incluso antes de la aplicación de las enmiendas orgánicas por la presencia de restos de poda. En ningún caso fue debido a que el contenido de fósforo en el compost I es mucho mayor al alperujo fresco y/o al compost II (Tabla V.4 y V.5).

El aumento global en el contenido del suelo de fósforo disponible atribuible a la aplicación de compost también es consistente con los resultados de otros estudios con otros tipos de residuos orgánicos. Paredes y cols. (2005) obtuvieron que el contenido de fósforo disponible tienda a aumentar con el total de fósforo añadido al suelo a través de los materiales compostados (alpechín, residuos del desmotado de algodón, y lodos de depuradora), López-Piñeiro y cols. (2008) observaron un aumento del 100% en el contenido de fósforo disponible en el suelo tratado con compost de alperujo después de 5 años, al igual que García-Ruiz y cols. (2013) que obtuvieron los mismos resultados tras cuatro años de aplicación de compost de alperujo en olivar.



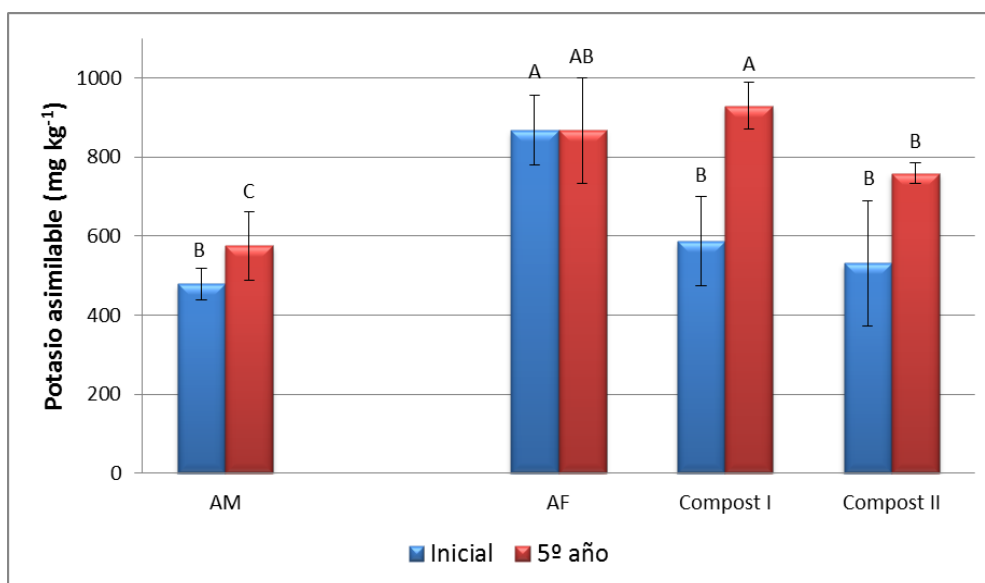
**Fig. V. 15.** Contenido de fósforo asimilable del suelo olivar (0-20 cm de profundidad) al principio (inicial) y después de 5 años (quinto año) de aplicación agronómica de los fertilizantes inorgánicos y diferentes enmiendas orgánicas

AM: abonado mineral; AF: alperujo fresco; Compost I: compost elaborado con alperujo nuevo, estiércol de oveja y restos de poda; Compost II: compost el alperujo nuevo, hoja y urea.

Resultados expresados en materia seca, como valor medio  $\pm$  error estándar (n=3).

En la Figura V.16 se puede observar cómo, para todos los tratamientos llevados a cabo con la aplicación a suelo de olivar de distintos tipos de compost y alperujo fresco se observó que tras cinco años continuados de aplicación aumentó el contenido de potasio disponible con diferencias significativas entre todos los tratamientos orgánicos y el tratamiento mineral. Tanto para el compost I como para el compost II se observaron diferencias significativas en los valores de potasio obtenidos para el quinto año con respecto al inicial, siendo estos valores mayores para el último año, mientras que el caso del alperujo fresco seguía el mismo comportamiento descrito anteriormente en el

que no se observaban diferencias significativas entre años. En las parcelas de olivar en las que se aplicó alperujo fresco, compost I y compost II, el potasio disponible en los suelos fue del 51%, 62% y 32% respectivamente superiores a la de los suelos con abonado mineral. Con la aplicación de compost I se consiguió un aumento en los suelos tratados del contenido de potasio asimilable del 58% entre el inicio y el quinto año de ensayo, siendo este aumento del 43% para el compost II. Este resultado también fue obtenido por otros estudios en los que se utilizan residuos de alperujo compostados y sin compostar (López-Piñeiro y cols., 2008), García-Ruiz y cols., (2013) obtienen aumentos de potasio intercambiable a los tres años de aplicación de compost de alperujo, Fernández-Hernández y cols. (2014) también obtuvieron aumentos de potasio disponible en suelos tratados con diferentes mezclas de compost tras seis años de aplicación.



**Fig. V. 16.** Contenido de potasio asimilable del suelo olivar (0-20 cm de profundidad) al principio (inicial) y después de 5 años (quinto año) de aplicación agronómica de los fertilizantes inorgánicos y diferentes enmiendas orgánicas

AM: abonado mineral; AF: alperujo fresco; Compost I: compost elaborado con alperujo nuevo, estiércol de oveja y restos de poda; Compost II: compost el alperujo nuevo, hoja y urea.

Resultados expresados en materia seca, como valor medio  $\pm$  error estándar (n=3).

Letras diferentes en columna indica diferencias significativas entre tratamientos para una  $p < 0.05$ .

Por lo tanto, la aplicación de compost de alperujo al suelo podría ser utilizado como una fuente alternativa a suelos pobres de potasio.

La aplicación controlada de los distintos tipos de compost y alperujo fresco empleados para llevar a cabo esta Tesis Doctoral en el olivar dio lugar a efectos positivos sobre el suelo (Figura V.13 a V.16), afectando en consecuencia al estado nutricional del olivo (Figura V.3 a V.6 y Tablas V.6 a V.9) y a las características del fruto (Tabla V.10). El efecto más significativo de

la aplicación de compost fue que produjo un aumento de los niveles de materia orgánica del suelo, nitrógeno total, y la presencia de fósforo y potasio en todas las parcelas enmendadas (Figura V.13 a V.16). Estos resultados ponen de manifiesto los beneficios o alternativa del compost de alperujo como enmienda orgánica tanto en cultivo en invernadero (López-Piñeiro y cols., 2011) como en plantaciones de olivar (García-Ruiz, y cols., 2013; Fernández-Hernández, y cols., 2014) e incluso con la utilización de diferentes tipos de compost de alperujo (Fernández-Hernández, y cols., 2014). Así como la necesidad del alperujo fresco a través del compostaje (Serramiá, 2010).

Los dos compost estudiados no deben identificarse con una enmienda orgánica convencional, ya que las enmiendas orgánicas de los suelos cultivados se conciben generalmente como grandes aportes de material orgánico, cuyo fin es el de mantener o incrementar los niveles de materia orgánica del suelo, con unos contenidos más o menos altos de humedad y bajas concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio por tonelada de materia fresca aportada, mientras que los compost suelen contener niveles de humedad más bajos y, además de mantener o mejorar el contenido la materia orgánica del suelo, aportan nutrientes de forma gradual debido a su alta estabilidad, derivada del tratamiento biológico controlado inherente al propio proceso de compostaje (Moral y Muro, 2008).

La incorporación al suelo de materiales orgánicos con un grado de madurez inadecuado, como es el caso del alperujo fresco, tiene como consecuencia más importante la inmovilización del nitrógeno asimilable de dicho suelo por las poblaciones de microorganismos, lo que puede generar una deficiencia de dicho elemento en la planta y, por tanto, una disminución del desarrollo y el rendimiento de los cultivos. Por otro lado, la adición de materiales orgánicos no estabilizados puede provocar también la inmovilización de otros nutrientes esenciales, como pueden ser el azufre, fósforo, calcio o magnesio, debido al incremento de biomasa microbiana que se produce al

adicionar una fuente de carbono lábil al suelo y a la competencia de los microorganismos con las plantas por la absorción de estos nutrientes. Además, la intensa y rápida descomposición de un material orgánico inestable provoca una disminución de la concentración de oxígeno en la raíz de las plantas dando lugar a condiciones anaerobias y reductoras, lo que unido al aumento de la temperatura del suelo a nivel radicular, provoca un descenso en la actividad metabólica de la planta (Iglesias - Jiménez y cols., 2008). Esta situación se ve agravada además por la producción de sustancias que inhiben el crecimiento y el desarrollo de las plantas (amoníaco, óxido de etileno y ácidos orgánicos, entre otros) durante la descomposición en el suelo del material inorgánico inmaduro.



## **VI. CONCLUSIONES**



A partir de los resultados obtenidos, se deducen las siguientes conclusiones:

- I. El alperujo procedente del sistema de extracción de Aceite de Oliva Virgen de dos fases, junto con otras materias primas empleadas como fuentes de nitrógeno y material estructurante (restos de poda triturados, hoja de la limpia de aceituna, estiércol de oveja, urea), presentan unas características físico-químicas adecuadas para someterse a un proceso de compostaje obteniéndose un compost de alta calidad.
- II. Los compost I y compost II elaborados, se clasifican dentro de la categoría de 'Compost de Alperujo' según el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. Clasificando al alperujo fresco, como 'Alperujo Desecado'.
- III. La aplicación de los tratamientos ensayados (fertilización orgánica e inorgánica), permiten, en las hojas, el mantenimiento de los niveles de nutrientes adecuados durante todos los años de aplicación, de forma que el olivo puede desarrollarse perfectamente y cumplir su ciclo vital.
- IV. El empleo de fertilizantes orgánicos en las parcelas de olivar, ha dado lugar a la obtención de frutos con un mayor peso medio, un mayor rendimiento graso sobre seco y una mayor producción de aceite, que en aquellas en las que se empleó al abonado mineral. El incremento de peso medio del fruto del compost I, compost II y alperujo fresco, fue del 10%, 45% y 1.5% respectivamente con respecto al abonado mineral. Por su parte, el incremento del rendimiento graso sobre seco fue igualmente del 13%, 19% y 26% respectivamente, respecto al abonado mineral.

- V. Los composts estudiados, mejoraron las propiedades físico-químicas del suelo, dando lugar a un incremento de los niveles de materia orgánica en el suelo del 72% para el alperujo fresco, 78% para el compost I y un 82% para el compost II con respecto al abonado mineral. En cuanto al contenido de nitrógeno total, se obtuvo un incremento del 49% para el alperujo fresco, 55% para el compost I y un 62% para el compost II con respecto al abonado mineral. En el caso del fósforo asimilable, el incremento fue el más significativo, 386% para el compost I y un 53% para el compost II con respecto al abonado mineral. Finalmente, el contenido de potasio asimilable, aumentó el 51% para el alperujo fresco, 62% para el compost I y un 32% para el compost II con respecto al abonado mineral.
- VI. Los aceites obtenidos presentaron unos valores de calidad reglamentada dentro de los límites establecidos por el Reglamento (UE) N° 1348/2013 de la Comisión, de 16 de diciembre de 2013, que modifica el Reglamento (CEE) N°2568/91 relativo a las características de los aceites de oliva y de los aceites de orujo de oliva y sobre sus métodos de análisis, clasificándolos en la categoría de Aceite de Oliva Virgen Extra, sin observarse influencia del tipo de fertilización empleada, abonado mineral, alperujo fresco, compost I y compost II.
- VII. Tanto el alperujo fresco como los compost de alperujo obtenidos, pueden emplearse como una vía de fertilización alternativa al abonado mineral en agricultura ecológica y convencional, pues se trata de unas enmiendas que, además de mantener o mejorar el contenido de materia orgánica del suelo, aportan nutrientes de forma gradual como consecuencia de su alta estabilidad debida al tratamiento biológico controlado inherente al propio proceso de compostaje. Dado que este aporte de nutrientes es gradual, la respuesta en el olivar será a medio o

largo plazo, por lo que en caso de poder detectar deficiencias nutritivas iniciales, será preciso la realización de aportes foliares.

VIII. Estas prácticas culturales se encuadran dentro de una Agricultura Sostenible, futuro del olivar andaluz, haciendo este cultivo más competitivo a nivel europeo.



## **VII. BIBLIOGRAFÍA**



ABAD, M., NOGUERA, P., NOGUERA, V., ROIG, A., CEGARRA, J., PAREDES, C., 1997. Reciclado de residuos orgánicos y su aprovechamiento como sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura* 19: 92-109.

ABAD, M., PUCHADES, R., 2002. Compostaje de Residuos Orgánicos generados en la Hoya de Buñol (Valencia) con fines hortícolas. Asociación para la promoción socio-económica interior. Hoya de Buñol, Valencia.

ABBOTT, L.K., MURPHY, D.V., 2007. What is soil biological fertility? In: Abbott, L.K. and Murphy, D.V. (Eds.). *Soil Biological Fertility - A Key to Sustainable Land Use in Agriculture*. 1-15 pp. Springer, The Netherlands.

ABID, N., SAYADI, S., 2006. Detrimental effect of olive mill wastewater on the composting process of agricultural wastes. *Waste Management* 26: 1099-1107.

ABIVEN, S., MENSASSERI, S., CHENU, C., 2008. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability - A literature analysis. *Soil Biology & Biochemistry* 41: 1-12.

ACOSTA-MARTÍNEZ, V., KLOSE, S., ZOBECK, T.M., 2003. Enzyme activities in semi-arid soils under conservation reserve program, native rangeland, and cropland. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 166: 699-707.

AGGELIDES, S.M., LONDRA, P.A., 2000. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil. *Bioresource Technology* 71: 253-259.

AGUILAR, J., DELGADO, G., DELGADO R., DELGADO, M., FERNÁNDEZ, J., NOGALES, R. ORTEGA, E., PÁRRAGA, J., SAURA, I., SIERRA, C., SIMÓN,

M., 1987. Memoria del mapa de suelos de la provincia de Jaén. Escala 1:200.000. Ed. Universidad de Granada-Excma. Diputación Provincial de Jaén.

AGUILAR, J., FERNÁNDEZ, J., FERNÁNDEZ, E., RODRÍGUEZ, T., 1996. Jerarquización de parámetros edáficos en la evaluación de la productividad del olivo. *Revista de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo* 1: 101-110.

AGUILERA, M.P., BELTRÁN, G., ORTEGA, D., FERNÁNDEZ, A., JIMÉNEZ, A., UCEDA, M., 2005. Characterisation of virgin olive oil of Italian olive cultivars: 'Frantoio' and 'Leccino', grown in Andalusia. *Food Chemistry*, 89: 387-391.

AIKEN, G.R., MCKNIGHT, D.M., WERSHAW, R.L., MACCARTHY, P., 1985. An introduction to humic substances in soil, sediment, and water. En: Aiken, G.R., McKnight, D.M., Wershaw, R.L. and MacCarthy, P. (Eds.). *Humic Substances in Soil, Sediment, and Water: Geochemistry, Isolation and Characterization*. 1-9 pp. Wiley-Interscience, New York.

AIT BADDIB, G., CEGARRA, J., MERLINA, G., REVEL, C., HAFIDI M., 2009. Qualitative and quantitative evolution of polyphenolic compounds during composting of an olive-mill waste-wheat straw mixture. *Journal of hazardous materials* 165: 1119-1123.

ALBA MENDOZA, J., HIDALGO CASADO, F., MARTÍNEZ ROMÁN, F., RUIZ GÓMEZ, M.A., MOYANO PÉREZ, M.J., 1993. Procesos de elaboración: nuevas técnicas de centrifugación. . VI Simposium Científico-Técnico Expoliva 93. Jaén. *Dossier Oleo*. 2:40-59.

ALBIACH, R., CANET, R., POMARES, F., INGELMO, F., 2001. Organic matter components and aggregate stability after the application of different amendments to a horticultural soil. *Bioresource Technology* 77: 109-114.

ALBUQUERQUE, J. A., GONZÁLEZ, J., GARCÍA, D., CEGARRA, J., 2004. Agrochemical characterization of “alperujo”, a solid by-product of the two-phase centrifugation method of olive oil extraction. *Bioresource Technology* 92: 195-200.

ALBURQUERQUE, J., GONZÁLVEZ, J., GARCÍA, D., CEGARRA, J., 2006a. Effects of bulking agent on the composting of “alperujo”, the solid by-product of two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Process Biochemistry* 41: 127-132.

ALBURQUERQUE, J., GONZÁLVEZ, J., GARCÍA, D., CEGARRA, J., 2006b. Composting of a solid olive-mill by-product (“alperujo”) and the potential of the resulting compost for cultivating pepper under commercial conditions. *Waste Management* 26: 620-626.

ALBURQUERQUE, J., GONZÁLVEZ, J., GARCÍA, D., CEGARRA, J., 2006c. Measuring detoxification and maturity in compost made from “alperujo”, the solid by-product of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system. *Chemosphere* 64: 470-477.

ALBURQUERQUE, J.A., GONZÁLVEZ, J., GARCÍA, D., CEGARRA, J., 2007. Effects of a compost made from the solid by-product (“alperujo”) of the two-phase centrifugation system for olive oil extraction and cotton gin waste on growth and nutrient content of ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Bioresource Technology* 98: 940-945.

ALBURQUERQUE, J.A., GONZÁLVEZ, J., TORTOSA, G., AIT BADDI, G., CEGARRA, J., 2009. Evaluation of “alperujo” composting based on organic

matter degradation, humification and compost quality. *Biodegradation* 20: 257–270.

ALBURQUERQUE, J.A., DE LA FUENTE, C., BERNAL, M.P., 2011. Improvement of soil quality after “alperujo” compost application to two contaminated soils characterised by differing heavy metal solubility. *Journal of Environmental Management* 92: 733-741.

ALEIXANDRE, J.L., GARCÍA, M.J., 1999. *Industrias Agroalimentarias*. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

ALFANO, G., BELLI, C., LUSTRATO, G., RANALLI, G., 2008. Pile composting of two-phase centrifuged olive husk residues: Technical solutions and quality of cured compost. *Bioresource Technology* 99: 4694-4701.

ALLISON, F. E. 1973. *Soil organic matter and its role in crop production*. Elsevier. New York.

ALTIERI, R., ESPOSITO, A., 2008. Olive orchard amended with two experimental olive mill wastes mixtures: Effects on soil organic carbon, plant growth and yield. *Bioresource Technology* 99: 8390-8393.

ALTIERI, R., ESPOSITO, A., 2010. Evaluation of the fertilizing effect of olive mill waste compost in short-term crops. *International Biodeterioration & Biodegradation* 64: 1-5.

ANDREU, J., BETRÁN, J., DELGADO, I., ESPADA, J.L., GIL, M., GUTIÉRREZ, M., IGUÁCEL, F., ISLA, R., MUÑOZ, F., ORÚS, F., PÉREZ, M., QUÍLEZ, D., SIN, E., YAGÜE, M.R., 2006. *Fertilización nitrogenada. Guía de actualización*.

23-29 pp. Gobierno de Aragón Departamento de Agricultura y Alimentación (Eds.).

APARICIO, R., HARWOOD, J., 2003. Manual del Aceite de Oliva. AMV-Mundiprensa, Madrid.

ARANCON, N.Q., LEE, S., EDWARDS, C.A., ATIYEH, R., 2003. Effects of humic acids derived from cattle, food and paper-waste vermicomposts on growth of greenhouse plants. *Pedobiologia* 47: 741-744.

ARANCON, N.Q., EDWARDS, C.A., LEE, S., BYRNE, R., 2006. Effects of humic acids from vermicomposts on plant growth. *European Journal of Soil Biology* 42: S65-S69.

ARNON, D.I., SCOUT, P.R., 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special referente to copper. *Plant Physiology*, 14: 371-375.

ARVANITOYANNIS, I.S., KASSAVETI, A., 2008. Olive oil waste management: treatment methods and potential uses of treated waste. In: Arvanitoyannis, I.S. (Author). *Waste Management for the Food Industries*. 453-568 pp. Elsevier Academic Press, Burlington, Vermont.

ATIYEH, R.M., LEE, S., EDWARDS, C.A., ARANCON, N.Q., METZGER, J.D., 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology* 84: 7-14.

AVIANI, I., LAOR, Y., MEDINA, S., KRASSNOVSKY, A., RAVIV, M., 2010. Co-composting of solid and liquid olive mill wastes: Management aspects and the

horticultural value of the resulting composts. *Bioresource Technology* 101: 6699-6706.

AWAD, A., SALMAN, H., HUNG, Y., 2008. Tratamiento de residuos de aceite de oliva. En: Wang, L.K., Hung, Y., Lo, H.H. and Yapijakis, C. (Eds.). *Tratamiento de los Residuos de la Industria del Procesado de Alimentos*. 147-237 pp. Editorial Acribia S.A., Zaragoza.

AYUSO, M., HERNÁNDEZ, T., GRACIA, C. 1996. Effect of humic fraction from urban wastes and other more evolved organic material son seed germination. *J, Se, Food Agric.* 72:461-468.

BACA, M. T., DELGADO, I. C., DE NOBILI, M., ESTEBAN, E., SÁNCHEZ, R. A.J., 1995. Influence of compost maturity on nutrient status of sunflower. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 26(1-2): 169-181.

BAETA-HALL, L., SÁÁGUA, M.C., BARTOLOMEU, M.L., ANSELMO, A.M., ROSA, M.F., 2005. Bio-degradation of olive oil husks in composting aerated piles. *Bioresource Technology* 96: 69-78.

BALIS, C., NIKOLAROU, S., COPPENS, S., MARI, J., JONES, C.E., 2001. Composting the two phase olive oil mill residues. *Acta Horticulturae* 549: 71-80.

BARKER, A.V., 2005. Utilización de los compost en la producción de tepes y manejo de céspedes. En: Stoffella, P.J. y Kahn, B.A. (Eds.). *Utilización de Compost en los Sistemas de Cultivo Hortícola*. 201-239 pp. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

BARRANCO, D., FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R., RALLO, L. (Eds), 2008. *El cultivo del olivo*. Ediciones Mundi-Prensa. España. 800 p

BARRETO DA SILVA, C., 2009. Aplicación directa de residuos de almazaras de dos fases en un olivar con riego localizado: Efectos en las propiedades edáficas y el cultivo. Tesis Doctoral. Departamento de Biología Vegetal, Ecología y Ciencias de la Tierra. Universidad de Extremadura.

BAUER, A., BLACK, A.L., 1994. Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. of Soil Science Society of America Journal 58: 185-193.

BELLAPART, C. 1988. Agricultura biológica en equilibrio con la agricultura química. Fertilización natural. La agricultura del Futuro, Mundi-Prensa.

BELTRÁN, G., JIMÉNEZ, A., UCEDA, M., 1995. Efecto del régimen hídrico del cultivo sobre la fracción fenólica del aceite de oliva, variedad 'Arbequina'. 1<sup>er</sup> Simposi de L'Olivera Arbequina a Catalunya. Les Borges Blanques, 153-157 pp.

BELTRAN G, JIMÉNEZ A, AGUILERA MP, UCEDA M., 2000. Análisis mediante HPLC de la fracción fenólica del aceite de oliva virgen de la variedad Arbequina. Relación con la medida del amargor K225 y la estabilidad. Grasas y Aceites 51: 320-324.

BELTRÁN, G., DEL RÍO, C., SÁNCHEZ, S., MARTÍNEZ, L., 2004a. Seasonal changes in olive fruit characteristics and oil accumulation during ripening process. Journal of the Science of Food and Agriculture, 84: 1783-1790.

BELTRÁN, G., UCEDA, M., HERMOSO, M., FRÍAS, L., 2004b. Maduración. En El cultivo del olivo. Barranco, D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L. (Eds.). Mundi-Prensa-Junta de Andalucía, Madrid, 159-184 pp.

BERNAL, M.P., PAREDES, C., SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A., CEGARRA, J., 1998. Maturity and stability parameters of compost prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*. 63:91-99.

BERNAL, P., GONDAR, D., 2008a. Producción y gestión de los residuos orgánicos: situación actual a nivel mundial, comunitario y estatal. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). *Compostaje*. 397-424 pp. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

BERNAL, M.P., ALBURQUERQUE, J.A., MORAL, R., 2008b. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology* 100: 5444-5453.

BERNAL, M.P., ALBURQUERQUE, J.A., MORAL, R., 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. *Bioresource Technology* 100: 5444-5453.

BIDLINGMAIER, W., 1996. Odour emission from composting plants. In: De Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B., Papi, T. (Eds.). *The Science of Composting*. Vol. I. 71-79 pp. Blackie Academic and Professional, London.

BORRERO, C., INFANTES, M.J., GONZÁLEZ, E., TELLO, J.C., AVILÉS, M., 2005. Relation between suppressiveness to tomato *Fusarium* wilt and microbial populations in different growth media. *Acta Horticulturae* 697: 425-430.

BOSKOU, D., 1996. Olive Oil Quality in Boskou D.(Ed.) *Olive Oil: Chemistry and Technology*. 101-120 pp. AOCS Press, Champaign, IL, USA.

BOULD, C., 1966. Leaf analysis of deciduous fruits. In: Fruit nutrition, Childers, N.F. (Ed.) Horticultural Publications. New Jersey.

BOULTER, J.I., BOLAND, G.J., TREVORS, J.T., 2000. Compost: a study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16: 115-134.

BREMNER, J M., 1965. Inorganic forms of nitrogen. *Agronomy*, 9: 1179-237.

BRIZ, J., 2004. Evaluación del bienestar y maduración urbanos. En: Briz, J. (Ed.). *Naturación Urbana. Cubiertas ecológicas y mejora medioambiental*. 73-80 pp. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

BROWN, P.H., 1994. Seasonal variations in fig (*Ficus carica* L.) leaf nutrient concentrations. *Hortscience*, 29: 871-873.

BUENO, P., DÍAZ, M.J., CABRERA, F., 2008. Factores que afectan al proceso de compostaje. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). *Compostaje*. 111-140 pp. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

BUSTAMANTE, M.A., PAREDES, C., MARHUENDA-EGEA, F.C., PÉREZ-ESPINOSA, A., BERNAL, M.P., MORAL, R., 2008. Co-composting of distillery wastes with animal manures: Carbon and nitrogen transformations in the evaluation of compost stability. *Chemosphere* 72: 551-557.

BUTLER, T.A., SIKORA, L.J., STEINHILBER, P.M., DOUGLASS, L.W., 2001. Compost age and sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost. *Journal of Environmental Quality* 30: 2141-2148.

CABRERA, D., LÓPEZ-PIÑEIRO, A., ALBARRÁN, A., PEÑA, D., 2010. Direct and residual effects on diuron behaviour and persistence following two-phase olive mill waste addition to soil: Field and laboratory experiments. *Geoderma* 157: 133-141.

CABRERA, F., MARTÍN-OLMEDO, P., LÓPEZ, R., MURILLO, J. M. 2005. Nitrogen mineralization in soils amended with composted olive mill sludge. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 71: 249-258.

CANET, R., ALBIACH, M.R., 2008. Aplicaciones del compost en Agricultura Ecológica. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). *Compostaje*. pp. 379-395. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

CAPUTO, A.C., SCACCHIA, F., PELAGAGGE, P., 2003. Disposal of by-products in olive oil industry: waste to energy solutions. *Applied Thermal Engineering* 23: 197-214.

CARAVACA, F., TORTOSA, G., CARRASCO, L., CEGARRA, J., ROLDÁN, A., 2006. Interaction between AM fungi and a liquid organic amendment with respect to enhancement of the performance of the leguminous shrub *Retama sphaerocarpa*. *Biology and Fertility of Soils* 43: 30-38.

CARDOSO, M.R., PAQUALOTTO, L., ROCHA, A., MARINHO, J.G., LOPES, D., ARAÚJO, G., 2006. Estímulo no crescimento e na hidrólise de ATP em raízes de alface tratadas com humatos de vermicomposto. I – Efeito da concentração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 30: 649-656.

CARMONA, E., ABAD, M., 2008. Aplicación del compost en viveros y semilleros. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). *Compostaje*. 397-424 pp. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

CARPENA, R.O., BERNAL, M.P., 2007. Claves de la fitorremediación: Fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas* 16(2): 1-3.

CARPENTER-BOGGS, L., KENNEDY, A.C., REGANOLD, J.P., 2000. Organic and biodynamic management: effects on soil biology. *Soil Science Society of America Journal* 64: 1651-1659.

CARRIÓN, C., GARCÍA DE LA FUENTE, R., FORNES, F., PUCHADES, R., ABAD, M., 2008. Acidifying composts from vegetable crop wastes to prepare growing media for containerized crops. *Compost Science & Utilization* 16: 20-29.

CASA, R., D' ANNIBALE A., PIERUCETTI, F., STAZI, S. R., GIOVANNOZZI SERMANNI, G., LO CASCIO, B., 2003. Reduction of the phenolic components in olive-mill wastewater by an enzymatic treatment and its impact on durum wheat (*Triticum durum* Desf.) germinability. *Chemosphere* 50: 959-966.

CASTALDI, P., ALBERTI, G., MERELLA, R., MELIS, P., 2005. Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity. *Waste Management* 25: 209-213.

CASTRO, O., TURRO, J., SABATÉ, J., HUERTA, O., SOLIVA, M., ARAGAY, M., 2006. Aplicación de residuos orgánicos de distintos orígenes a un cultivo de lechugas. Influencia sobre la producción y la calidad. *Residuos* 92: 46-54.

CAYUELA, M.L., BERNAL, M.P., ROIG, A., 2004. Composting olive mill waste and sheep manure for orchard use. *Compost Science & Utilization* 12: 130-136.

CAYUELA, M.L., SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A., ROIG, A., 2006. Evaluation of two different aeration systems for composting two-phase olive mill wastes. *Process Biochemistry* 41: 616-623.

CAYUELA, M.L., MILLNER, P.D., MEYER, S.L.F., ROIG, A., 2008a. Potential of olive mill waste and compost as biobased pesticides against weeds, fungi, and nematodes. *Science of the Total Environment* 399: 11-18.

CAYUELA, M.L., MONDINI, C., SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A., ROIG, A., 2008b. Chemical properties and hydrolytic enzyme activities for the characterisation of two-phase olive mill wastes composting. *Bioresource Technology* 99: 4255-4262.

CAYUELA, M.L., SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A., ROIG, A., 2010. Two-phase olive mill waste composting: enhancement of the composting rate and compost quality by grape stalks addition. *Biodegradation* 21: 465-473.

CEGARRA, J., ROIG, A., NAVARRO, A.F., BERNAL, M.P., ABAD, M., CLIMENT, M.D., ARAGÓN, P., 1993. Características, compostaje y uso agrícola de residuos sólidos urbanos. En: Ponencias y Comunicaciones a las Actas de las Jornadas de Recogidas Selectivas en Origen y Reciclaje. pp. 46-55. SADECO-Empresa Municipal de Saneamientos de Córdoba S.A., Córdoba.

CEGARRA, J., ALBURQUERQUE, J.A., GONZÁLVEZ, J., TORTOSA, G., 2005a. Composting "alperujo", the main by-product of the spanish olive oil industry. In: Bernal, M.P., Moral, R., Clemente, R. and Paredes, C. (Eds.). *Sustainable Organic Waste Management for Environmental Protection and Food Safety*. pp. 281-283. FAO and CSIC, Murcia.

CEGARRA, J., ALBURQUERQUE, J.A., TORTOSA, G., 2005b. Utilización de estiércoles y residuos vegetales para compostar alperujo, el principal subproducto de la industria extractiva del aceite de oliva en España. Influencia sobre el proceso y la calidad del compost. En: Actas II Congreso sobre Residuos Biodegradables y Compost, Sevilla. 5 pp. Instituto para la Sostenibilidad de los Recursos, Madrid. Formato CD-ROM.

CEGARRA, J., ALBURQUERQUE, J.A., GONZÁLVEZ, J., TORTOSA, G., CHAW, D., 2006. Effects of the forced ventilation on composting of a solid olive-mill by-product ("alperujo") managed by mechanical turning. *Waste Management* 26: 1377-1383.

CEGARRA, J., PAREDES, C., 2008. Residuos agroindustriales. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). *Compostaje*. 519-551 pp. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

CHANEY, R.L., MALIK, M., LI, Y.M., BROWN, S.L., BREWER, E.P., ANGLE, J.S., BAKER, A.J.M., 1997. Phytoremediation of soil metals. *Current Opinion in Biotechnology* 8: 279-287.

CHAOUI, H. I., ZIBILSKE, L. M. AND OHNO, T., 2003. Effects of earthworm cast and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biology and Biochemistry*. 35: 295-302.

CHEN, Y., AVIAD, T., 1990. Effects of humic substances on plant growth. In: McCarthy, P., Clapp, C.E., Malcolm, R.L. and Bloom, P.R. (Eds.). *Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings*. 161-187 pp. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison.

CHEN, Z.S., LEE, G.J., LIU, J.C., 2000. The effects of chemical remediation treatments on the extractability and speciation of cadmium and lead in contaminated soils. *Chemosphere* 41: 235-242.

CHERIF, H., AYARI, F., OUZARI, H., MARZORATI, M., BRUSETTI, L., JEDIDI, N., HASSEN, A., DAFFONCHIO, D., 2009. Effects of municipal solid waste compost, farmyard manure and chemical fertilizers on wheat growth, soil composition and soil bacterial characteristics under Tunisian arid climate. *European Journal of Soil Biology* 45: 138-145.

CHICA, A.F., GARCÍA, J.L., 2008. Aspectos técnicos en el desarrollo y control del proceso de compostaje. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). *Compostaje*. 43-74 pp. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

CIMATO, A., MARRANCI, M., TATTINI, M., 1990a. The use foliar fertilization to modify sinks competition and to increase yield in olive (*Olea europea* cv. Frantoio). *Acta Horticulturae*. 286: 175-178.

CIMATO, A., MATTEI, A., OSTI, M., 1990b. Variation of polyphenol composition with harvesting period. *Acta Horticulturae*, 286: 453-456.

CIMATO, A., 1991. La caratterizzazione dell'olivo extra vergina tipico toscano. Il anno de ricerca. Consorcio Regional olio Extra Vergine di Oliva Tipico Toscano. Florencia, 157 pp.

CIRES, M. J. 2007. Influencia de la época de cosecha de aceitunas de las variedades Leccino y Frantoio sobre las características del aceite de oliva. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 34p.

CLEMENTE, R., WALKER, D.J., BERNAL, M.P., 2004. Uso de Enmiendas Orgánicas en la Fitorrecuperación de Suelos Contaminados por Metales Pesados. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS) - CSIC, Murcia.

CLEMENTE, R., BERNAL, M.P., 2006. Fractionation of heavy metals and distribution of organic carbon in two contaminated soils amended with humic acids. *Chemosphere* 64: 1264-1273.

CLEMENTE, R., PAREDES, C., BERNAL, M. P., 2007. A field experiment investigating the effects of olive husk and cow manure on heavy metal availability in a contaminated calcareous soil from Murcia (Spain). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118: 319-326.

CONTRERAS-RAMOS, S.M., ÁLVAREZ-BERNAL, D., TRUJILLO-TAPIA, N., DENDOOVEN, L., 2004. Composting of tannery effluent with cow manure and wheat Straw. *Bioresource Technology*.

COOK, R.J., BAKER, K.F., 1983. *The Nature and Practice of Biological Control of Plant Pathogens*. 3rd Ed. APS Press, St. Paul, Minnesota.

COSTA, F., GARCÍA, C., HERNÁNDEZ, T., POLO, A., 1991. *Residuos Orgánicos Urbanos. Manejo y Utilización*. CSIC-Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CEBAS-Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Murcia.

COURTNEY, R.G., MULLEN, G.J., 2008. Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. *Bioresource Technology* 99: 2913-2918.

COVENTRY, E., NOBLE, R., WHIPPS, J.M., 2001. Composting of onion and other vegetable wastes, with particular reference to *Allium* white rot. Horticulture LINK Project Final Report CSA 4862. Horticulture Research International. Wellesbourne, Warwick.

CRINER, G., KEZIS, A., O'CONNOR, J., 1995. Regional composting of waste paper and food. *BioCycle* 36: 66-67.

CROJEN, A., TURNER, C., WILLIAMS, A., BARKER, A., GUY, S., 2003. Composting under controlled conditions. *Environmental Technology* 24: 1221-1234.

CROWE, M., NOLAN, K., COLLINS, C., CARTY, G., DONLON, B., KRISTOFFERSEN, M., 2002. Biodegradable municipal waste management in Europe. European Environment Agency. Brussels.

CUNHA-QUEDA, A.C., RIBEIRO, H.M., RAMOS, A., CABRAL, F., 2007. Study of biochemical and microbiological parameters during composting of pine and eucalyptus bark. *Bioresource Technology* 98: 3213-3220.

DANÉS, R. Y BOIXADERA, J., 2001. Aspectos generales a considerar en la planificación y gestión de la aplicación de residuos orgánicos al suelo. En: Boixadera, J. y Teira, M.R. (Eds.). *Aplicación Agrícola de Residuos Orgánicos*. 79-104 pp. Edicions de la Universitat de Lleida, Lleida.

DE LA FUENTE, C., CLEMENTE, R., MARTÍNEZ-ALCALÁ, I., TORTOSA, G., BERNAL, M.P., 2011. Impact of fresh and composted solid olive husk and their water-soluble fractions on soil heavy metal fractionation; microbial biomass and plant uptake. *Journal of Hazardous Materials* 196: 1283-1289.

DEBOSZ, K., PETERSEN, S.O., KURE, L.K., AMBUS, P., 2002. Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties. *Applied Soil Ecology* 19: 237-248.

Decisión 2001/573/CE del Consejo de 23 de julio de 2001 por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE de la Comisión en lo relativo a la lista de residuos. DOCE N° L 203, 18-19 pp.

DECISIÓN DE LA COMISIÓN de 5 de junio de 2014 por la que se modifican las Decisiones 2006/799/CE, 2007/64/CE, 2009/300/CE, 2009/894/CE, 2011/330/UE, 2011/331/UE y 2011/337/UE con objeto de prorrogar la vigencia de los criterios ecológicos para la concesión de la etiqueta ecológica de la UE a determinados productos [notificada con el número C(2014) 3674]. (2014/336/UE). DOUE N° L168, 112-114 pp.

DEL RÍO, C., CABALLERO, J.M. 1999. A new bag for olive pollination studies. *Acta Horticulturae*, 474: 233-236.

DIACONO, M., MONTEMURRO, F., 2011. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. In: Lichtfouse, E., Hamelin, M., Navarrete, M. and Debaeke, P. (Eds.). *Sustainable Agriculture*. Vol. 2. 761-786 pp. Springer Science + Business Media B.V. Dordrecht.

DIRECTIVA (UE) 2015/1787 DE LA COMISIÓN de 6 de octubre de 2015 por la que se modifican los anexos II y III de la Directiva 98/83/CE del Consejo, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. DOUE N° L260, 6-17 pp.

DIRECTIVA 1999/31/CE DEL CONSEJO, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos. DOCE N° L182, 1-19 pp.

DIRECTIVA 2006/118/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro. DOUE N° L 372, 19-31 pp.

Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. DOUE N° 312, 3-30 pp.

EEA-EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY, 1995. Europe's environment: The Dobris Assessment-An overview. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.

ENTRALA, A., 1998. Dieta y arterogénesis: tipos de alimentos que influyen en los fenómenos de arteriosclerosis". II Jornadas de Nutrición Práctica, Revista de Nutrición Práctica 2: 77-84.

ERHART, E., HARTL, W., 2010. Compost use in organic farming. In: Lichtfouse, E. (Ed.). Genetic Engineering, Biofertilisation, Soil Quality and Organic Farming. 311-345 pp. Sustainable Agriculture Reviews 4. Springer Science+Business Media B.V., Dordrecht.

EVANYLO, G., SHERONY, C., SPARGO, J., STARNER, D., BROSIUS, M., HAERING, K., 2008. Soil and water environmental effects of fertilizer-, manure-, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system. Agriculture, Ecosystems & Environment 127: 50-58.

EWEIS, J., ERGAS, S., CHAG, D., SCHOROEDER, E., 1999. Principios de Biorrecuperación. MacGraw-Hill. España. Madrid.

EYHERAGUIBEL, B., SILVESTRE, J., MORARD, P., 2008. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Bioresource Technology* 99: 4206-4212.

FARRELL, J.B., 1993. Fecal patogen control during composting. . *Science and Engineering of Composting: design, environmental, microbiological and utilization aspects*. Eds.: Harry A. J. Hoitink and Harold M. Keener. Renaissance Publications. Ohio., 282-300.

FAUCETTE, L.B., RISSE, L.M., JORDAN, C.F., CABRERA, M.L., COLEMAN, D.C., WEST, L.T., 2006. Vegetation and soil quality effects from hydroseed and compost blankets used for erosion control in construction activities. *Journal of Soil and Water Conservation* 61: 355-362.

FELIPÓ, M.T., 1995. Reutilización de residuos urbanos y posible contaminación. En: Soliva, M. (Coord.). 15-26 pp. *Reutilización de Residuos Urbanos en Agricultura*. Editorial Aedos, Barcelona.

FERNÁNDEZ, J.E., MORENO, F., CABRERA, F., ARRUE, J.L., MARTÍN-ARANDA, J., 1991. Drip irrigation, soil characteristics and the root distribution and root activity of olive trees. *Plant and Soil*, 133: 239-251.

FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R., MORENO, R., GARCÍA-CREUS, M., 1999. Seasonal changes of mineral nutrients in olive leaves during the alternate-bearing cycle. *Scientia Horticulturae*, 82: 25-45.

FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R., MORENO, R., SÁNCHEZ-ZAMORA, M.A., 2004. Nitrogen dynamics in the olive bearing shoot. *Hortscience*, 39: 1406-1411.

FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R. (2004a). Fertilización. En El cultivo del olivo. Barranco, D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L., (Eds.). Mundi-Prensa-Junta de Andalucía, Madrid, 287-319.

FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R., 2008. Fertilización. En El cultivo del olivo. Barranco, D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L., (Eds.). Mundi-Prensa, Córdoba, 287-319 pp.

FERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, A., MATEOS, R., GARCÍA-MESA, J.A., BELTRÁN MAZA, G., FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R., 2010. Determination of mineral elements in fresh olive fruits by flame atomic spectrometry. Span. J. Agric. Res. 8 (4): 1183–1190.

FERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, A., JIMÉNEZ TELLO, M.J., GARCÍA RAYA. I., PACHECO REYES, R., GARCÍA-ORTIZ CIVANTOS, C., 2011. Evolución de los compuestos fenólicos en el proceso de compostaje de alperujo. XV Simposio Científico-Técnico del Aceite de Oliva. [www.expoliva.com](http://www.expoliva.com)

FERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, A., ROIG, A., SERRAMIÁ, N., GARCÍA-ORTIZ CIVANTOS, C., SÁNCHEZ-MONEDERO, MA., 2014. Application of compost of two-phase olive mill waste on olive grove: effects on soil, olive fruit and olive quality. Waste Management 34: 1139-1147.

FERRERAS, L., GÓMEZ, E., TORESANI, S., FIRPO, I., ROTONDO, R., 2006. Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural soil. Bioresource Technology 97: 635-640.

FILIPPI, C., BEDINI, S., LEVI-MINZI, R., CARDELLI, R., SAVIOZZI, A., 2002. Co-composting of olive oil mill by-products: chemical and microbiological evaluations. Compost Science & Utilization 10: 63-71.

FINSTEIN, M.S., HOGAN, J.A., 1993. Integration of composting process microbiology, facility structure and decision-making. Science and Engineering of Composting: design, environmental, microbiological and utilization aspects. Eds.: Harry A. J. Hoitink and Harold M. Keener. Renaissance Publications. Ohio.

FIORINO, P., NIZZI-GRIFI, F., 1992. La olivicultura y su expansion. *Olivae* 44: 9-12.

FISHER, P.R., ARGO, W.R., 2005. Manejo del pH en medios sin suelo. University of New Hampshire, USA.

FITZPATRICK, G.E., 2005. Utilización de los compost en sistemas de cultivo de plantas ornamentals, viveros y semilleros. En: Stoffella, P.J., Kahn, B.A. (Eds.). Utilización de Compost en los Sistemas de Cultivo Hortícola. 135-149 pp. Mundi-Prensa, Madrid.

FREGAS, N., BOCCI, F., LERCKER, G., 1993. Free Fatty Acids and Diacylglycerols as Quality Parameters for Extra Virgin Olive Oil. *Riv. Ital. Sost. Grasse* 70: 153-156.

FRÍAS, L., GARCÍA-ORTÍZ, A., HERMOSO, M., JIMENEZ, A., LLAVERO, M.P., MORALES, J., RUANO, T., UCEDA, M. (1991). Analistas de laboratorio de almazaras. Serie apuntes 6/91. Junta de Andalucía. Conserjería de Agricultura y Pesca, Sevilla, 111 pp.

FUSHIWAKI, Y., MAGARA, Y., 2005. Water pollution by agriculture and other rural uses. En: WATER POLLUTION BY AGRICULTURE AND OTHER

RURAL USES, in Water Quality and Standards. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), UNESCO, Eolss Publishers, Oxford,UK.

GARCÍA DE LA FUENTE, R., CARRIÓN, C., BOTELLA, S., FORNES, F., NOGUERA, V., ABAD, M., 2007. Biological oxidation of elemental sulphur added to three composts from different feedstocks to reduce their pH for horticultural purposes. *Bioresource Technology* 98: 3561-3569.

GARCÍA DE LA FUENTE, R., 2011. Caracterización y uso de compost de alperujo como enmienda orgánica. Evluación agronómica y medioambiental. Tesis doctoral. Departamento de Producción Vegetal. Universidad Politécnica de Valencia.

GARCÍA, C., LOBO, M.C., 2008. Rehabilitación de suelos degradados y contaminados mediante la aplicación de compost. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). *Compostaje*. 425-448 pp. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

GARCÍA, J.M., SELLER, S., PÉREZ-CAMINO, M.C., 1996. Influence of fruit ripening on olive oil quality. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 44: 3516-3520.

GARCÍA-GIL, J.C., PLAZA, C., SOLER-RIVERA, P., POLO, A., 2000. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biology & Biochemistry* 23: 756-765.

GARCÍA-GÓMEZ, A., ROIG, A., BERNAL, M.P., 2003. Composting of the solid fraction of olive mill wastewater with olive leaves: organic matter degradation and biological activity. *Bioresource Technology* 86: 59-64.

GARCÍA-GÓMEZ, A., BERNAL, M.P., 2005. The feasibility of olive husk co-composting with cotton waste. In: Bernal, M.P., Moral, R., Clemente, R. and Paredes, C. (Eds.). Sustainable Organic Waste Management for Environmental Protection and Food Safety. 281-283 pp. FAO and CSIC, Murcia.

GARCÍA-ORENES, F., GUERRERO, C., MATAIX-SOLERA, J., NAVARRO-PEDREÑO, J., GÓMEZ, I., MATAIX-BENEYTO, J., 2005. Factors controlling the aggregate stability and bulk density in two different degraded soils amended with biosolids. *Soil & Tillage Research* 82: 65-76.

GARCÍA-ORTIZ, A., GIRÁLDEZ, J., GONZÁLEZ, P., ORDÓÑES, R., 1993. El riego con alpechín. *Agricultura, Revista Agropecuaria*, n.º 730, 426-431.

GARCÍA-ORTIZ, A., FRIAS, L., 1995. El empleo de alpechín y orujos húmedos. "Comunicación I+D Agroalimentaria 18/95" Conserjería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía, Sevilla.

GARCIA-RUIZ, R., OCHOA, M.V., HINOJOSA, M.B., GÓMEZ-MUÑOZ, B., 2013. Improved soil quality after 16 years of olive mill pomace application in olive oil groves. *Agron. Sustain. Dev.* 32: 803–810.

GEEBELEN, W., VANGRONSVELD, J., ADRIANO, D.C., CARLEER, R., CLIJSTERS, H., 2002. Amendment-induced immobilization of lead in a lead-spiked soil: evidence from phytotoxicity studies. *Water, Air, & Soil Pollution* 140: 261-277.

GOLCHIN, A., CLARRKE, P., OADES, J.M., SKJEMSTAD, J.O., 1995. The effects of cultivation on the composition of organic matter and structural stability of soils. *Australian Journal of Soil Research* 33: 975-993.

GÓMEZ-MUÑOZ, B., HATCH, D.J., BOL, R., GARCIA-RUIZ, R., 2013. Agrochemical characterization, net N mineralization, and potential N leaching of composted olive-mill pomace currently produced in southern Spain. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 176: 655–664.

GÓMEZ-OREA, D., 2004. *Recuperación de Espacios Degradados*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

GONZÁLEZ, S., NAVARRO, M., LÓPEZ, J.I., RAD, C., LÓPEZ, D.J., 2008. Obtención de productos de alto valor añadido a partir de compost. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). *Compostaje*. 449-465 pp. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

GOYAL, S., CHANDER, K., MUNDRA, M.C., KAPOOR, K.K., 1999. Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions. *Biology and Fertility of Soils* 29: 196-200.

GOYAL, S., DHULL, K.K., 2005. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology* 96: 1584-1591.

GRANDY, A.S., PORTER, G.A., ERICH, M.S., 2002. Organic amendment and rotation crop effects on the recovery of soil organic matter and aggregation in potato cropping systems. *Soil Science Society of America Journal* 66: 1311-1319.

GREWELING, T., 1976. *Chemical analysis of plant tissue*. Search and Agriculture, Agronomy 6. Cornell University, Ithaca, NY.

GROB, K., LANFRANCHI, M., MARIANI, C., 1990. Evaluation of Olive Oil Through the Fatty Alcohols, the Sterols and Their Esters by Coupled LC-GC. *JAOCS* 67: 626-634.

GUTFINGER, T., 1981. Polyphenols in olive oil. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 68: 966-968.

GUTIÉRREZ GONZÁLEZ-QUIJANO, R., JANER DEL VALLE, J., JANER DEL VALLE, M.L., GUTIÉRREZ ROSALES, F., VÁZQUEZ RONCERO, A., 1977. Relación entre los polifenoles y la calidad y estabilidad del aceite de oliva virgen. *Instituto de la Grasa y sus Derivados*, 28(2): 101-106.

GUTIERREZ ROSALES, F., 1989. Determinación de la estabilidad oxidativa de aceites de oliva vírgenes: comparación entre el método del Oxígeno Activo (A.O.M) y el método Rancimat. *Instituto de la Grasa y sus Derivados*, 40(1): 1-5.

GUTIÉRREZ, F., PERDIGUERO, S., 1992. Estudio de la efectividad de las columnas de extracción de octadecilo C18 en la evaluación del amargor (K225) del aceite de oliva virgen. Error y esquema analítico del método de valoración. *Grasas y Aceites*, 43: 93-96.

GUTIÉRREZ, F., JIMÉNEZ, B., RUIZ, A., ALBI, M.A. 1999. Effect of olive ripeness on the oxidative stability of virgin olive oil extracted from the varieties Picual and Hojiblanca and on the different components involved. *Journal of the Agricultural and Food Chemistry*, 47: 212-227.

HACHICHA, S., SALLEMI, F., MEDHIOUB, K., HACHICHA, R., AMMAR, E., 2008. Quality assessment of composts prepared with olive mill wastewater and agricultural wastes. *Waste Management* 28: 2593-2603.

HALLSWOTH, E.C., WILKINSON, G.T., 1958. The contribution of clay and organic matter to the cation exchange capacity of the soil. *Journal of Agricultural Science* 51: 1-3.

HARGREAVES, J.C., ADL, M.S., WARMAN, P.R., 2008. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 123: 1-14.

HATCHER, P.G., BREGER, I.A., MACIEL, G.E., SZEVERENYI, N.M., 1985. Geochemistry of humin. In: Aiken, G.R., McKnight, D.M., Wershaw, R.L. and Maccarthy, P. (Eds.). *Humic Substances in Soil, Sediment, and Water: Geochemistry, Isolation and Characterization*. 275-302 pp. Wiley-Interscience, New York.

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

HAYES, M. H. B., CLAPP, C.E., 2001. Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. *Soil Science*. 166(11): 723-737.

HEDEGAARD, M., KRÜGER, I., 1996. Composting of agricultural waste in Denmark in respect of potencial, industrial process technology and environmental considerations. En: De Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B., Papi, T. (Eds.). *The Science of Composting*. Vol. I. Blackei Academic and Professional, London.

HERENCIA, J.F., RUIZ-PORRAS, J.C., MELERO, S., GARCÍA-GALAVIS, P.A., MORRILLO, E., MAQUEDA, C., 2007. Comparison between organic and

mineral fertilization for soil fertility levels, crop macronutrient concentrations, and yield. *Agronomy Journal* 99: 973-983.

HERMOSO FERNÁNDEZ, M., UCEDA OJEDA, M., GONZÁLEZ DELGADO, J., MORALES BERNARDINO, J., 1993. Extracción de aceite de oliva mediante sistemas continuos de 2 fases. *Agricultura* 730: 394-399.

HERMOSO, M., UCEDA, M., GONZÁLEZ, J., GARCÍA-ORTÍZ, A., MORALES, J., FRÍAS, L., FERNÁNDEZ, A., 1998. Elaboración de aceite de oliva de calidad. Obtención por el sistema de dos fases. *Informaciones técnicas* 61/98. Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla, 83 pp.

HOITINK, H.A.J, STONE, A.G., HAN, D.Y., 1997. Suppression of plant diseases by composts. *HortScience* 32: 184-187.

HOITINK, H.A.J., BOEHM, M.J., 1999. Biocontrol within the context of soil microbial communities: a substrate-dependent phenomenon. *Annual Review of Phytopathology* 37: 427-446.

HOITINK, H.A.J., KRAUSE, M.S., HAN, D.Y., 2005. Posibilidades y mecanismos que ofrecen los compost en el control de las enfermedades de las plantas. En: Stoffella, P.J., Kahn, B.A. (Eds.). *Utilización de Compost en los Sistemas de Cultivo Hortícola*. 263-273 pp. Ediciones Mundi-Prensa.

HOLLAND, J.M., 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: Reviewing the evidence. *Agric. Ecosys. Environm.* 103: 1-25.

HWANG, B.K., LIM, S.W., KIM, B.S., LEE, J.Y., MOON, S.S., 2001. Isolation and in vivo and in vitro antifungal activity of phenylacetic acid and sodium

phenylacetate from *Streptomyces humidus*. *Applied and Environmental Microbiology* 67: 3739-3745.

IGLESIAS-JIMÉNEZ, E., BARRAL, M.T., MARHUENDA, F.C., 2008. Indicadores de la estabilidad y madurez del compost. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). *Compostaje*. pp. 243-283. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid

INGELMO, F., MARTÍNEZ FRANCISCO, J.F., ROGER, S., 2007. Utilización de lodos compostados como técnica sostenible para la mejora de las características hídricas de un suelo agrícola degradado. *Residuos* 95: 78-82.

INGELMO, F., RUBIO, J.L., 2008. Efecto de la aplicación del compost sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). *Compostaje*. 305-327 pp. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

INGLESE, P., 1994. La influencia de la variedad en las características cualitativas del aceite de oliva. *Olivae*, 54: 42-47.

INSAM, H., DE BERTOLDI, M., 2007. Microbiology of the composting process. In: Díaz, L.F., de Bertoldi, M., Bidlingmaier, W. and Stentiford, E. (Eds.) *Compost Science and Technology*. 25-48 pp. Elsevier Ltd., Oxford.

IPTS, 2011. Working Document for End-of-waste Criteria on Biodegradable Waste to Biological Treatment. Institute for Prospective Technological Studies, Seville.

ISHERWOOD, K.F., 2005. Fertilizer use in western Europe: types and amounts. En: *Agricultural Sciences. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Developed under the Auspices of the UNESCO. Eolss Publishers, Oxford, UK.

ISKANDAR, I.K., ADRIANO, D.C., 1997. Remediation of Soils Contaminated with Metals. Science Reviews, Aberystwyth.

JAKSE, M., MIHELIC, R. 1999. The influence of organic and mineral fertilisation on vegetable growth and N availability in soil: preliminary results. Acta Horticulturae. 506. CAB Abstract 1999.

JERIS, J.S., REGAN, R.W., 1973. Controlling environmental parameters for optimal composting I. Compost Science 14: 10-15.

JHORAR, B.S., PHOGAT, V., MALIK, E., 1991. Kinetic of composting rice straw with glue waste at different C/N rations in a semiarid environment. Arid Soil Research and Rehabilitation 5: 297-306.

JIMÉNEZ, A., UCEDA, M., 1995. Características químicas y organolépticas del aceite de oliva virgen de la variedad 'Arbequina'. 1 er Simposi de L'Olivera Arbequina a Catalunya. Les Borges Blanques, 145-148 pp.

KAHALIL, A., DOMEIZEL, M., PRUDENT, P., 2008. Monitoring of green waste composting process based on redox potencial. Bioresource Technology 99: 6037-6045.

KAPELLAKIS, I. E., TSAGARAKIS, K. P., CROWTHER, J. C., 2008. Olive oil history, production and by-product management. Environment Science Biotechnology, 7: 1-26.

KAY, B.D., ANGERS, D.A., 2002. Soil structure. In: Warrick, A.W. (Ed.). Soil Physics Companion. 249-295 pp. CRC Press, Boca Raton, Florida.

KHALIL, A., DOMEIZEL, M., PRUDENT, P., 2008. Monitoring of green waste composting process based on redox potential. *Bioresource Technology* 99: 6037-6045.

KIOSSEOGLU, V., KOUZOUNAS, P., 1993. Free Fatty Acids in Olive Oil Minor Surface-active Lipid Interaction With Proteins at Oil-water Interface. *J. Disp. Sci. Techn.* 14: 527-531.

KIOSSEOGLU, V., VLACHOPOULOU, I., BOSKOU, D., 1987. Esterified 4-monomethyl – and 4,4-dimethyl-sterols in Some Vegetable Oils. *Grasas y Aceites* 38: 102-103.

KIRISTSAKIS, A. K., 1992. *El Aceite de Oliva*. A. Madrid Vicente, Ediciones. Madrid

KOLHER, J., TORTOSA, G., CEGARRA, J., CARAVACA, F., ROLDÁN, A., 2008. Impact of DOM from composted 'alperujo' on soil structure, AM fungi, microbial activity and growth of *Medicago sativa*. *Waste Management* 28: 1423-1431.

KOMATSUZAKI, M., OHTA, H., 2007. Soil management practices for sustainable agroecosystems. *Sustainability Science* 2: 103-120.

KOMILIS, D.P. Y HAM, R.K., 2003. The effect of lignin and sugars to the aerobic decomposition of solid wastes. *Waste Manage.* 23: 419-423.

KONÉ, S., DIONNE, A., TWEDDELL, R., ANTOUN, H., AVIS, T.J., 2010. Suppressive effect of non-aerated compost teas on foliar fungal pathogens of tomato. *Biological Control* 52: 167173.

KÖRNER, I., BRAUKMEIER, J., HERRENKLAGE, J., LEIKAM, K., RITZKOWSKI, M., SCHLEGELMILCH, M., STEGMANN, R., 2003. Investigation and optimization of composting processes-test systems and practical examples. *Waste Management* 23: 17-26.

KROYER, G.T., 1995. Impact of food processing on the environment - An overview. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 28: 547-552.

KULIKOVA, N.A., STEPANOVA, E.V., KOROLEVA, O.V., 2005. Mitigating activity of humic substances: direct influence on biota. En: Perminova, I.V., Hatfield, K. and Hertkorn, N. (Eds.). *Use of Humic Substances to Remediate Polluted Environments: From Theory to Practice*. pp. 285-309. Springer, Dordrecht.

LABRADOR, M. J., GARCÍA, M.A., FERNÁNDEZ, P., 2001. Compostaje de alperujos. *Agricultura. Revista Agropecuaria*. 70(833): 789-792.

LAMUELA, R., GIMENO, E., FILÓ, M., CASTELLOTE, A., COVAS, M.I., DE LA TORRE, M.C., LÓPEZ, M.C. 2004. Interaction of olive oil phenol antioxidant components with low-density lipoproteins. *CIAS*, 45-49 pp.

LAUFENBERG, G., KUNZ, B., NYSTREM, M., 2003. Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations. *Bioresource Technology* 87: 167-198.

LAVEE, S., WONDER, M., 2003. The effect of yield, harvest time and fruit size on the oil content in fruits irrigated olive trees (*Olea europaea* L.), cvs. Barnea and Manzanillo. *Scientia Horticulturae*, 99: 267-277.

LEE C., SMITH D., 1970. Influence of nitrogen fertilizer on stands, yields of herbage and protein, and nitrogenous fractions of field-grown alfalfa. *Agronomy Journal*, 64: 527-530

Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. BOE N° 96, 13372-13384 pp.

Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. BOE N° 181, 85650 – 85705 pp.

LIANG, C., DAS, K.C., MCCLENDON, R.W., 2003. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Bioresource Technology* 86: 131-137.

LINARES, A., CABA, J.M., LIGERO, F., DE LA RUBIA, T., MARTÍNEZ, J., 2003. Detoxification of semisolid olive-mill wastes and pine-chip mixtures using *Phanerochaete flavidio-alba*. *Chemosphere* 51: 887-891.

LITTERICK, A.M., HARRIER, L., WALLACE, P., WATSON, C.A., WOOD, M., 2004. The role of uncomposted materials, composts, manures, and composts extracts in reducing pest and disease incidence and severity in sustainable temperate agricultural and horticultural crop production. *Critical Reviews in Plant Sciences* 23: 453-479.

LOFFREDO, E., SENESI, N., 2009. In vitro and in vivo assessment of the potential of compost and its humic acid fraction to protect ornamental plants from soil-borne pathogenic fungi. *Scientia Horticulturae* 122: 432-439.

LOMBI, E., ZHAO, F.J., DUNHAM, S., MCGRATH, S.P., 2000. Cadmium accumulation in populations of *Thlaspi caerulescens* and *Thlaspi goesingense*. *New Phytologist* 149: 11-20.

LÓPEZ, M.J., BOLUDA, R., 2008. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). Compostaje. 489-518 pp. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

LÓPEZ-PIÑEIRO, A., MURILLO, S., BARRETO, C., MUÑOZ, A., RATO, J.M., ALBARRÁN, A., GARCÍA, A., 2007. Changes in organic matter and residual effect of amendment with twophase olive-mill waste on degraded agricultural soils. *Science of the Total Environment* 378: 84-89.

LÓPEZ-PIÑEIRO, A., ALBARRÁN, A., RATO NUNES, J.M., BARRETO, C., 2008. Short and medium-term effects of two-phase olive mill waste application on olive grove production and soil properties under semiarid Mediterranean conditions. *Bioresource Technology* 99: 7982-7987.

LÓPEZ-PIÑEIRO, A., ALBARRÁN, A., RATO NUNES, J.M., PEÑA, D., CABRERA, D., 2011. Longterm impacts of de-oiled two-phase olive mill waste on soil chemical properties, enzyme activities and productivity in an olive grove. *Soil Till. Res.* 114: 175–182.

LOVELAND P., WEBB J., 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil Till. Res.* 70: 1-18.

LULAKIS, M.D., PETSAS, S.I., 1995. Effect of humic substances from vinecanes mature compost on tomato seedling growth. *Bioresource Technology* 54: 179-182.

MADEJÓN, E., GALLI, E., TOMATI, U., 1998. Composting of wastes produced by low water consuming olive mill technology. *Agrochimica* 42: 135-146.

MADEJÓN, E., DÍAZ, M.J., LÓPEZ, R., CABRERA, F., 2001a. Co-composting of sugarbeet vinasse: influence of the organic matter nature of the bulking agents used. *Bioresource Technology* 76: 275-278.

MADEJÓN, E., BURGOS, P., MURILLO, J.M., CABRERA, F., 2001b. Phytotoxicity of organic amendments on activities of selected soil enzymes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32: 2227-2239.

MADEJÓN, E., DÍAZ, M.J., LÓPEZ, R., CABRERA, F., 2002. New approaches to Establish optimum moisture content for compostable materials . *Bioresource Technology* 85: 73-78.

MADEJÓN, E., LÓPEZ, R., MURILLO, J.M., CABRERA, F., 2001c. Agricultural use of three (sugar-beet) vinasse composts: effect on crops and chemical properties of a Cambisol soil in the Guadalquivir river valley (SW Spain). *Agriculture, Ecosystems & Environment* 84: 55-65.

MADEJÓN, E., MORENO, F., MURILLO, J.M., PELEGRÍN, F., 2007. Soil biochemical response to long-term conservation tillage under semi-arid Mediterranean conditions. *Soil & Tillage Research* 94: 346-352.

MAESTRO, R., BORJA, R., 1990. La calidad del aceite de oliva en relación con la composición y maduración de la aceituna. *Grasas y Aceites*, 41: 171-178.

MAHER, M., PRASAD, M., RAVIV, M., 2008. Organic soilless media components. En: Raviv, M., Lieth, J.H., (Eds.). *Soilless Culture: Theory and Practice*. 459-504 pp. Elsevier BV, Amsterdam.

MAHIMAIRAJA, S., BOLAN, N.S., HEDLEY, M.J., 1994. Dissolution of phosphate rock during the composting of poultry manure: an incubation experiment. *Fertilizer Research* 40: 93-104.

MAHIMAIRAJA, S., BOLAN, N.S., HEDLEY, M.J., 1995. Agronomic effectiveness of poultry manure composts. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 26: 1843-1861.

MALJEAN J.F., AMLINGER F., BANNICK C.G., FAVOINO E., FEIX I., LEIFERT I., MARMO L., MORRIS R., PALLIÈRE C., ROBERT M., SIEBERT S., TITTARELLI, F., 2004. Land use practices in Europe. In: (Van Camp et al. Eds.) *Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection*. EUR 21319 EN/3 872 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

MANIOS, T., MANIADAKIS, K., KALOGERAKI, M., MARI, E., STRATAKIS, E., TERZAKIS, S., BOYTZAKIS, P., NAZIRIDIS, Y., ZAMPETAKIS, L., 2006. Efforts to explain and control the prolonged thermophilic period in two-phase olive mill sludge composting. *Biodegradation* 17: 285-292.

MANTZAVINOS, D., KALOGERAKIS, N., 2005. Treatment of olive mill effluents: Part I. Organic matter degradation by chemical and biological processes - An overview. *Environment International* 31: 289-295.

MARCH, L., RIOS, L., 1998. "Aceite de oliva, vida y cultura. Patrimonio cultural olivarero, Madrid.

MARCOTE, I., HERNÁNDEZ, T., GARCÍA, C., POLO, A., 2001. Influence of one or two successive annual applications of organic fertilisers on the enzyme activity of a soil under barley cultivation. *Bioresource Technology* 79: 147-154.

MARI, I., EHALIOTIS, C., KOTSOU, M., BALIS, C., GEORGAKAKIS, D., 2003. Respiration profiles in monitoring the composting of by-products from the olive oil agro-industry. *Bioresource Technology* 87: 331-336.

MARIANI, C., FEDELI, E.; 1985. Determinazione delle forme gliceridiche presenti negli oli alimentari. Nota I: caso dell'olio di oliva. *Riv Ital Sostanze Grasse* 62: 3-7.

MARTÍNEZ DE VICTORIA, E., MAÑAS, M., 2004. El aceite de oliva en la dieta y salud humanas. En *El cultivo del olivo*. Barranco, D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L., (Eds.). Mundi-Prensa-Junta de Andalucía, Madrid, 735-754 pp.

MASAGUER, A., BENITO, M., 2008. Evaluación de la calidad del compost. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). *Compostaje*. 285-304 pp. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

MATA, P., DE OYA, M., 1993. Dieta y enfermedad cardiovascular. *Revista Clínica Española*, vol. 192, 1:41-64.

MAYNARD, A.A., 1996. Cumulative effect of annual additions of undecomposed leaves and compost on the yield of field grown peppers. *Compost Science and Utilization*. 4(2): 81 – 88.

MAZUELA, P., SALAS, M.C., URRESTARAZU, M. 2005. Vegetable waste compost as substrate for melon. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 36: 1557-1572.

MCCUTCHEON, S.C., SCHNOOR, J.L., 2003. Phytoremediation. Transformation and Control of Contaminants. John Wiley & Sons, Inc., Somerset, New Jersey.

MCGRATH, S.P., 1998. Phytoextraction for soil remediation. In: Brooks, R.R. (Ed.). Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals. 261-287 pp. CAB International. Wallingford.

MELERO, S., MADEJÓN, E., RUIZ, J.C., HERENCIA, J.F., 2007a. Chemical and biochemical properties of a clay soil under dryland agriculture system as affected by organic fertilization. *European Journal of Agronomy* 26: 327-334.

MELERO, S., MADEJÓN, E., HERENCIA, J.F., RUIZ, J.C., 2007b. Biochemical properties of two different textured soils (loam and clay) after the addition of two different composts during conversion to organic farming. *Spanish Journal of Agricultural Research* 5: 593-604.

MELERO, S., VANDERLINDEN, K., RUIZ, J.C., MADEJÓN, E., 2008. Long-term effect on soil biochemical status of a Vertisol under conservation tillage system in semi-arid Mediterranean conditions. *European Journal of Soil Biology* 44: 437-442.

MÉTODOS OFICIALES DE ANÁLISIS, 1986. Secretaría General Técnica. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, Tomo III, 21-38 pp.

MICHEL, F.C., PECCHIA, J.A., RIGOT, J., 2004. Mass and nutrient losses during the composting of dairy manure amended with sawdust or straw. *Compost Science and Utilization* 12: 323-334.

MÍNGUEZ, M.I., GANDUL, B., GARRIDO, J., GALLARDO, L., 1990. Pigmentes present in virgen olive oil. *Journal of the American Oil Chemist's Society*, 67: 192-196.

MIYATAKE, F., IWABUCHI, K., 2006. Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure. *Bioresource Technology* 97: 961-965.

MOHANTY, S., PAIKARAY, N. K., RAJAN, A. R., 2006. Availability and uptake of phosphorus from organic manures in groundnut (*Arachis hypogea* L.) - corn (*Zea mays* L.) sequence using radio tracer technique. *Geoderma* 133: 225-230.

MOLINA ALCAIDE, E., YÁÑEZ RUIZ, D.R., MOUMEN, A., MARTÍN GARCÍA, A.I., 2003. Ruminant degradability and in vitro intestinal digestibility of sunflower meal and in vitro digestibility of olive by-products supplemented with urea or sunflower meal: Comparison between goats and sheep. *Animal Feed Science and Technology* 110: 3-15.

MONTEDORO, G., GAROFALO, L., 1984. Características cualitativas de los aceites de oliva vírgenes. Influencia de algunas variables: variedad, medio ambiente, extracción y conservación de producto acabado. *Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse*, 61: 157-168.

MONTEMURRO, F., MAIORANA, M., CONVERINI, G., FERRI, D., 2006. Compost organic amendments in fodder crops: effects on yield, nitrogen utilization and soil characteristics. *Compost Science & Utilization* 14: 114-123.

MONTEMURRO, F., DIACONO, M., VITTI, C., DEBIASE, G., 2009. Biodegradation of olive husk mixed with other agricultural wastes. *Bioresource Technology* 100: 2969-2974.

MORAL, R. y MURO, J., 2008. Manejo, dosificación y gestión agronómica del compost. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). Compostaje. pp. 351-378. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

MORAL, R., PAREDES, C., BUSTAMANTE, M.A., MARHUENDA-EGEA, F., BERNAL, M.P., 2009. Utilization of manure composts by high-value crops: safety and environmental challenges. *Bioresource Technology* 100: 5454-5460.

MORENO, J., GARCÍA-MARTÍNEZ, J.L., 1984. Nitrogen accumulation and mobilization in Citrus leaves throughout the annual cycle. *Plant Physiology*, 61: 429-434.

MORENO, J., MORAL, R., 2008a. Compostaje. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

MORENO, J., MORMENEO, S., 2008b. Microbiología y bioquímica del proceso de compostaje. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). Compostaje. 111-140 pp. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

MORILLO, J.A., ANTIZAR-LADISLAO, B., MONTEOLIVA-SÁNCHEZ, M., RAMOS-CORMENZANA, A., RUSSELL, N.J., 2009. Bioremediation and biovalorisation of olive-mill wastes. *Applied Microbiology and Biotechnology* 82: 25-39.

NANNIPIERI, P., 2006. Role of stabilised enzymes in microbial ecology and enzyme extraction from soil with potential applications in soil proteomics. In: Nannipieri, P. and Smalla, K. (Eds.) *Nucleic Acids and Proteins in Soil*. 75-116 pp. Springer, New York.

NAPPI, P., BARBERIS, R., 1993. Compost as growing medium: chemical, physical and biological aspects. *Acta Horticulturae* 342: 249-256.

NARDI, S., PIZZEGHELLO, D., MUSCOLO, A., VIANELLO, A., 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology & Biochemistry* 34: 1527-1536.

NASINI, L., GIGLIOTTI, G., BALDUCCINI, M.A., FEDERICI, E., CENCI, G., PROIETTI, P., 2013. Effect of soil olive-mill waste amendment on soil fertility and olive (*Olea europaea L*) tree activity. *Agric. Ecosys. Environ.* 164, 292-297.

NAVARRO, A. 1990. Relaciones entre carbono orgánico y materia orgánica en residuos y subproductos orgánicos. Tesis de Licenciatura. Universidad de Murcia.

NAVARRO, A. F., CEGARRA, J., ROIG, A., BERNAL, M. P., 1991. An automatic microanalysis method for the determination of organic carbon in wastes. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 22: 2137-44.

NIAOUNAKIS, M., HALVADAKIS, C.P., 2006. Olive Processing Waste Management. Literature Review and Patent Survey. 2nd Edition. Elsevier Ltd., Oxford.

NOBLE, R., COVENTRY, E., 2005. Suppression of soil-borne plant diseases with composts: a review. *Biocontrol Science and Technology* 15: 3-20.

NOBLE, R., 2011. Risks and benefits of soil amendment with composts in relation to plant pathogens. *Australasian Plant Pathology* 40: 157-167.

OBREZA, T. A., REEDER, R.K., 1994. Municipal solid waste compost use in tomato/watermelon successional cropping. Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings. 53: 13 – 19.

ORDEN DE 15 DE ABRIL DE 2008, POR LA QUE SE APRUEBA EL REGLAMENTO ESPECÍFICO DE PRODUCCIÓN INTEGRADA DE OLIVAR. Consejería de Agricultura y Pesca. BOJA 83, 9-38 pp.

ORDEN DE 5 DE DICIEMBRE DE 1975 POR LA QUE SE APRUEBAN COMO OFICIALES LOS MÉTODOS DE ANALISIS DE SUELOS Y AGUAS. Ministerio de Agricultura. BOE 79, 6458-6491 pp.

ORDEN MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. BOE Nº 43, 6494-6515 pp.

ORDÓÑEZ, R., GONZÁLEZ, P., GIRÁLDEZ, J.V., GARCÍA-ORTIZ, A., 1999. Efecto de la enmienda con alperujo sobre los principales nutrientes de un suelo agrícola. En: Muñoz-Carpena, R., Ritter, A. y Tascón, C. (Eds.). Actas de las IV Jornadas sobre Investigación en la Zona no Saturada. Vol. 4. Estudios de la Zona no Saturada. 123-126 pp. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, Gobierno de Canarias.

ORTÍZ, O., 2001. Uso de la materia orgánica como criterio de aplicación de residuos. En: Boixadera, J y Teira, R.M. (Eds.). Aplicación Agrícola de Residuos Orgánicos. 279-291 pp. Universitat de Lleida, Lleida.

PAGANUZZI, V., 1980a. Distribuzione dei componente alcolici dell'insaponificabile nella drupa dell'olivo. Nota V: alcoli alifatici. Riv Ital Sostanze Grasse 57: 341-345.

PAGANUZZI, V., 1980b. Distribucion of the alcoholic components of the unsaponifiable matter in the olive drupe. Note IV. 4-Methylsterols. Riv Ital Sostanze Grasse 57(6): 291-294.

PAGANUZZI, V., (1980c). Distribucion of the alcoholic components of the nonsaponifiable matter within the olive drupe. III. Triterpene alcohols. Riv Ital Sostanze Grasse 57(3): 145-149.

PAGANUZZI, V., 1987. Utilidad de la determinación de esteroides y eritrodioles para individualizar el origen de los aceites de oliva vírgenes por métodos quimiométricos. Olivae 16, 19-22.

PANE, C., SPACCINI, R., PICCOLO, A., SCALA, F., BONANOMI, G., 2011. Compost amendments enhance peat suppressiveness to *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani* and *Sclerotinia minor*. Biological Control 56: 115-124.

Paredes, C., Cegarra, A., Roig, A., Sánchez-Monedero, M.A., Bernal, M.P., 1999. Characterization of olive mill wastewater (alpechín) and its sludge for agricultural purposes. Bioresource Technology 67: 111-115.

PAREDES, C., ROIG, A., BERNAL, M.P., SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A., CEGARRA, J., 2000. Evolution of organic matter and nitrogen during co-composting of olive mill wastewater with solid organic wastes. Biology and Fertility of Soils 32: 222-227.

PAREDES, C., CEGARRA, J., BERNAL, M.P., ROIG, A., 2005. Influence of olive mill wastewater in composting and impact of the compost on a Swiss chard crop and soil properties. Environ Int 31: 305–312

PARRA, M.A., FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R., NAVARRO, C., ARQUERO, O., 2003. Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas. Junta de Andalucía y Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 256 pp.

PARTHASARATHY, S., KHOO, J.C., MILLER, E., BARNETT, J., WITZTUM, J., STEINBERG, D., 1990. Low density lipoprotein rich in oleic acid is protected against oxidative modification: implications for dietary prevention of atherosclerosis. *Proceedings of the National of Sciences of the United States of America*, 87: 3894-3898.

PASCUAL, J.A., AYUSO, M., GARCÍA, C., HERNÁNDEZ, M.T., 1997. Characterization of urban wastes according to fertility and phytotoxicity parameters. *Waste Management & Research* 15: 103-112.

PASCUAL, J.A., GARCÍA, C., HERNANDEZ, T., 1999. Comparison of fresh and composted organic waste in their efficacy for the improvement of arid soil quality. *Bioresource Technology* 68: 225-264.

PAULET, S. 2000. Informe final convenio ESAB-Servei del Medi Ambient de la Diputació de Barcelona.

PÉREZ DE MORA, A., BURGOS, P., MADEJÓN, E., CABRERA, F., JAECKEL, P., SCHLOTER, M., 2006. Microbial community structure and function in a soil contaminated by heavy metals: effects of plant growth and different amendments. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 327-341.

PÉREZ-PIQUERES, A., EDEL-HERMANN, V., ALABOUVETTE, C., STEINBERG, C., 2006. Response of soil microbiota communities to compost amendments. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 460-470.

PETERSON, J.C. 1981. Modify your pH perspective. *Florist's Review* 169: 34-35, 92-93.

PIOTROWSKA, A., IAMARINO, G., RAO, MA., GIANFREDA, L., 2006. Short-term effects of olive mill waste water (OMW) on chemical and biochemical properties of a semiarid Mediterranean soil. *Soil Biol Biochem* 38: 600–610.

PLEGUEZUELO, CRR., ZUAZO, VHD., RAYA, AM., MARTÍNEZ, JRF., RODRÍGUEZ, BC., 2009. High reduction of erosion and nutrient losses by decreasing harvest intensity of lavender grown on slopes. *Agron Sustain Dev* 29: 363–370.

POMARES, G. F., BAIXAULI, C., AGUILAR, J. M., GINER, A., NÚÑEZ, A., BARTUAL, R., TARAZONA, F., ESTELA, M., ALBIACH, R., 2005a. Efectos de las enmiendas orgánicas sólidas en col china. Memoria de actividades. Resultados de ensayos hortícolas. Fundación Ruralcaja. Generalitat Valenciana. 393- 394 pp.

POMARES, G. F., ALBIACH, R., 2005b. Los residuos agrícolas y agroindustriales como soportes de producción en agricultura intensiva. En *Tecnologías aplicables a la reutilización de los residuos orgánicos, agrícolas o alimentarios*. Navarro, G. M. y Bustillo, N. J. M. (coordinadores). Curso de verano 2005. Universidad de Burgos. 167 – 187 pp.

PORTA, J., LOPEZ-ACEVEDO, M., ROQUERO, C., 1999. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ed. Mundi-Prensa. 849 pp. 2ª ed.

PORTA, C. J., LÓPEZ, A. R., ROQUERO, DE L.C., 2003. *Edafología. Para la agricultura y el medio ambiente*. 3ª Edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. 929 p.

RAMOS, C., ÚBEDA, S., 2009. El abonado nitrogenado de los cultivos hortícolas en los Programas de Actuación para la reducción de la contaminación por nitrato de las diferentes Comunidades Autónomas. *Actas de Horticultura* 56: 87-92.

RAMOS-CORMENZANA, A., JUÁREZ-JIMÉNEZ, B., GARCÍA-PAREJA, M.P., 1996. Antimicrobial activity of olive mill waste-waters (alpechín) and biotransformed olive oil mill wastewater. *International Biodeterioration & Biodegradation* 38: 283-290.

RANALLI, A., MARTINELLI, N., 1995. Integral centrifuges for olive oil extraction, at the third millennium threshold. Transformation yields. *Grasas y Aceites* 46: 255-263.

RAPOPORT, H.F., 2008. Botánica y morfología. En: Barranco, D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L., (Eds.). *El cultivo del Olivo*. 6ª Edición. Madrid. Junta de Andalucía y Ediciones Mundi-Prensa, 37-62 pp.

RASHID, A, RYAN, J., 2004. Micronutrient constraints to crop production in soils with mediterranean-type characteristics: A review. *Journal of Plant Nutrition*. 27(6): 959-975.

RAVIV, M., WALLACH, R., SILBER, A., BAR-TAL, A., 2002. Substrates and their analysis. En: Savvas, D., Passam, H. (Eds.). *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. 25-102 pp. Embryo Publications, Greece.

RAVIV, M., 2005. Production of high-quality composts for horticultural purposes: a mini-review. *HortTechnology* 15: 52-57.

REAL DECRETO 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. BOE N° 164, 51119-51207 pp.

REAL DECRETO 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. Ministerio de la Presidencia. BOE N° 171, 25592-25669 pp.

REAL DECRETO 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo. BOE N° 170, 61831-61859 pp.

REES, R. M., BALL, B., WATSON, C., 2001. Sustainable management of soil organic matter. CABI Publishing. 460 p.

REEVES, D.W., 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. Soil Tillage & Research 43: 131-167.

REGLAMENTO (CEE) N° 2568/91 DE LA COMISIÓN, de 11 de julio de 1991, relativo a las características de los aceites de oliva y de los aceites de orujo de oliva y sobre sus métodos de análisis. Diario Oficial de las Comunidades Europeas N° L 248, 1-83 pp.

REGLAMENTO (UE) N° 1348/2013 DE LA COMISIÓN, de 16 de diciembre de 2013, que modifica el Reglamento (CEE) N°2568/91 relativo a las características de los aceites de oliva y de los aceites de orujo de oliva y sobre sus métodos de análisis.

RESTREPO-DÍAZ, H., BENLLOCH, M., NAVARRO, C., RICARDO FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R., 2008. Potassium fertilization of rainfed olive orchards. Scientia Horticulturae 116: 399-403.

RODIS, P.S., KARATHANOS, V.T. AND MANTZAVINOU, A., 2002. Partitioning of olive oil antioxidants between oil and water phases. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 596-601.

RODRÍGUEZ DE LA BORBOLLA, J.M., FERNÁNDEZ DÍEZ, M.J., GONZÁLEZ PELLISÓ, F., 1955. Cambios en la composición de la aceituna durante su desarrollo. I. *Grasas y Aceites*, 6-5 pp.

ROE, N.E., 2005. Efectos de los compost sobre el desarrollo y el rendimiento en horticultura comercial. En: Stoffella, P.J. y Kahn, B.A. (Eds.). *Utilización de Compost en los Sistemas de Cultivo Hortícola*. 123-134 pp. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid

ROIG, A., LAX, A., COSTA, J., CEGARRA, J., HERNÁNDEZ, M.T., 1987. The influence of organic materials on the physical and physico-chemical properties of soils. *Agricultura Mediterránea* 117: 9-15.

ROIG, A., CAYUELA, M.L., SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A. 2004. The use of elemental sulphur as organic alternative to control pH during composting of olive mill wastes. *Chemosphere* 57: 1099-1105.

ROIG, A., CAYUELA, M.L., SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A., 2006. An overview on olive mill wastes and their valorisation methods. *Waste Management* 26: 960-969.

ROS, M., KLAMMER, S., KNAPP, B., AICHBERGER, K., INSAM, H., 2006a. Long-term effects of compost amendment of soil on functional and structural diversity and microbial activity. *Soil Use and Management* 22: 209-218.

ROS, M., PASCUAL, J.A., GARCÍA, C., HERNÁNDEZ, M.T., INSAM, H., 2006b. Hydrolase activities, microbial biomass and bacterial community in a soil after long-term amendment with different composts. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 3443-3452.

ROTONDI, A., BENDINI, A., CERRETANI, L., MARI, M., LERCKER, G., GALLINA, T., 2004. Effect of olive ripening degree on the oxidative stability and organoleptic properties of Cv. Nostrana di Brisighilla extra virgin olive oil. *J. Agric. Food Chem* 52: 3649 -3654.

ROVELLINI, P., CORTESI, N., FEDELI, E., 1997. Analysis of flavonoids from 'Olea europaea L.' by HPLC-UV and HPLC-elctrospray-MS. *Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse*, 74: 273-279.

RUBIO, V., FERERES, A., 2005. Control biológico de plagas y enfermedades de los cultivos. En: Marín, I., Sanz, J.L. and Amils, R. (Eds.). 215-229 pp. *Biotecnología y Medio Ambiente. Ephemera*, Madrid.

RYNK, R., 2000a. Review of contained systems: Part I. *BioCycle*, 41(3): 30-36.

RYNK, R., 2000b. Review of contained systems: Part II. *BioCycle*, 41(4): 67-72.

RYNK, R., RICHARD, T., 2005. Sistemas de producción comercial de compost. En: Stoffella P.J. y Kahn, B.A. (Eds.) *Utilización de Compost en los Sistemas de Cultivo Hortícola*. 51-93 pp. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

SÆBØ, A., FERRINI, F., 2006. The use of compost in urban green areas – A review for practical application. *Urban Forestry and Urban Greening* 4: 159-169.

SAÑA, J., SOLIVA, M., 1987. El Compostatge: Procés, Sistemes I Aplicacions. Quaderns d'Ecologia Aplicada 11. Diputació de Barcelona, Servei del Medi Ambient, Barcelona.

SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A., ROIG, A., PAREDES, C., BERNAL, P., 2001. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixture. *Bioresource Technology* 78: 301-308.

SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A., MONDINI, C., DE NOBILI, M., LEITA, L., ROIG, A., 2004. Land application of biosolids. Soil response to different stabilization degree of the treated organic matter. *Waste Management* 24: 325-332.

SARTORI, G.; MAZZOLENI, G., 2003. La tierra explota, superpoblación y desarrollo. Ed. Taurus. 241 pp. España

SASTRE-CONDE, I., CABEZAS, J.G., GUERRERO, A., VICENTE, M.A., LOBO, M.C., 2006. Evaluation of the soil biological activity in a remediation soil assay using organic amendments and vegetal cover. *Science of the Total Environment* 378: 205-208.

SCHENK, M.K., 2005. Agricultural practices to minimize nitrate accumulation in edible parts of crop plants. En: *Impacts of Agriculture on Human Health and Nutrition. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), UNESCO, Eolss Publishers, Oxford,UK.*

SCHLOTTER, M., DILLY, O., MUNCH, J.C., 2003. Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 98: 255-262.

SCHNITZER, M. 2000. A life time perspective on the chemistry of soil organic matter. In: Sparks, D. L. (Ed). *Advances in Agronomy*. 68: 3-59. Academic Press N. Y.

SCHÖNFELD, J., GELSOMINO, A., OVERBEEK, L.S., GORISSEN, A., SMALLA, K., VAN ELSAS, J.D., 2003. Effects of compost addition and simulated solarisation on the fate of *Ralstonia solanacearum* biovar 2 and indigenous bacteria in soil. *FEMS Microbiology Ecology* 43: 63-74.

SCHULZE, K.L., 1962. Continuous Thermophilic Composting. *Appl. Microbiol.* 10: 108-122.

SENESI, N., MIANO, T.M., BRUNETTI, G., 1996. Humic-like substances in organic amendments and effects on native soil humic substances. In: Piccolo, A. (Ed.). *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*. 531-593 pp. Elsevier B.V., Amsterdam.

SENESI, N., PLAZA, C., BRUNETTI, G., POLO, A., 2007. A comparative survey of recent results on humic-like fractions in organic amendments and effects on native soil humic substances. *Soil Biology & Biochemistry* 39: 1244-1262.

SEOÁNEZ, M., 2000. *Residuos (Problemática, descripción, aprovechamiento y destrucción)*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

SEOÁNEZ, M., 2002. *Manual de Tratamiento, Reciclado, Aprovechamiento y Gestión de las Aguas Residuales de las Industrias Agroalimentarias*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

SERRAMIÁ, N., SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A., FERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, A., GARCÍA-ORTÍZ CIVANTOS, C., ROIG, A., 2010. Contribution of the lignocellulosic fraction of two-phase olive-mill wastes to the degradation and humification of the organic matter during composting. *Waste Manage.*30: 1939-1947.

SHEAR, C.B., CRANE, H.L., MYERS, A.T., 1946. Nutrient element balance: A fundamental concept in plant nutrition. *Proceeding American Society Horticultural Science*, 47: 239-248.

SILVEIRA, L., 2005. Groundwater Treatment, in *Groundwater. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK.

SMITH, J.L., PAPENDICK, R.I., BEZDICEK, D.F., LYNCH, J.M., 1993. Soil organic matter dynamics and crop residue management. In: Metting, F.B. (Ed.). *Soil Microbial Ecology. Applications in Agricultural and Environmental Management*. 65-94 pp. Marcel Dekker, New York.

SOLINAS, M., 1987. Analisi HRGC delle sostanze fenoliche di oli vergini di oliva in relazione al grado di maturazione e alla varietà delle olive. *La Revista Italiana delle Sostanze Grasse*, 64: 255-262.

SOLIVA, M., MOLINA, N., 1996. ¿Que significado tiene el término compost? *Riegos y Drenajes* 87: 29-33.

SOLIVA, M., 2001. *Compostatge y gestió de residus orgànics. Estudis I Monografies 21*. Diputació de Barcelona, Àrea de Medi Ambient, Barcelona.

SOLIVA, M., PAULET, S., 2003. Compostaje de residuos orgánicos y aplicación agrícola. En: Boixadera, J., Teira, M.R. (Eds.). *5º Curso de*

Ingeniería Ambiental: Aplicación Agrícola de Residuos Orgánicos. 17 pp. Universitat de Lleida, Lleida.

SOLIVA, M., LÓPEZ, M., HUERTA, O., 2008. Antecedentes y fundamentos del proceso de compostaje. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). Compostaje. 75-92 pp. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

SPACCINI, R., PICCOLO, A., CONTE, P., HABERHAUER, G. AND GERZABEK, M. H., 2002. Increased soil organic carbon sequestration through hydrophobic protection by humic substances. *Soil Biology and Biochemistry*. 34: 1839-1851.

STENTIFORD, E.I., 1996. Composting control: Principles and practice. In: de Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B. and Papi, T. (Eds.). *The Science of Composting*. 49-59 pp. Blackie Academic and Professional, Glasgow.

STEVENSON, F.J., 1994. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. Wiley, New York.

STOFFELLA, P.J., KAHN, B.A., 2005. Utilización de compost en los Sistemas de Cultivo Hortícola. Ediciones Mundi-Prensa.

SUÁREZ-ESTRELLA, F., VARGAS-GARCÍA, M.C., LÓPEZ, M.J., CAPEL, C., MORENO, J., 2007. Antagonistic activity of bacteria and fungi from horticultural compost against *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*. *Crop Protection* 26: 46-53.

SULER, D.J., FINSTEIN, M.S., 1977. Effect of temperature, aeration, and moisture on CO<sub>2</sub> formation in bench-scale, continuously thermophilic composting of solid waste. *Environmental Microbiology* 33: 345-350.

SULLIVAN, D.M., MILLER, R.O., 2005. Propiedades cualitativas, medición y variabilidad de los compost. En: Stoffella, P.J., Kahn, B.A. (Eds.). Utilización de Compost en los Sistemas de Cultivo Hortícola. 95-119 pp. Ediciones Mundi-Prensa.

SUMMER, M.E., 1982. The diagnosis and recommendation irrigated system. En Proceedings soil and plant analysis seminar, Anaheim, CA Council on soil testing and plant analysis. Athens, Georgia.

TACCHINO, C.E., BORGONI, C., 1993. Indagine sul contenuto di alcoli alifatici dell'olio d'oliva di presione e di strazione. Riv. Ital. Sostanze 60: 575-581.

TARDÁGUILA, J., MONTERO, F., OLMEDA, M., ALBA, J., BERNABÉU, R., 1996. Análisis del sector del aceite de oliva. Alimentación, Equipos y Tecnología, 15(3): 41-47.

TATE, R.L., 1987. Soil organic matter. Biological and ecological effects. John Willey & Sons. New York, 291 pp.

TEJADA, M., GARCÍA, C., GONZÁLEZ, J.L., HERNÁNDEZ, M.T., 2006. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: influence on the physical, chemical and biological properties of soil. Soil Biology & Biochemistry 38: 1413-1421.

TEJADA, M., HERNÁNDEZ, M.T., GARCÍA, C., 2009. Soil restoration using composted plant residues: Effects on soil properties. Soil & Tillage Research 102: 109-117.

THERMOSHUIZEN, A.J., VAN RIJN, E., VAN DER GAAG, D.J., ALABOUVETTE, C., CHEN, Y., LAGERLÖF, J., MALANDRAKIS, A.A.,

PAPLOMATAS, E.J., RÄMERT, B., RYCKEBOER, J., STEINBERG, G., ZMORA-NAHUM, S., 2006. Suppressiveness of 18 composts against 7 pathosystems: Variability in pathogen response. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 2461-2477.

THOMPSON, R.B., NOGALES, R., 1999. Nitrogen and carbon mineralization in soil of vermicomposted and unprocessed dry olive cake ("orujo seco") produced from two-stage centrifugation for olive oil extraction. *Journal of Environmental Science and Health B* 34: 917928.

TITTARELLI, F., PETRUZZELLI, G., PEZZARRSSA, G., CIVILINI, M., BENEDETTI, A., SEQUI, P., 2007. Quality and agronomic use of compost. In: Diaz, L.F., de Bertoldi, M., Bidlingmaier, W. and Stentiford, E. (Eds.). *Compost Science and Technology*. 119-158 pp. Elsevier Ltd., Oxford.

TOMATI, U., GALLI, E., 1995. Earthworms, soil fertility and plant productivity. *Acta Zoologica Fennica* 196: 11-14.

TOMATI, U., MADEJON, E., GALLI, E., 2000. Evaluation of humic acid molecular weight as an index of compost stability. *Compost Science and Utilization* 8: 108-115.

TREVISAN, S., FRANCIOSOS, O., QUAGGIOTTI, S., NARDI, S., 2010. Humic substances biological activity at the plant-soil interface. *Plant Signaling & Behavior* 5: 635-643.

TRILLAS, I., 2002. Apuntes del Taller "Supresividad en Sustratos" en el marco de las VI Jornadas de Sustratos de la SECH, Barcelona. 12 pp.

TRONCOSO, H., JAMETT, F., BENAVIDES, A., ASTORGA, M., 2006. Caracterización química de aceites de oliva producidos en zonas de la Región de Coquimbo. Boletín INIA 153. Instituto de Investigaciones Agropecuarias Intihuasi, La Serena, Chile, 30p.

UCEDA, M., FRÍAS, L., 1975. Epocas de recolección. Evolución del contenido graso y de la composición y calidad del aceite. II Seminario Oleícola Internacional. Córdoba.

UCEDA, M., HERMOSO, M., FRÍAS, L., 1989. Cultivar influence on oil quality, related parameters. *Olea*, 20: 145 pp

UCEDA, M., HERMOSO, M., AGUILERA, M.P., 2004. La calidad del aceite de oliva. En *El cultivo del olivo*. Barranco, D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L. (Eds.) Mundi-Prensa-Junta de Andalucía, Madrid, 659-683 pp.

UCEDA, M.; HERMOSO, M., 2008. La Calidad del Aceite de Oliva. *El Cultivo del Olivo*. Barranco, D.; Fernández-Escobar, R.; Rallo, L. (Eds.). 547-572 pp. Ediciones Mundi-Prensa y Junta de Andalucía.

UKITA, M., IMAI, T., HUNG, Y., 2008. Tratamiento de residuos de alimentos. En: Wang, L.K., Hung, Y., Lo, H.H. y Yapijakis, C. (Eds.). *Tratamiento de los Residuos de la Industria del Procesado de Alimentos*. 355-389 pp. Editorial Acribia S.A., Zaragoza.

VALDRIGHI, M.M., PERA, A., AGNOLUCCI, M., FRASSINETTI, S., LUNARDI, D., VALLINI, G., 1996. Effects of compost-derived humic acids on vegetable biomass production and microbial growth within a plant (*Cichorium inthybus*)-soil system: a comparative study *Agriculture, Ecosystems & Environment* 58: 133-144.

VALENZUELA, A., NIETO, S., 1996. Syntetic and natural antioxidants: food quality protectors. *Grasas y Aceites*, 47: 186-196.

VALLEJO, V.R.; DIAZ FIERROS, F., Y DE LA ROSA, D., 2005. Impactos sobre recursos edáficos. In: *Evaluación de los Impactos del Cambio Climático en España (ECCE)*. Proyecto financiado por la Oficina Española de Cambio Climático (MIMAM).

VAN-CAMP, L., BUJARRABAL, B., GENTILE, A.R., JONES, R.J.A., MONTANARELLA, L., OLAZABAL, C., SELVARADJOU, S.K., 2004. Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

VARENNE, A., 2003. *Produtividade dos Solos e Ambiente*. Escolar Editora, Lisboa, 490pp.

VARGAS, M.C., SUÁREZ-ESTRELLA, F., 2008. Efecto de la aplicación del compost sobre las propiedades biológicas del suelo. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). *Compostaje*. 329-350 pp. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

VAVILOV. N.I., 1951. Phytogeographic basic of plant breeding. The origin, variation immunity and breeding of cultivated plants. *Chronica Bot.* 13, 1-366.

VÁZQUEZ RONCERO. A., 1963. *Química del Olivo. I. Los componentes orgánicos "QUÍMICA DEL OLIVO. I.* *Grasas y Aceites* 14: 262-270.

VÁZQUEZ RONCERO. A., 1964. *Química del Olivo. II. Los componentes orgánicos (2ª parte)*. *Grasas y Aceites* 15: 87-92.

VÁZQUEZ-RONCERO, A., JANER DEL VALLE, C., JANER DEL VALLE, M.L., 1973. Determinación de polifenoles totales del aceite de oliva. *Grasas y Aceites*, 24: 350-354.

VÁZQUEZ, A., JANER, C., JANER, M.L., 1976. Componentes fenólicos de la aceituna III. Polifenoles del aceite. *Grasas y Aceites*, 27: 185-191.

VERLINDEN, G., COUSSENS, T., DE VLIEGHER, A., BAERT, G., HAESAERT, G., 2010. Effect of humic substances on nutrient uptake by herbage and on production and nutritive value of herbage from sown grass pastures. *Grass and Forage Science* 65: 133-144.

VIGIL, M.F., KISSEL, D.E., 1995. Rate of nitrogen mineralized from incorporated crop residues as influenced by temperature. *Soil Science Society of America Journal* 59: 1636-1644.

WALKER, D.J. and BERNAL, M.P., 2008. The effects of olive mill waste compost and poultry manure on the availability and plant uptake of nutrients in a highly saline soil. *Bioresource Technology* 99: 396-403.

WALKER, D.J., CLEMENTE, R., ROIG, A., BERNAL, M.P., 2003. The effects of soil amendments on heavy metal bioavailability in two contaminated Mediterranean soils. *Environmental Pollution* 122: 303-312.

WANDER, M.M., WALTER, G.L., NISSEN, T.M., BOLLERO, G.A., ANDREWS, S.S., CAVANAUGH-GRANT, D.A., 2002. Soil quality: science and process. *Agronomy Journal* 94: 23-32.

WEINBAUM, S.A., PICCHIONI, G.A., MURAOKA, T.T., FERGUSON, L., BROWN, P.H., 1994. Fertilizer nitrogen and boron uptake, storage, and allocation vary during the alternate-bearing cycle in Pistachio trees. *Journal of American Society Horticultural Science*, 119: 24-31.

WILLY VERHEYE, W., 2005. Land use management. En: *Land Use and Land Cover. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, UNESCO, Eolss Publishers, Oxford,UK.

YOGEV, A., RAVIV, R., HADAR, Y., COHEN, R., KATAN, J., 2006. Plant waste-based composts suppressive to diseases caused by pathogenic *Fusarium oxysporum*. *European Journal of Plant Pathology* 116: 267-278.

YOGEV, A., RAVIV, M., KRITZMAN, G., HADAR, Y., COHEN, R., KIRSHNER, B., KATAN, J., 2009. Suppression of bacterial canker of tomato by composts. *Crop Protection* 28: 97-103.

YOGEV, A., RAVIV, M., HADAR, Y., COHEN, R., WOLF, S., GIL, L., KATAN, J., 2010. Induced resistance as a putative component of compost suppressiveness. *Biological Control* 54: 46-51.

ZEYTIN, S., BARAN, A., 2003. Influences of composted hazelnut husk on some physical properties of soils. *Bioresource Technology* 88: 241-244.

ZHU, N., 2006. Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system. *Bioresource Technology* 97: 1870-1875.

ZOHARY, D. Y HOPF, M. 1994. *Domestication of Plants in the Old World (Second Edition)*. Clarendon Press, Oxford.

ZOHARY, D., SPIEGEL-ROY, P., 1975. Beginnings of fruit growing in the old world. *Science* 187 (4174): 319-327.

ZUCCONI, F., DE BERTOLDI, M., 1987. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. In: De Bertoldi, M., Ferranti, M.P., L'Hermite, M.P. and Zucconi, F. (Eds.). *Compost: Production, Quality and Use*. 276-295 pp. Elsevier Applied Science, London.

