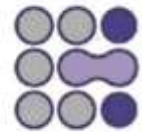




ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

**Máster Universitario de Investigación en  
Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos**



**ESTUDIO DE LA VIABILIDAD A NIVEL FÍSICO-QUÍMICO Y  
FÍSICO DE DIFERENTES COMPOST DE ORIGEN  
AGROINDUSTRIAL PARA SU USO COMO MEDIOS DE  
CULTIVO**



José Ramón Rico Hernández

2017



**Máster Universitario de Investigación en  
Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos**



**ESTUDIO DE LA VIABILIDAD A NIVEL FÍSICO-QUÍMICO Y  
FÍSICO DE DIFERENTES COMPOST DE ORIGEN  
AGROINDUSTRIAL PARA SU USO COMO MEDIOS DE  
CULTIVO**

**Vº Bº DIRECTOR**

María de los Ángeles Bustamante Muñoz

**ALUMNO**

José Ramón Rico Hernández



## UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

Se autoriza a la alumna **D. José Ramón Rico Hernández**, a realizar el Trabajo Fin de Máster titulado: “Estudio de la viabilidad a nivel físico-químico y físico de diferentes compost de origen agroindustrial para su uso como medios de cultivo”, bajo la dirección de D<sup>a</sup>. Maria de los Angeles Bustamante Muñoz, debiendo cumplir las normas establecidas para la redacción del mismo que están a su disposición en la página Web específica del Master.

Orihuela, 20 de junio de 2017

La Directora del Máster Universitario de Investigación en Gestión, Tratamiento y Valoración de Residuos Orgánicos



Fdo.: Concepción Paredes Gil

TRIBUNAL	
FECHA:	
PRESIDENTE:	FIRMA:
VOCAL:	FIRMA:
VOCAL:	FIRMA:

## REFERENCIAS DEL TRABAJO FIN DE MASTER

### IDENTIFICACIONES

**Autor:** José Ramón Rico Hernández

**Título:** Estudio de la viabilidad a nivel físico-químico y físico de diferentes compost de origen agroindustrial para su uso como medios de cultivo.

**Title:** Study of the physico-chemical and physical viability of different compost of agro-industrial origin for their use as growing media.

**Director/es del TFM:** María de los Ángeles Bustamante Muñoz

**Año:** 2017

**Titulación:** Máster de Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos

**Tipo de proyecto:** Trabajo Fin de Máster.

**Palabras claves:** Compost, turba, sustrato, residuo agroindustrial, propiedades físico-químicas y físicas.

**Keywords:** Compost, peat, substrate, agroindustrial waste, physico-chemical and physical properties.

**Nº citas bibliográficas:** 106

**Nº de planos:** 0

**Nº de tablas:** 9

**Nº de figuras:** 27

**Nº de anexos:** 0

### RESUMEN

Actualmente existe una gran demanda de sustratos que no impliquen un fuerte impacto medioambiental como la turba. Una alternativa es el uso de sustratos derivados de compost, que exige que el material presente unas adecuadas propiedades, fundamentalmente físico-químicas y físicas. Este trabajo ha evaluado la idoneidad de diez compost diferentes, derivados de lodos de depuradora de origen agroindustrial y residuos vegetales, mediante sus principales características físico-químicas y físicas, para su uso como sustratos alternativos a la turba, mostrando que en general todos los compost mostraron adecuadas propiedades para este uso.

### ABSTRACT

Nowadays, there is a great demand of substrates that not imply a strong environmental impact, such as peat. Substrate derived from compost is a potential alternative, which requires suitable physico-chemical and physical properties. This work has evaluated the suitability of ten composts derived from agro-industrial sludge and green wastes, through their main physico-chemical and physical properties, showing that in general, all the composts had suitable characteristics for their use as growing media.

## **Agradecimientos**

A Marian, por tu inestimable ayuda, tu apoyo y confianza. Nunca pierdas tu alegría, tu fuerza y tus ganas.

A todos los profesores del Máster, por abrirme las puertas del conocimiento de los residuos orgánicos y mostrarme una pequeña parte de su potencial.

A Jose, Alberto, Pilar, Encarni, Marisol... gracias por vuestra colaboración en las horas que he pasado con vosotros en el laboratorio.

A Virtu, por ser el cayado que ha soportado mi carga durante este largo camino, por ayudarme a levantarme cuando tropezaba y por celebrar conmigo mis pequeños triunfos. Y simplemente, por estar a mi lado, gracias.

***“Era una primavera sin voces. En las madrugadas que antaño fueron perturbadas por el coro de gorriones, golondrinas, palomos, arrendajos y petirrojos y otra multitud de gorjeos, no se percibía un solo rumor; solo el silencio se extendía sobre los campos, los bosques y las marismas” (Rachel Carson, 1962. Silent Spring).***

---

**ÍNDICE**

<b>1. OBJETIVOS Y SÍNTESIS.....</b>	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
2.1. Los sustratos.....	3
2.1.1. Definición, tipología y características.....	4
2.1.2. Propiedades de un buen sustrato.....	6
2.1.3. Problemática del uso de sustratos.....	9
2.1.4. Materiales alternativos a la turba.....	13
2.1.5. El compost como sustituto de la turba y normativa asociada.....	16
2.2. Residuos agroindustriales.....	22
2.2.1. Descripción general.....	24
2.2.2. Características y problemática.....	25
2.2.3. Gestión mediante compostaje.....	28
2.2.3.1. El proceso de compostaje.....	28
2.2.3.2. Gestión de los residuos agroindustriales mediante compostaje.....	30
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
3.1. Composición y elaboración de los compost utilizados.....	33
3.2. Diseño y desarrollo experimental.....	38
3.3. Métodos analíticos.....	40
3.4. Métodos estadísticos.....	48
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>49</b>
4.1. Propiedades físico-químicas y materia orgánica.....	49
4.1.1. pH.....	49
4.1.2. Conductividad eléctrica.....	50
4.1.3. Materia orgánica.....	51
4.2. Propiedades físicas.....	52
4.2.1. Granulometría e índice de grosor.....	52
4.2.2. Densidad real.....	54
4.2.3. Densidad aparente.....	55
4.2.4. Densidad aparente compactada.....	56
4.2.5. Espacio poroso total (EPT).....	57
4.2.6. Contracción.....	58
4.2.7. Capacidad de retención de agua.....	59
4.2.8. Mojabilidad.....	60
4.2.9. Capacidad de aireación.....	60
4.3. Análisis factorial de los resultados.....	62
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>

6. BIBLIOGRAFÍA..... 67

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 2.1** Distribución de las empresas de la Industria de la Alimentación, 2015.
- Figura 2.2** Distribución de las empresas de la Industria Forestal, 2015.
- Figura 2.3** Porcentajes de los residuos orgánicos generados por los sectores primario, secundario y terciario en España en 2006.
- Figura 2.4** Etapas del proceso de compostaje.
- Figura 3.1** Palmera datilera.
- Figura 3.2** Detalle de morera.
- Figura 3.3** Detalle de árbol de tipuana.
- Figura 3.4** Detalle de la caña de río.
- Figura 3.5** Planta compostaje COMPOLAB.
- Figura 3.6** Detalle de las pilas y su proceso de volteo.
- Figura 3.7** Esquema del procedimiento para la determinación de la densidad aparente.
- Figura 3.8** Esquema del dispositivo utilizado en la determinación de la densidad aparente compactada en el laboratorio.
- Figura 3.9** Tamizadora eléctrica.
- Figura 4.1** Valor del pH en función del tipo de compost estudiado.
- Figura 4.2** Valor de la conductividad eléctrica en función del tipo de compost estudiado.
- Figura 4.3** Concentración de la materia orgánica total en función del compost estudiado.
- Figura 4.4** Distribución del tamaño de partícula en los compost estudiados.
- Figura 4.5** Índice de grosor (IG) para los diferentes compost estudiados.
- Figura 4.6** Incidencia del tipo de compost sobre la densidad real.
- Figura 4.7** Incidencia del tipo de compost en la densidad aparente.
- Figura 4.8** Incidencia del tipo de compost sobre la densidad aparente compactada.



**Figura 4.9** Incidencia del tipo de compost sobre el espacio poroso total.

**Figura 4.10** Incidencia del tipo de compost sobre la contracción de volumen.

**Figura 4.11** Incidencia del tipo de compost sobre la capacidad de retención de agua.

**Figura 4.12** Incidencia del tipo de compost sobre la mojabilidad.

**Figura 4.13** Incidencia del tipo de compost sobre la capacidad de aireación.

**Figura 4.14** Componentes principales (PC1 y PC2) obtenidos al realizar el análisis factorial (AF) a los parámetros seleccionados.

#### ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 2.1** Hectáreas de invernaderos en España, 2016.

**Tabla 2.2** Principales propiedades de los sustratos.

**Tabla 2.3** Intervalos óptimos para las propiedades físico-químicas y físicas de los sustratos de cultivo.

**Tabla 2.4** Requisitos mínimos exigidos para considerar a un producto como compost según la legislación española sobre productos fertilizantes.

**Tabla 2.5** Límites máximos de metales pesados en sustratos.

**Tabla 3.1** Principales características de los materiales iniciales utilizados.

**Tabla 3.2** Denominación y composición de los compost.

**Tabla 4.1** Variables seleccionadas para el análisis factorial.

**Tabla 4.2** Matriz de componentes obtenida con el análisis factorial (AF).

## 1. OBJETIVOS Y SÍNTESIS

El importante crecimiento y desarrollo del sector de cultivo sin suelo, tanto a nivel de semilleros como de contenedor, precisa de grandes volúmenes de sustrato, siendo la turba uno de los materiales más utilizados en la actualidad. La turba se caracteriza por presentar unas buenas propiedades físicas para su uso como sustrato. Sin embargo, su uso también conlleva un fuerte impacto ambiental, asociado a su explotación, ya que supone la pérdida de ecosistemas de gran valor ecológico y que además constituyen importantes sumideros de dióxido de carbono, por lo que su eliminación supone un incremento de la contaminación atmosférica debida a los gases de efecto invernadero. Por otra parte, el uso de residuos orgánicos estabilizados como alternativa a la turba en su uso como medio de cultivo, implica no sólo su gestión sino también su reciclaje. El compostaje como técnica de reducción de residuos y generación de materiales de alto valor añadido es de vital importancia y más en zonas donde su uso, ya sea como fertilizante o como sustrato, en zonas predominantemente agrícolas tiene una gran importancia.

Al centrarnos en los materiales compostados para su utilización como sustratos, cobran vital importancia las propiedades físicas y físico-químicas de los mismos, ya que debido a las limitaciones, esencialmente por el volumen, que presentan los contenedores, se deben buscar unas buenas características para lograr un crecimiento óptimo de los cultivos, un buen anclaje del sistema radicular y unas buenas cualidades para el intercambio de fluidos (aire y agua), siendo el principal objetivo el producir plantas de calidad en el menor tiempo posible y con bajo costo de producción.

Por tanto, el principal objetivo de este trabajo fue evaluar la idoneidad de diez tipos diferentes de compost obtenidos a partir de diferentes lodos de origen agroalimentario junto con residuos vegetales, para su uso como medio de cultivo. Para ello, se determinaron las principales características físicas y físico-químicas de estos materiales para evaluar su calidad para su potencial uso como sustratos alternativos a la turba.

## 2. INTRODUCCIÓN

En los últimas décadas, el desarrollo de la agricultura viene sufriendo importantes cambios, motivados esencialmente por las necesidades cada vez mayores de una población en constante aumento, además de los problemas asociados a la pérdida y/o degradación del suelo. El aumento en la demanda de plantas ornamentales, flores y hortalizas ha generado un importante desarrollo de los cultivos de invernadero o protegidos, con el fin de intensificar la producción, buscando mejorar el rendimiento económico y en los que es cada vez más habitual el uso de sustratos (Abad y Noguera, 1998; Márquez-Hernández y col., 2006; Quintero y col., 2011; Cruz-Crespo y col., 2013). En 2016, la superficie dedicada en España a cultivos en invernadero alcanzaba las 65.674 hectáreas, de las que cerca de 24.000 estaban dedicadas al cultivo de hortalizas y flores, según la Encuesta sobre superficies y Rendimientos de Cultivos ([www.mapama.gob.es](http://www.mapama.gob.es)) y tal y como se puede observar en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1** Hectáreas de invernaderos en España, 2016.

Fuente: [www.mapama.gob.es](http://www.mapama.gob.es)

Invernaderos (ha)	Total	Hortícolas y flores	Viveros
Galicia	451	315	58
Asturias	121	43	31
Cantabria	21	14	0
País Vasco	295	88	2
Navarra	572	252	65
La Rioja	48	20	0
Aragón	181	0	166
Cataluña	731	621	17
Baleares	105	96	6
Castilla León	187	61	76
Madrid	165	157	0
Castilla La Mancha	60	51	0
C. Valenciana	1040	674	79
R. de Murcia	6235	3291	375
Extremadura	209	55	17
Andalucía	48509	16843	441
Canarias	6744	1274	45
<b>Total</b>	<b>65674</b>	<b>23855</b>	<b>1378</b>

De las 23.855 ha dedicadas a hortalizas y flores, cerca de 18.000 están dedicadas al cultivo de tomate, pimiento, fresa y fresón, la mayoría en Andalucía, Canarias y la Región de Murcia (MAPAMA, 2016) y donde cada vez se hace más patente el uso de sustratos como alternativa al cultivo en suelo, dado el carácter de la agricultura intensiva, principalmente en el caso de la producción de hortalizas, flores y plantas ornamentales cultivadas en invernaderos, así como en viveros de producción (Pastor, 1999; Cruz-Crespo y col., 2013).

## **2.1 LOS SUSTRATOS**

El interés por los sustratos está en creciente aumento, dado el espectacular desarrollo de la agricultura en invernadero, en los que es habitual realizar el cultivo de hortalizas y flores en banquetas y sacos y la mayor parte de la producción de planta ornamental y arbustiva tiene lugar en contenedores o macetas (López-Cuadrado y Masaguer, 2006; Márquez-Hernández y col., 2008). El interés del cultivo en invernadero radica en que al tener controlada la temperatura y los niveles de nutrición los estomas de las plantas permanecen abiertos durante más tiempo, con lo que se acortan los tiempos de producción a la vez que se aumenta la misma, pero también aumenta la absorción de agua y su pérdida por transpiración y dado que la mayoría de los suelos tienen perfiles heterogéneos y una baja porosidad, no son adecuados para utilizarlos en contenedor (Sáez, 1999; Martínez y Roca, 2011), donde se necesita controlar el agua y el aire disponibles para las plantas, factores que son más fáciles de controlar en sustratos que pueden ser fabricados a la medida de las necesidades propias de cada cultivo.

Los factores limitantes del suelo, el aprovechamiento máximo de la superficie, el control del suministro de agua y nutrientes, el control de fitopatógenos, la reducción de las labores de cultivo y la necesidad de transporte de las plantas producidas en viveros, son algunas de las razones para la sustitución del suelo natural, además del interés económico de producir diversos cultivos durante todo el año y ya no solamente en su temporada natural, como sucede en los cultivos en suelo (Sáez, 1999; López-Cuadrado y Masaguer, 2006; Martínez y Roca, 2011).

### **2.1.1. Definición y tipología**

Según el Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo, se define sustrato como “material sólido distinto de suelos “in situ”, donde se cultivan las plantas”. Una definición más extendida entiende el sustrato como el material sólido natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor, en forma pura o mezclado, permite el anclaje del sistema radicular, que desempeña así un papel de soporte para la planta, pudiendo intervenir o no en el proceso de su nutrición mineral (Abad y Noguera, 1998).

El sustrato está formado por tres fracciones y donde cada una de ellas tiene una función propia: la parte sólida asegura la estabilidad de la planta y el mantenimiento mecánico del sistema radicular, la parte líquida aporta agua y por la interacción con la fracción sólida los nutrientes y la parte gaseosa asegura la transferencia del oxígeno y el dióxido de carbono en la rizosfera (Amor y Gómez-López, 2009). Los objetivos de los sustratos son favorecer la emergencia de las plantas y su crecimiento, regular su nutrición, aprovechar el espacio y facilitar la comercialización y el transporte, permitiendo el anclaje del sistema radicular y asegurando una buena circulación del agua y los gases, con el principal objetivo de producir plantas de calidad en el periodo de tiempo más corto posible y con los menores costes de producción (Martínez y Roca, 2011) y donde el sustrato puede intervenir o no en los procesos de nutrición de las plantas (Jiménez y Caballero, 1990).

En cuanto a la tipología de los sustratos, los de origen inorgánico y químicamente inertes como lana de roca, perlita, roca volcánica, etc. son los más utilizados actualmente en el cultivo comercial de hortalizas. Por otro lado, los sustratos orgánicos a base de turba y/o fibra de coco son los más empleados para el cultivo de plantas ornamentales en contenedor, para semilleros de plántulas hortícolas y en viveros de producción de especies leñosas (Carmona y Abad, 2008).

Las diferencias entre los sustratos químicamente inertes y los químicamente activos viene determinada por la capacidad de intercambio catiónico o la capacidad de

almacenar nutrientes. Los inertes solo actúan como soporte de la planta y no intervienen en los procesos de absorción y fijación de nutrientes y por tanto es necesario suministrar fertilizantes al cultivo mediante la fertirrigación de una manera continuada, mientras que los sustratos químicamente activos actúan como depósito de los nutrientes aportados en la fertirrigación, de modo que los pueden ir cediendo según las exigencias del cultivo (Abad y Noguera, 1998; Sahin y col., 2002).

Otra clasificación de los sustratos se puede hacer dependiendo de si son orgánicos o inorgánicos:

- Los orgánicos pueden ser de origen natural como la turba, de síntesis química como algunos polímeros orgánicos no degradables y de materiales orgánicos procedentes de subproductos y residuos de las diferentes actividades humanas. Este último grupo suele necesitar de un proceso previo de compostaje para hacerlo adecuado a su uso como sustratos, como en el caso de los restos de cultivos, lodos de depuradora, residuos sólidos urbanos, residuos de almazara, etc.
- Los materiales inorgánicos pueden ser de origen natural obtenidos a partir de rocas o minerales apenas modificados como la tierra volcánica, transformados o tratados procedentes de rocas o minerales como la perlita o la lana de roca y los residuos y subproductos de actividades industriales como los residuos de carbón.

Los materiales utilizados para la fabricación de sustratos se deben seleccionar en base a su fácil reproductividad y disponibilidad, de las condiciones climáticas y la especie cultivada, que sean de bajo coste y fáciles de mezclar y que estén libres de semillas de adventicias y de patógenos, además de que no presenten problemas de fitotoxicidad (Quintero y col., 2011). Actualmente hay un creciente interés en la investigación de compost que, no solo no presentan problemas de fitotoxicidad, sino que tienen un carácter supresivo de patógenos (Bonanomi y col., 2010; Borrero y col., 2013; De Corato y col., 2016).

### 2.1.2. Propiedades de un buen sustrato

El sustrato es un sistema de tres fracciones cada una con una función propia: la fracción sólida asegura el mantenimiento mecánico del sistema radicular y la estabilidad de la planta, la fracción líquida aporta a la planta el agua y por interacción con la fracción sólida los nutrientes necesarios, por último, la fracción gaseosa asegura las transferencias de oxígeno y CO<sub>2</sub> del entorno radicular (Lemaire y col., 2005). Por tanto, es necesario conocer las propiedades físicas, físico-químicas y biológicas de los sustratos, pues condicionan en mayor medida los cultivos en contenedor y determinan posteriormente su manejo (López-Cuadrado y col., 2006). En la Tabla 2.2 se muestran las principales propiedades que debe presentar un sustrato.

**Tabla 2.2.** Principales propiedades de los sustratos.

<b>Propiedades físicas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible.</b></li> <li>• <b>Suficiente suministro de aire.</b></li> <li>• <b>Distribución del tamaño de las partículas que mantengan las condiciones adecuadas.</b></li> <li>• <b>Baja densidad aparente.</b> <b>Elevada porosidad.</b></li> <li>• <b>Estructura estable, impide la contracción(o hinchazón) del sustrato y fluido.</b></li> </ul>
<b>Propiedades químicas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moderada capacidad de intercambio catiónico.</li> <li>• Suficiente nivel de nutrientes asimilables. Baja salinidad.</li> <li>• Elevada capacidad tampón y capacidad para mantener constante el pH.</li> <li>• Mínima velocidad de descomposición del sustrato.</li> </ul>
<b>Otras propiedades</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Libre de semillas de malas hierbas y de patógenos.</li> <li>• Reproductibilidad y disponibilidad. Bajo coste.</li> <li>• Fácil de mezclar.</li> <li>• Fácil de desinfectar y estabilidad ante la desinfección. Resistencia a cambios externos físicos, químicos y ambientales.</li> </ul>

Fuente: Raviv y col. (1986); Abad y col. (1993).

En la Tabla 2.3 se detallan los intervalos óptimos para las propiedades físicas de un sustrato ideal.

**Tabla 2.3.** Intervalos óptimos para las propiedades físico-químicas y físicas de los sustratos de cultivo. Abad y col. (1992), y Noguera y col. (2003).

Propiedad física	Unidades	Nivel óptimo
pH (pasta saturada)	-	5,2 - 6,3
C.E (extracto saturado)	dS/m	0,75 - 3,5
Tamaño de las partículas	mm	0,25 - 2,50
Densidad aparente	g/cm <sup>3</sup>	< 0,4
Densidad de partícula	g/cm <sup>3</sup>	1,45 - 2,65
Espacio poroso total	% vol	> 85
Retención de agua a potencial:		
-1 kPa	%vol.	55-70
-5 kPa	%vol	31-40
-10 kPa	%vol	25-31
Capacidad de aireación <sup>1</sup>	% vol	20 - 30
Agua fácilmente disponible <sup>2</sup>	% vol	20 - 30
Agua de reserva <sup>3</sup>	% vol	4 - 10
Agua total disponible <sup>4</sup>	%vol	24-40
Contracción <sup>5</sup>	% vol	< 30

<sup>1</sup>Contenido de aire a potencial de -1 kPa.

<sup>2</sup>Contenido de humedad entre potenciales de -1 y -5 kPa.

<sup>3</sup>Contenido humedad entre potenciales de -5 y -10 kPa.

<sup>4</sup>Contenido humedad entre potenciales de -1 y -10 kPa.

<sup>5</sup>Pérdida de volumen respecto al volumen aparente inicial al secarse a 105 °C.

Las propiedades físicas en un sustrato son esenciales ya que son el factor limitante del uso de un material determinado como medio de cultivo, puesto que estas propiedades no se pueden alterar una vez la planta ha empezado a desarrollarse en el medio de cultivo. Los sustratos deben tener unas características físicas apropiadas, como una baja densidad aparente, una elevada porosidad que garantice el suficiente suministro de aire, una elevada capacidad de retención del agua fácilmente disponible y una distribución del tamaño de las partículas que mantengan las condiciones



adecuadas, además de una estructura estable que impida la contracción. En cuanto a las propiedades químicas, deben tener una moderada capacidad de intercambio catiónico, una baja salinidad, un nivel de nutrientes asimilables suficiente y una elevada capacidad tampón que permita mantener un nivel constante del pH, además de una baja velocidad de descomposición (Sahin y col., 2002; Higashikawa y col., 2010).

El contenedor es un recipiente de un volumen limitado, que obliga a incrementar la frecuencia de riego y abonado y cuya base actúa como barrera y donde el agua se encuentra presión atmosférica, por lo que el desarrollo del cultivo se realiza sobre un medio confinado en un espacio limitado y aislado, con lo que el control de las propiedades físicas es prioritario a la hora de lograr un correcto desarrollo de las plantas, ya que son las más limitantes y una vez que el sustrato está en el contenedor y la planta creciendo en él, es prácticamente imposible modificarlas. Las propiedades químicas, en cambio, sí pueden ser alteradas con las técnicas adecuadas (De Boodt y Verdonck, 1971; Wilson, 1983; Abad y col., 2002; Higashikawa y col., 2010). Entre las características de interés en los sustratos, se pueden citar como las más relevantes asociadas a un sustrato las siguientes:

- *pH*. El pH de un sustrato debe ser el idóneo para favorecer la absorción de nutrientes por parte de la planta. Por otro lado, los sustratos deben tener una capacidad tampón adecuada que amortigüe los posibles cambios bruscos de pH.
- *Salinidad*. La presencia de altas concentraciones de sales como el sodio, bloquea la absorción de otros cationes monovalentes que si son útiles para la nutrición de las plantas. En los sustratos también bloquea los complejos de intercambio de iones. La salinidad de un sustrato debe tener valores muy bajos ya que de lo contrario se podría provocar fitotoxicidad en los cultivos. Este parámetro debe ser controlado constantemente, ya que con el riego o la fertirrigación puede aumentar su concentración, llegando a valores nocivos para las plantas, pudiéndose reducir solamente mediante el lavado con agua de muy buena calidad.
- *Aireación*. Los sustratos adecuados deben tener una capacidad de aireación óptima, para que el intercambio gaseoso para que el desarrollo de las raíces

sea el deseado. Este parámetro es un factor limitante para el uso de un material como sustrato.

- *Porosidad.* La porosidad de un medio de cultivo es el porcentaje de su volumen que no se encuentra ocupado por la fase sólida, la relación entre el volumen de poros y el volumen total que el medio ocupa. Este valor varía en función del tamaño de partícula y los tipos de material.
- *Capacidad de retención de agua.* Esta depende de la porosidad del material. El agua disponible dependerá de la cantidad total de agua retenida y del modo en que esta sea distribuida por los poros ya que, si son grandes se perderá por gravedad y si son pequeños quedará fuertemente retenida y no estará disponible para las plantas.
- *Capacidad de intercambio catiónico.* Se expresa en meq/100g. Valores de CIC >20 meq/100 g se consideran adecuados para la mayoría de los cultivos.
- *Materia orgánica.* Su presencia mejora las propiedades físicas, contribuye a la estabilización de la temperatura y a la activación enzimática de las raíces entre otros factores.
- *Densidad.* La densidad representa el peso específico del sustrato seco expresado en g/cm<sup>3</sup>. La densidad se utiliza para saber que preparación de mezclas hacer, ejecución del análisis químico en base a volumen.
- *Relación C/N.* Esta relación permite seguir el ritmo de humificación de la materia orgánica de un material. Una relación C/N alta indica una tasa de mineralización baja y consiguientemente habrá que aplicar abonos minerales nitrogenados.

### **2.1.3. Problemática del uso de sustratos**

La problemática en el uso de los sustratos se puede abordar desde diferentes enfoques:

#### *a) Desde el punto de vista técnico*

Las opciones para un correcto manejo de los sustratos pasan por que el agricultor se adecue a las características del sustrato que está utilizando o que el

sustrato se prepare de acuerdo a las exigencias del cultivo y al modo de cultivar del agricultor. Es un error muy habitual que, por priorizar el coste económico y la simplicidad de la mezcla se utilice, por parte de los fabricantes, un único sustrato para un gran número de cultivos. A la hora de preparar y utilizar un sustrato, se deben tener en cuenta variables como:

- ✓ Cultivo en invernadero o al aire libre. Los sustratos para el cultivo al aire libre deben tener una mayor capacidad de retención de agua y una densidad aparente más elevada que los utilizados en invernadero, ya que la evapotranspiración es mayor y además se deben soportar los efectos del viento.
- ✓ Climatología. Con temperaturas altas y déficit elevado de saturación de vapor se requieren sustratos con elevada capacidad de retención de agua, con velocidad de evaporación lenta y con mayor resistencia a la descomposición. Si por el contrario las condiciones son las opuestas, interesa que el sustrato tenga un buen drenaje y buena capacidad de aireación.
- ✓ Especie cultivada. El medio ambiente natural de origen de la especie cultivada es el que va a determinar las características apropiadas del sustrato a utilizar, además de las necesidades nutritivas, de aireación y de hidratación de la propia especie.
- ✓ Método de riego. Si el sistema de riego es de “flujo y reflujó”, se requieren sustratos fibrosos. Si se aplican elevadas dosis de riego, es necesario aumentar la cantidad de fertilizante y por el contrario, si se utilizan sistemas de goteo o subirrigación, lo recomendable es reducir la cantidad de fertilizante aplicado mediante el riego superficial.
- ✓ Finalidad. El sustrato variará dependiendo de que se vaya a utilizar para: semilleros, donde la germinación de las semillas requiere sustratos de fácil preparación y manejo, con el mínimo de perturbación para las raíces, de textura fina, estructura estable, elevada capacidad de retención de agua, que mantenga una humedad constante, con escasa capacidad de nutrición y con un bajo nivel de salinidad; crecimiento y desarrollo, donde el sustrato debe tener textura de media a gruesa, con una mayor capacidad de aireación, un buen drenaje, un nivel óptimo de fertilizantes y una moderada capacidad tampón y de intercambio catiónico, con objeto de regular el pH y mantener la capacidad de fertilización; enraizamiento de

estaquillas, donde se necesita que el sustrato la mantenga en su lugar durante el periodo de enraizamiento, le proporcione humedad y permita la penetración de aire a la base de la estaquilla, proporcionando suficiente porosidad que permita una buena aireación, un buen drenaje y una alta capacidad de retención de agua.

- ✓ Homogeneidad. En materiales orgánicos como turbas, mantillo, cortezas, restos vegetales, etc., el origen y tratamiento del material es distinto y por tanto, también lo será el producto. En los casos que el sustrato necesite de un compostaje previo, el proceso puede variar de una partida a otra, con lo que las características también serán diferentes. Es importante que el material empleado como sustrato sea relativamente homogéneo en cuanto a su granulometría, para evitar la reordenación entre las partículas finas y gruesas, lo que provocaría una reducción del espacio poroso total, con el consiguiente problema de generación de retención excesiva de agua y/o falta de oxígeno en el sistema radicular.
- ✓ Compresibilidad y desecación. En el llenado de los contenedores o durante el riego, algunos sustratos presentan riesgos de deformación por compactación o tienden a la desecación, como el caso de la fibra de coco o algunas turbas, que pueden llegar a perder hasta un 25 % de su volumen inicial y que, en ocasiones tiene un carácter irreversible. Estos problemas se deben evitar mediante el uso de materiales con baja tendencia a la compactación y evitando sustratos muy hidrófobos en seco, mezclando varios materiales de modo que entre ellos se complementen y se obtengan productos con buenas características
- ✓ Estabilidad biológica. Es fundamental que los sustratos posean una alta estabilidad biológica, ya que de no ser así continuaría su degradación durante el cultivo, lo que alteraría sus propiedades físicas por la disminución del tamaño de las partículas, lo que provocaría cambios en su empaquetamiento y en el tamaño de los poros, además de generar otros inconvenientes como un aumento en el consumo de oxígeno, la inmovilización del nitrógeno o la posible producción de fitotoxinas, entre otros problemas.

*b) Desde el punto de vista económico*

En casos donde el sustrato proviene de lugares alejados de los centros de consumo o presentan una disponibilidad reducida, se afectará tanto a la disponibilidad del suministro como al precio de los materiales.

*c) Desde el punto de vista medio ambiental*

El uso de materiales no renovables como la turba, genera problemas medio ambientales por el agotamiento de las turberas, con lo que ello supone a nivel de contaminación por dióxido de carbono y desaparición de ecosistemas de alto valor ecológico. También se debe tener en cuenta la utilización de productos cuyo origen lleva aparejado el problema ambiental asociado al transporte, con lo que se debería priorizar por el uso de materiales próximos a la zona donde van a ser utilizados. Por otro lado, el volumen de materiales orgánicos residuales generado en las actividades humanas está en aumento, lo que supone un gran problema de gestión de residuos, pero solucionable si se adoptan las medidas adecuadas para transformar esos residuos en recursos, entrando en la llamada “economía circular”, cerrando así el ciclo de vida de los residuos y transformándolos en un producto de alto valor añadido.

En los casos en que las propiedades del sustrato no se ajusten a los valores óptimos que se requieren, se deben diseñar estrategias de mejora que por otro lado, no comporten costes adicionales elevados. Se exponen a continuación algunas de las estrategias de mejora que se pueden utilizar para los sustratos orgánicos:

- En el caso de encontrarnos con el problema de una salinidad elevada del material, se debe realizar una lixiviación controlada. El lavado del sustrato con aguas de calidad es la única solución para corregir este problema.
- Cuando el pH del sustrato está alejado del intervalo apropiado, se debe llevar a cabo el ajuste del mismo, ya sea mediante la adición de materiales cálcicos en el caso de sustratos ácidos, o mediante la adición de azufre u otros compuestos azufrados en el caso de pH alcalino o neutro.
- Mezclas. Es muy poco habitual que un material por sí solo cumpla unas características adecuadas para su utilización como sustrato de cultivo, por lo que lo normal será el uso de mezclas de varios materiales, en diferentes

proporciones, con el objeto de adecuar el producto final a las condiciones físicas, químicas y biológicas requeridas.

#### **2.1.4. Materiales alternativos a la turba**

Tradicionalmente se ha venido utilizando la turba como sustrato para el cultivo sin suelo dadas sus buenas propiedades tanto físicas (baja densidad aparente y alta porosidad total, lo que proporciona unas buenas propiedades de aireación y retención de agua, además de facilitar el transporte y reducir los gastos asociados al mismo) como químicas (valores de capacidad de intercambio catiónico normalmente altos, con una buena capacidad de almacenar nutrientes disponibles para las plantas). A pesar de ello, no es un sustrato perfecto, ya que presenta un pH ácido y unos valores bajos de nutrientes que hacen necesario el aporte de cal y nutrientes para favorecer el desarrollo óptimo de los cultivos, además de ser fácilmente receptora de infecciones fúngicas y presentar problemas de rehidratación una vez que se ha secado (Gruda, 2010; Fascella, 2015).

En los últimos años se trabaja intensamente en la búsqueda de materiales alternativos a la turba (Pulizzi y col., 2008; Fascella, 2015), ya que además de los problemas planteados, se trata de un recurso no renovable y cuya extracción supone la destrucción de ecosistemas de alto valor ecológico, que tiene la característica de ser un importante sumidero de CO<sub>2</sub> al secuestrar y almacenar el carbono atmosférico (Robertson, 1993; Alexander y col., 2008). A todo esto, se debe añadir que el elevado volumen de residuos orgánicos, relacionado con la intensificación de los sectores agrícola, ganadero e industrial, supone un problema de gestión y que, mediante el proceso controlado de la fabricación de compost se puede paliar y al mismo tiempo obtener materiales de alto valor añadido (Alexander y Bragg, 2014; Barrett y col., 2016), logrando productos con un buen balance de nutrientes, unas características químicas y físicas apropiadas para las distintas necesidades de los cultivos (Guérin y col., 1998; Jayasinghe y col., 2010) y un importante elemento de supresividad de patógenos (Borrero y col., 2013; De Corato y col., 2016), con lo que se puede reducir

de manera drástica el uso de productos fitosanitarios de síntesis. Como alternativa a la turba, los materiales más utilizados son:

- *Serrín*. Con bajo contenido en nutrientes pero con mucha facilidad para absorber agua, por lo que se puede utilizar como sustrato de plantas con pocos requerimientos nutritivos o mezclándolo con otros sustratos más ricos y/ con menor capacidad de retención hídrica.
- *Fibras vegetales residuales*. Usualmente procedentes de actividades urbanas como la poda de jardines, por ejemplo, no vinculadas al sector agrícola. Tienen altos niveles de nutrientes y fósforo y bajos de nitrógeno. Presenta altos niveles de aireación y de porosidad total. Para utilizarlo como sustrato y dado su alto contenido en carbono, lo ideal es mezclarlo con materiales ricos en nitrógeno y que presenten problemas de aireación que este material puede paliar.
- *Residuos vegetales y animales*. Procedentes de actividades agrícolas, ganaderas y/o agroindustriales, presentan un elevado volumen de recursos con alto contenidos en materia orgánica y nutrientes que hacen necesaria su gestión, con el fin de minimizar los impactos ambientales de su producción y obtener materiales de alto valor añadido. Su composición y propiedades es muy heterogénea, dependiendo del origen y trato de los materiales de origen. Algunos de estos materiales pueden ser: restos de cosechas, estiércol y purines de granja, residuos y lodos procedentes de la industria agroalimentaria, etc.
- *Residuos urbanos*. Dentro de los residuos orgánicos de origen urbano, se distingue entre los residuos sólidos urbanos (RSU) y los lodos de depuradora. Son materiales muy heterogéneos y con un creciente volumen de generación por lo que la tendencia es a valorizarlos, ya sea mediante reciclado, reutilización o aplicación agrícola. Se solucionaría así parte de la problemática ambiental de su generación, además de recuperar y aprovechar la materia orgánica y los elementos fertilizantes que contienen, pero según el RD 865/2010, no se incluye este tipo de residuos, en especial los lodos de depuradora. Estos últimos, si son debidamente compostados pueden constituir un ingrediente del sustrato, dado el alto contenido en materia orgánica y nitrógeno, así como algunos elementos

esenciales, pero también presentan inconvenientes como la elevada presencia de amonio, la baja relación C/N o la presencia de patógenos.

- *Fibra de coco*. Suele presentar un buen tamaño de partícula, lo que está muy relacionado con la aireación y el espacio poroso total. Tiene valores de porosidad superiores a la turba y un alto contenido en macro y micro nutrientes. El problema medio ambiental de su uso se relaciona con el transporte, ya que las zonas de producción de este material implican grandes desplazamientos desde las zonas productoras.
- *Perlita*. Es un material inorgánico inerte, fabricado a partir del calentamiento a 1000-1200°C de rocas volcánicas silíceas y con una densidad muy alta. Su uso habitual es mezclarla con otros materiales para mejorar su oxigenación. Presenta un potencial efecto tóxico por liberación de aluminio con valor de pH menores de 5.
- *Vermiculita*. Material inorgánico inerte de la familia de las micas, es un silicato de magnesio, aluminio y hierro que al tratarse a altas temperaturas se expanden sus láminas. Es un material muy poroso, con una elevada capacidad de intercambio catiónico y que absorbe poca agua, pero puede retenerla entre sus láminas durante periodos cortos de tiempo, por lo que es habitual su uso como recubrimiento en semilleros, ya que también facilita la oxigenación.
- *Lana de roca*. Es un sustrato inorgánico inerte que se obtiene a partir de la fusión a 1500°C de minerales, rocas y escorias a las que se incorporan resinas para mantener su cohesión. Tiene una densidad aparente baja, una porosidad total muy alta y unas capacidades de retención del agua disponible y de aireación altas.
- *Gravas*. Las gravas de cuarzo se utilizan en cultivos hidropónicos pero se debe tener en cuenta que sus gránulos no sean muy gruesos y sus aristas no sean muy vivas y por otro lado, no tienen capacidad tampón y retienen poco la humedad, además de ser caras. El granito molido presenta características similares a las gravas de cuarzo, pero aún son más caras. Las gravas de piedra pómez tiene buenas propiedades físicas, con alta porosidad y capacidad de absorción de la materia seca. La grava de río presenta un bajo contenido en cal y una



granulometría adecuada para su uso como sustrato y, al igual que la piedra pómez, debe lavarse antes de su uso con una solución ácida de superfosfatos.

- **Arena.** Material silíceo de composición variable que puede proceder de canteras o ríos. Se usan tanto en solitario como en mezclas con turba u otros materiales orgánicos, pero siempre exentas de limos, arcillas y carbonato cálcico. Tienen una capacidad de intercambio catiónico muy baja y poca capacidad de aireación.

#### **2.1.5.El compost como sustituto de la turba y normativa asociada**

El interés por la utilización del compost ha ido en aumento debido a la necesidad de buscar un sustrato con buenas propiedades físicas, químicas y biológicas que pueda ser sustituto de la turba (Bustamante y col., 2008; Fascella, 2015); al interés de reducir el uso de productos fitosanitarios de síntesis (De Corato y col., 2016); al elevado volumen de subproductos con alto contenido orgánico que se genera en los procesos agrícolas, industriales y urbanos y al desarrollo de la conciencia ambiental (Barrett y col., 2016), apoyada en legislaciones cada más preocupadas por desarrollar una economía circular, basada en la eficiencia del uso de los recursos y la disminución de los residuos (Allwood, 2014).

El compost puede presentar propiedades físicas, físico-químicas y químicas adecuadas para su uso como sustrato, que lo puede hacer idóneo como sustituto de la turba (Bustamante y col., 2008). De esta forma, poco a poco se van incorporando como sustratos o componentes de sustratos materiales orgánicos alternativos a la turba, como son los compost de residuos orgánicos de ámbito local que abaratan las mezclas, al reducir la proporción de turba importada, sin afectar de modo notable a sus propiedades y calidad (Abad y col., 2001). De este modo, muchos residuos y subproductos de naturaleza orgánica, 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). Los parámetros de calidad del compost, a la hora de utilizarlo como sustrato, se relacionan íntimamente con sus propiedades, tanto físicas como químicas y biológicas ya descritas en apartados anteriores y que se recogen la legislación.

La legislación europea sobre fertilizantes comenzó a desarrollarse por la creciente necesidad de unificar los aspectos de armonización, con los objetivos generales de implementar la libre circulación de los productos fertilizantes y desarrollar la competitividad del sector asegurando que los productos sean seguros y fiables y como objetivos específicos, armonizar la legislación, garantizar la seguridad de los productos, asegurar la eficacia agronómica y reducir las cargas administrativas. Para ello se aprobó el Reglamento (CE) 2003/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre, relativo a los abonos y una serie de Reglamentos posteriores donde se modifica este para adaptarlo a los cambios técnicos que se han ido sucediendo a lo largo del tiempo.

Posteriormente se redactó el Reglamento (CE) 765/2008, en el que se establecen los requisitos a cumplir por los países miembros en cuestión de acreditación y vigilancia del mercado, relativos a la comercialización de productos, de modo que se garantice la libre circulación de los productos y la seguridad del medio ambiente, mediante la adecuación de normas concernientes a la acreditación, la vigilancia del mercado, los controles de los productos procedentes de terceros países y el mercado CE. Dado que existían productos utilizados en agricultura y que no estaban contemplados en dicho reglamento, se publicó el Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes (Tabla 2.4), el cual ha sido modificado y actualizado con el Real Decreto 535/2017, que se centran en materiales fabricados a partir de material orgánico. En su artículo 3 se excluían los sustratos y soportes de cultivo y se indicaba la necesidad de regularlos mediante una norma específica.

Por ello, se redactó el Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo, con el fin de establecer una normativa básica en materia de sustratos de cultivo para agricultura, jardinería y paisajismo que sirva para definirlos y tipificarlos, garantizando la armonización de las especificaciones y otras características de los sustratos, de modo que se eviten los riesgos para la salud y el medio ambiente debido a su uso. Para obtener sustratos adecuados a la actividad agraria, debemos atender a la normativa específica que nombra los sustratos que son utilizables y los que no.

**Tabla 2.4** Requisitos mínimos exigidos para considerar a un producto como compost según la legislación española sobre productos fertilizantes.

Parámetro	Real Decreto 535/2017		
<b>Materia Orgánica mínima (%)</b>	35		
<b>Humedad máxima (%)</b>	40		
<b>C/N</b>	< 20		
<b>Metales pesados (mg/kg m.s.):</b>	<b>Clase A</b>	<b>Clase B</b>	<b>Clase C</b>
Cadmio	0,7	2	3
Cromo (total)	70	250	300
Cromo (VI)	n.d.	n.d.	n.d.
Cobre	70	300	400
Mercurio	0,4	1,5	2,5
Níquel	25	90	100
Plomo	45	150	200
Zinc	200	500	1000
Selenio	-	-	-
Arsénico	-	-	-
Molibdeno	-	-	-
Flúor	-	-	-
<b>Contaminantes orgánicos</b>			
Polifenoles (% p/p)	0,8		
Furfural (% p/p)	0,05		
<b>Microorganismos</b>			
<i>Salmonella spp</i>	Ausente en 25 g de compost		
<i>E. coli</i>	<1000 NMP/g		
<b>Partículas (%)</b>	90 (≤25mm)		
<b>Impurezas (%)</b>	No puede contener		
<b>Gravas y piedras (%)</b>	No puede contener		

n.d.: no detectable según el método oficial; NMP: número más probable.

El desarrollo de la normativa sobre sustratos permitió ofrecer un lenguaje común de comunicación entre la administración, usuarios, centros de investigación y consumidores, garantizando la calidad, homogeneidad, trazabilidad y seguridad del producto y permite la comparación entre sustratos, además de evitar la competencia desleal (APTYS, [www.aptys.org](http://www.aptys.org)).

En el Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo definen y tipifican aquellos productos que pueden ser utilizables, y tiene como fines:

- a) Definir y tipificar los sustratos de cultivo, que puedan utilizarse en agricultura, jardinería o paisajismo.

- b) Garantizar que las especificaciones y otras características de los sustratos de cultivo se ajustan a las exigencias de este real decreto.
- c) Prevenir los riesgos para la salud y el medio ambiente por el uso de estos productos.
- d) Establecer el procedimiento para la actualización de los anexos de este real decreto.

Los sustratos de cultivo deberán cumplir los requisitos relativos a sus características, envasado e identificación, puesta en el mercado, materias primas, y demás disposiciones de este real decreto y deberán estar incluidos en la relación de tipos de sustratos del anexo I. Sólo podrá ser considerado como sustrato de cultivo el que reúna los siguientes requisitos:

- a) Que permita el desarrollo de las plantas de manera eficaz.
- b) Que se disponga de métodos adecuados de toma de muestras y de análisis y de ensayo para comprobar sus características y cualidades.
- c) Que, en condiciones normales de uso, no produzca efectos perjudiciales para la salud y el medio ambiente.
- d) Que no sea portador de plagas ni patógenos causantes de enfermedades de los vegetales.
- e) Que esté libre de semillas y propágulos de malas hierbas. En los tipos: arcilla (2.1), arenas y gravillas (2.5, 2.6, 2.7), tierra natural (2.14) y tierra vegetal (5.2) del anexo I, considerando la naturaleza de estos productos, no se exigirá este requisito.

Los productos que pueden comercializarse como sustratos de cultivo o como componentes de los mismos deben pertenecer a alguno de los grupos incluidos en el anexo I de este Real Decreto; de tal forma que no se pueden poner en el mercado aquellos productos que no se encuentren integrados en uno de los siguientes grupos:

**Grupo 1:** Productos orgánicos como sustratos de cultivo o componentes de los mismos.

**Grupo 2:** Productos minerales como sustratos de cultivo o componentes de los mismos.

**Grupo 3:** Productos de síntesis como sustratos de cultivo o componentes de los mismos.

**Grupo 4:** Productos preformados como sustratos de cultivo.

**Grupo 5:** Sustratos de cultivo de mezcla.

Además, en el Anexo I se especifican, para cada uno de los grupos citados, los tipos de productos que lo integran, con indicación de las siguientes características: a) Denominación del tipo de producto, b) Descripción, c) Especificaciones, d) Declaraciones obligatorias y e) Declaraciones opcionales. Así mismo, en este Real Decreto también se pautan las normas para el envasado y etiquetado de los sustratos, su puesta en el mercado y las condiciones de las materias primas a utilizar. Respecto a los límites en el contenido de microorganismos patógenos, se consideran los siguientes aspectos y grupos microbianos:

a) La materia prima transformada, lista para ser usada como ingrediente de productos orgánicos de origen animal, debe ser sometida a un proceso de higienización que garantice que su carga microbiana no supera los valores máximos establecidos en el Reglamento (CE) n.º 1774/2002.

b) En los sustratos de cultivo de origen orgánico, se acreditará que no superan los siguientes niveles máximos de microorganismos:

***Salmonella***: Ausente en 25 g de producto elaborado.

***Listeria monocytogenes***: Ausente en 1 g de materia bruta (únicamente para cultivos cuya producción se consuma en crudo).

***Escherichia coli***: < 1000 número más probable (NMP) por gramo de producto elaborado.

***Enterococcaceae***: entre 10<sup>4</sup> y 10<sup>5</sup> número más probable (NMP) por gramo de producto elaborado.

***Clostridium perfringens***: entre 10<sup>2</sup> y 10<sup>3</sup> número más probable (NMP) por gramo de producto elaborado.

Respecto al contenido de metales pesados, los sustratos no deberán sobrepasar los niveles indicados en la Tabla 2.5. Tal como se indica en esta tabla, en función de los niveles de metales pesados se establece la siguiente clasificación:

- ✓ **Clase A:** Sustratos de cultivo cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna A.
- ✓ **Clase B:** Sustratos de cultivo cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna B. Los productos de la clase B no podrán aplicarse en cultivos hortícolas comestibles.

**Tabla 2.5.** Límites máximos de metales pesados en sustratos.

Metal pesado	Límites de concentración mg/kg materia seca	
	Clase A	Clase B
Cadmio	0,7	2
Cobre*	70	300
Níquel*	25	90
Plomo	45	150
Zinc	200	500
Mercurio	0,4	1,5
Cromo (total)*	70	250
Cromo (VI)	0,5	0,5

Posteriormente, se redactó el Real Decreto 1039/2012, de 6 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo. Esta modificación consistió en una disposición transitoria única sobre las normas de etiquetado, donde se ampliaba el plazo hasta el 1 de enero de 2014. La posterior modificación de los anexos I, II, IV y VI del Real Decreto 865/2010 ha venido determinada por la Orden PRA/1943/2016, con cambios en cuanto a la clasificación de productos (anexo I del RD 865/2010), la identificación y el etiquetado (anexo II del RD 865/2010), los márgenes de tolerancia relativos a la conductividad eléctrica (anexo IV del RD 865/2010) y los límites máximos de microorganismos y metales pesados en los sustratos de cultivo (anexo VI del RD 865/2010).

Adicionalmente, en el campo de la fabricación de sustratos, también son de interés: el Real Decreto 1528/2012, de 8 de noviembre, por el que se establecen las normas aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano y la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos

contaminados, transposición de la Directiva 98/2008/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas (Directiva Marco de Residuos).

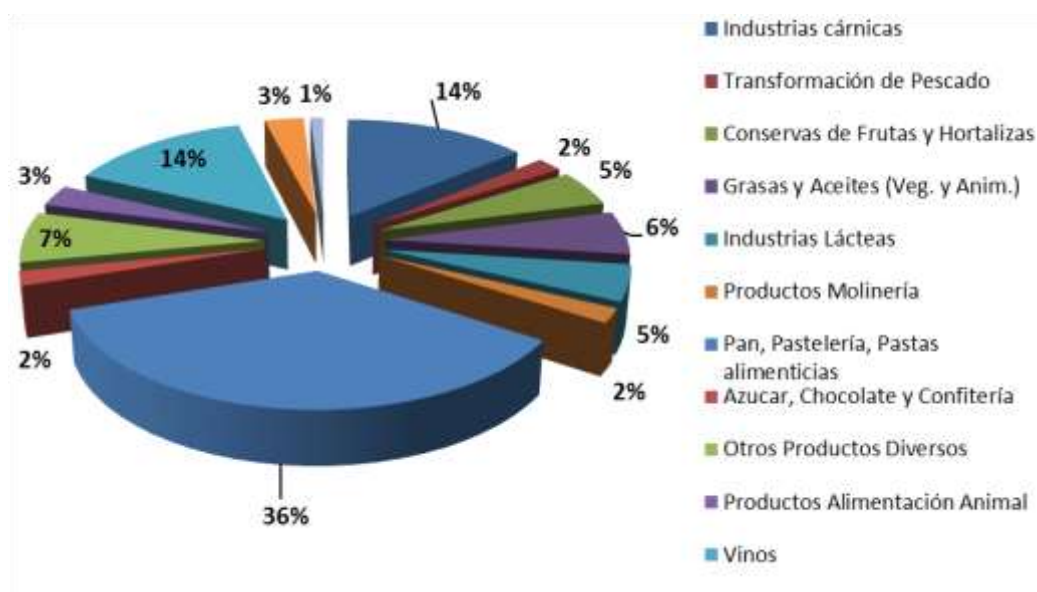
## **2.2 RESIDUOS AGROINDUSTRIALES**

De un modo general, se puede definir la agroindustria como una actividad económica que combina el proceso productivo agrícola, forestal, pecuario y/o pesquero con el industrial para producir alimentos o materias primas destinadas al mercado. También se podría definir como la parte del sector industrial que se dedica a producir y/o transformar, almacenar y comercializar los productos provenientes del sector primario (Saval, 2012). Se puede considerar que parte de este tipo de actividades se engloban dentro de la categoría de actividades industriales enumeradas en el anexo I, punto 6.4, letras a), b) y c) de la Directiva 2010/75/UE, de 24 de noviembre, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación) (versión refundida) y que sus residuos entrarían dentro de la categoría de residuos industriales no peligrosos. Las actividades generadoras de los residuos agroindustriales son muy variadas y ocupan diversos campos, tal y como recoge el MAPAMA en su anuario de estadística 2015:

- Procesado y conservación de carne y elaboración de productos cárnicos.
- Procesado y conservación de pescados, crustáceos y moluscos.
- Procesado y conservación de frutas y hortalizas.
- Fabricación de aceites y grasas vegetales y animales.
- Fabricación de productos lácteos.
- Fabricación de productos de molinería, almidones y productos amiláceos.
- Fabricación de productos de panadería y pastas alimenticias.
- Fabricación de otros productos alimenticios.
- Fabricación de productos para la alimentación animal.
- Destilación, rectificación y mezcla de bebidas alcohólicas.
- Elaboración de vinos.
- Fabricación de cerveza.
- Producción de aguas minerales y bebidas analcohólicas.

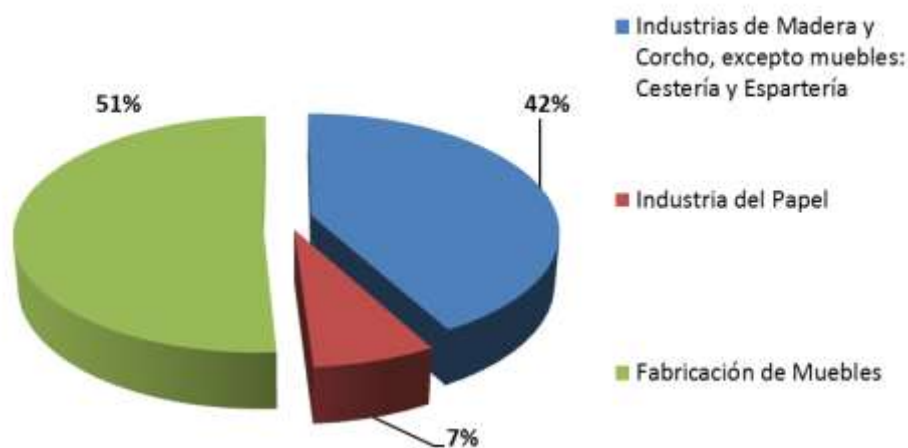
- Industria de la madera y corcho, excepto muebles: cestería y espartería.
- Industria del papel.
- Fabricación de muebles.

La distribución de empresas dedicadas a la alimentación y a la industria forestal se detalla en las Figuras 2.1 y 2.2.



**Figura 2.1.** Distribución de las empresas de la Industria de la Alimentación, 2015.

Fuente: MAPAMA (2015).

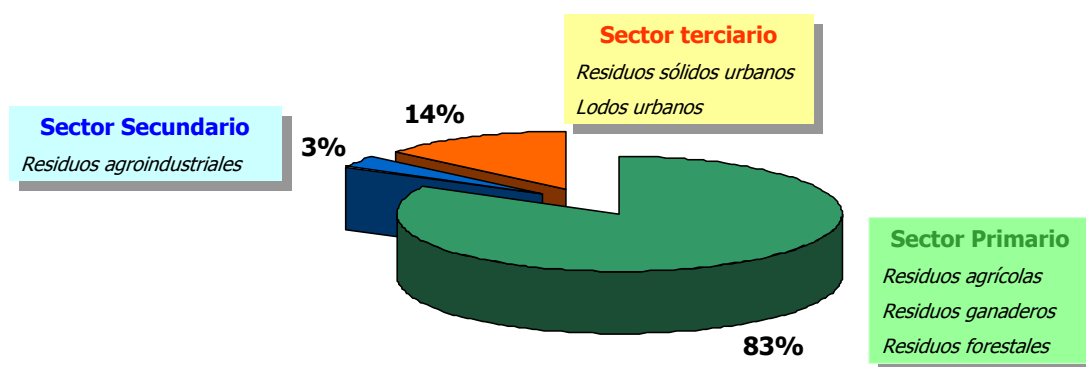


**Figura 2.2.** Distribución de las empresas de la Industria Forestal, 2015. Fuente: MAPAMA (2015).



### 2.2.1 Descripción general

Los residuos se han venido clasificando en función de su origen según los distintos sectores de producción. Los residuos agroindustriales se engloban dentro del sector secundario y, a pesar de ser un bajo porcentaje en relación al total de residuos orgánicos generados en las actividades humanas, representa un elevado volumen de residuos disponibles para su valorización. En la Figura 2.3 se observan los porcentajes de los residuos orgánicos generados por sectores en España en 2006.



**Figura 2.3.** Porcentajes de los residuos orgánicos generados por los sectores primario, secundario y terciario en España en 2006. Fuente: MAPAMA (2015).

Los residuos agroindustriales son materiales en estado sólido o líquido que se generan a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización y que ya no son de utilidad para el proceso que los generó, pero que son susceptibles de aprovechamiento o transformación para generar otro producto de valor añadido. El aumento de volumen de estos residuos debido al desarrollo de la agroindustria, unido a las distintas legislaciones redactadas en los últimos años a nivel medio ambiental son el aliciente para buscar soluciones apropiadas, que consigan paliar la problemática que generan estos subproductos y obtener su máximo potencial, generando un beneficio económico y ambiental, siendo una de las alternativas la obtención de materiales orgánicos estabilizados que puedan utilizarse como enmiendas orgánicas de suelos (Sellami y col., 2008), fertilizantes o como sustratos de cultivo alternativos a la turba (García-Gómez y col., 2002; Ros y col., 2012), con el interés añadido de su aplicación como control biológico de fitopatógenos (Suárez-Estrella y col., 2013).

### **2.2.2 Características y problemática**

Los residuos orgánicos de la industria alimentaria son tan variados como las propias industrias que los generan, donde el impacto ambiental está principalmente asociado al consumo de agua y energía, la generación de aguas residuales y su consiguiente tratamiento, así como la producción de subproductos de naturaleza orgánica biodegradable considerados residuos no peligrosos, según la Directiva 2008/98/CE. Además de los residuos ya mencionados, se producen una serie de residuos inertes como residuos de envases y embalajes, tierras de filtración, etc., además de una pequeña cantidad de residuos peligrosos, que no alcanza el 1 % de los residuos peligrosos de toda la industria (MAPAMA, 2016), normalmente asociados a las operaciones de mantenimiento de las instalaciones y a los residuos de los laboratorios propios de las empresas y que deben ser tratados según sistemas de gestión específicos para estos materiales.

En España, la industria de la alimentación y bebidas representaba en 2013 un 20,6 % de las ventas netas, con más de 28.000 empresas en el sector, lo que hace de ella la rama más importante en el sector industrial (MAPAMA, 2015). El elevado número de empresas, así como la variedad de productos que generan, supone una gran heterogeneidad de residuos, lo que en ocasiones puede dificultar su gestión, especialmente en el caso de las pequeñas empresas y donde un factor a tener en cuenta es la estacionalidad de algunos productos, cosa que no sucede en el sector de la horticultura en invernadero, por ejemplo. Por otro lado, es muy habitual que la ubicación de las industrias se localice generalmente cerca de las áreas productoras, lo que hace que sea muy interesante la transformación de estos subproductos en otros que permitan volver a introducirlos en la misma área geográfica (Núñez-Pérez y col. 2012; García-Ortiz-Civantos, 2016), como por ejemplo mediante compostaje para su posterior uso como sustrato o enmiendas de suelos (Morales, 2015).

En el campo de los transformados vegetales, por ejemplo, se encuentran actividades relacionadas con las conservas, congelados, zumos, concentrados, salsas y néctar de frutas y hortalizas, con restos orgánicos tan dispares como hojas, tallos,

semillas, pulpa o pieles y que pueden variar entre el 13 y el 65 % de la materia prima, además de los lodos de depuración entre 2 y 8 toneladas por cada tonelada de materia prima procesada (Ros y col., 2012). No obstante, estos subproductos tienen rasgos comunes como son: altos niveles de materia orgánica; elevadas concentraciones de proteínas, carbohidratos y lípidos; alta demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) y variación en la concentración de nitrógeno y valor de pH, por ejemplo (García-Ortiz-Civantos, 2016).

Concretamente, la producción de los lodos generados tras los procesos de depuración de las aguas residuales de origen agroindustrial se está incrementando, principalmente debido al crecimiento de la industria agroalimentaria, así como a la mejora en la calidad de los procesos de producción, que ha implicado un incremento en la instalación de sistemas de tratamiento de las aguas residuales (Morales y col., 2016). Este tipo de lodos se encuentran normalmente en áreas donde se concentra la producción, como por ejemplo, en la Región de Murcia (11.000 km<sup>2</sup>), donde se produjeron 15.000 toneladas durante la campaña 2011/2012, con un aumento previsto de hasta 40.000 toneladas por año (Morales y col., 2016). Las características de este nuevo tipo de residuo son similares a las de un lodo de depuradora, con la principal diferencia de que no suelen contener metales pesados u otros compuestos y/o elementos potencialmente tóxicos, debido a que el agua residual tratada está principalmente constituida por una alta carga orgánica (Morales y col., 2016).

Un uso inadecuado en el suelo de estos residuos de carácter orgánico puede provocar pérdidas de la estructura del suelo, formación de costras, saturación de poros y erosión superficial, principalmente debido a la floculación de los coloides del suelo por el alto contenido en cationes monovalentes (Lemaire, 1994). Además, se pueden dar condiciones de contaminación del suelo por metales pesados o compuestos orgánicos como plaguicidas contenidos en los residuos orgánicos, salinización por acumulación de sales solubles y alteración de la biología del suelo (Hernández-Apaolaza y col., 2005), ya que es posible que varíe el equilibrio existente entre los microorganismos del suelo, se incorporen patógenos procedentes de los residuos o

que se den situaciones de demanda o exceso de nutrientes por la competencia entre los microorganismos y las plantas (Berganza y col., 2003).

A modo de resumen, algunos de los puntos débiles de la evaluación técnica y agroambiental de los restos orgánicos de la agroindustria son:

- Existe escasa información cuantitativa y cualitativa sobre los residuos de la agroindustria.
- Se deberían priorizar los residuos con cargas contaminantes elevadas. Por ejemplo, la gestión de los sueros presenta dificultades importantes en zonas donde predominan las pequeñas explotaciones que fabrican su propio queso, ya que legalmente este residuo no está considerado como SANDACH.
- La alta putrescibilidad del destrío (frutas o verduras que han sido rechazadas para la comercialización durante el proceso de selección en el lugar del empaquetado, por estar mal formadas, inmaduras, afectadas por algún patógeno, con presencia abundante de manchas y rajados o no responder a los estándares de tamaño) aumenta las dificultades de gestión en relación a los restos vegetales.

Del mismo modo, como puntos fuertes en cuanto a la evaluación técnica y agroambiental de los restos orgánicos de la agroindustria, entre otros se pueden citar:

- Se dispone de amplios conocimientos sobre las posibles formas de gestión de determinados residuos.
- Se observa un aumento de proyectos de investigación aplicada referentes a la cuestión de los residuos agroindustriales.
- Existe una correcta gestión del destrío exigida a través de las certificaciones de calidad en el sector hortícola, con lo que estas certificaciones pueden ser un acicate o aliciente en la puesta en marcha de las diferentes formas de gestión de los residuos.
- Se aprecia un aumento de la responsabilidad de la correcta gestión de los residuos por parte de las empresas de transformación y comercialización.

## **2.2.3 Gestión mediante compostaje**

### **2.2.3.1 El proceso de compostaje**

Según el Real Decreto 535/2017 sobre productos fertilizantes, se define el compostaje como “el proceso controlado de transformación biológica aeróbica y termófila de materiales orgánicos biodegradables que da lugar a los tipos de abonos o enmiendas orgánicas, cuyas características se detallan en los grupos 2 y 6 del anexo I”. En estos grupos se relacionan los abonos y enmiendas orgánicas usadas como fertilizantes. En el grupo 6 se distinguen varios tipos de compost: compost (en general), compost vegetal, compost de estiércol, vermicompost y compost de alperujo.

El compostaje es un proceso bio-oxidativo en condiciones controladas de humedad, temperatura y aireación realizada mayoritariamente por microorganismos (bacterias, hongos y actinomicetos), que actúan sobre la materia orgánica biodegradable y dan como resultado un proceso de humificación de la misma. El compost es el material obtenido en el proceso de estabilización de la materia orgánica y lo habitual es que esté libre de sustancias fitotóxicas y de agentes patógenos e incluso, que presente propiedades supresivas naturales contra hongos y/o bacterias (Bonanomi y col., 2010; De Corato y col., 2016), con lo que su aplicación al suelo mejora sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

La evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje marca las diferentes etapas que nos determinan el grado evolutivo del material compostado. Las etapas que componen este proceso (Fig. 2.4) en condiciones aerobias y el tipo de microorganismos que actúan son las siguientes (Chen e Inbar., 1993):

- a) **Etapá mesófila:** Al comienzo del proceso, la masa está a temperatura ambiente. A medida que la población indígena se multiplica, la temperatura aumenta rápidamente. Es una etapa de marcado carácter mesófilo, en la cual, entre los productos que se forman, destacan los ácidos orgánicos de cadena

corta. La acidificación lleva consigo el descenso del valor de pH. La temperatura se eleva hasta alcanzar los 40°C.

b) **Etapa termófila:** Alcanzados los 40°C, la actividad mesofílica cesa y se entra en una segunda etapa termófila, en la que se distinguen dos fases:

1. *Una fase inicial*, en la cual la temperatura se eleva progresivamente. La acidez del medio evoluciona, apreciándose un aumento del pH, consecuencia directa de la presencia de ión amonio como producto de la degradación. Hay una destrucción de huevos y larvas de insectos, lombrices y semillas. Comienza también la destrucción de bacterias patógenas.

2. *En una segunda fase*, más lenta, en la que se produce un incremento mayor de la temperatura, pudiéndose alcanzar la cota superior alrededor de los 75°C. Destrucción de bacterias patógenas, salmonelas y bacilos intestinales. Desaparición de hongos y bacterias termófilas. El aumento de la temperatura puede provocar pérdidas de nitrógeno en forma amoniacal, lo cual podría provocar que el pH descienda ligeramente.

c) **Etapa de enfriamiento:** La masa se comienza a enfriar debido a que los materiales fácilmente degradables se han consumido, la reacción se ralentiza y el calor generado es menor que el que se pierde. En esta fase la temperatura desciende y se recuperan las condiciones térmicas precedentes. La liberación de calor es suave y la temperatura desciende hasta alcanzar la del ambiente. El pH no sufre modificación apreciable.

d) **Etapa de maduración:** Tiene lugar a temperatura ambiente. En esta etapa se producen complejas reacciones secundarias de condensación y de polimerización, las cuales dan lugar al humus como producto final. Se detecta la presencia de sustancias dotadas de actividad antibiótica y la desaparición de gérmenes patógenos. La pérdida de masa y la emisión de calor son escasas.

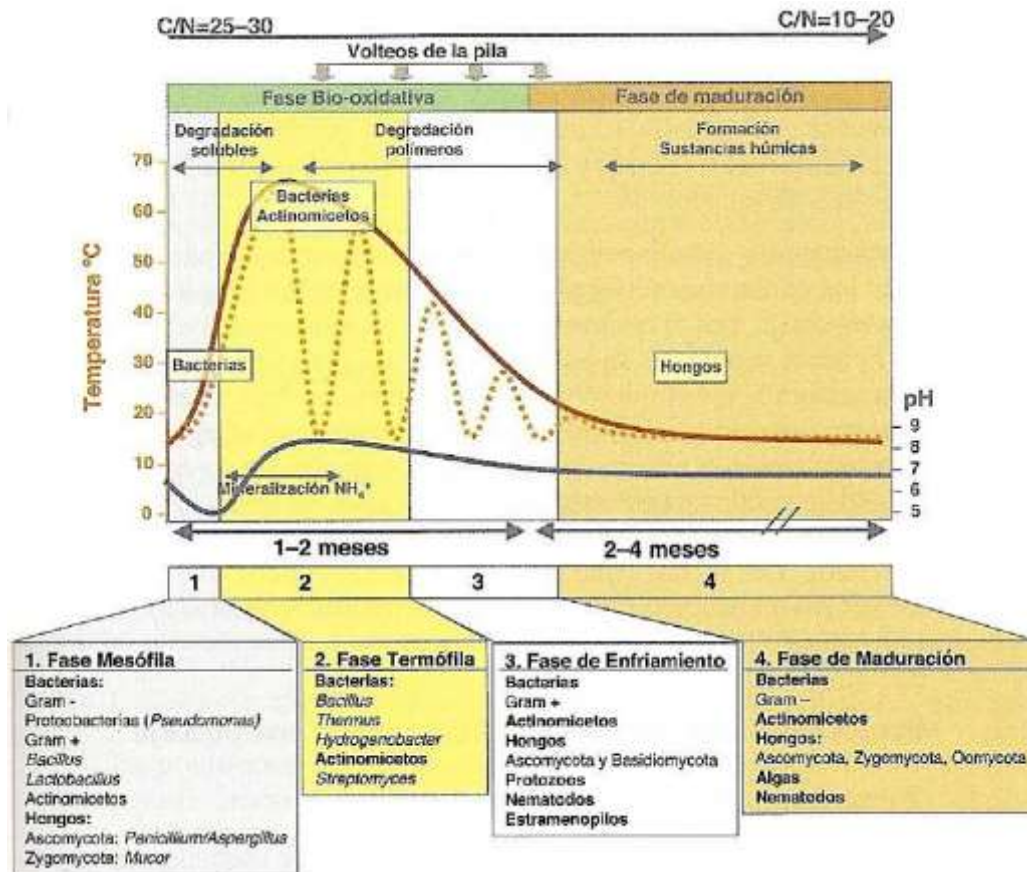


Figura 2.4. Etapas del proceso de compostaje (Moreno y Moral, 2008).

### 2.2.3.2 Gestión de los residuos agroindustriales mediante compostaje

En este sentido, la industria agroalimentaria produce un gran volumen de residuos orgánicos muy variados, que pueden ser utilizados como material de partida para la fabricación de compost como método de gestión, ya que además de reutilizar estos subproductos el proceso de compostaje reduce su peso, volumen y su posible toxicidad. Habitualmente, este tipo de residuos necesita de agentes estructurantes o mejorantes, ya que muchos de ellos tienen un alto contenido en agua, como sucede en el caso de los lodos de depuración por ejemplo, por lo que el co-compostaje es la opción más adecuada, (Cruz Crespo y col., 2010). En el caso de otro tipo de residuos, como los de la industria vitivinícola, ocurre lo contrario, necesitándose materiales para el co-compostaje que disminuyan la elevada porosidad de estos residuos.

Un aspecto muy a tener en cuenta es la relación C/N de la mezcla, que se debe ajustar a valores óptimos que favorezcan la actividad biológica y se reduzcan las pérdidas de nitrógeno por emisiones (De Mendonça Costa y col., 2017), para de este modo mantener la capacidad fertilizante del material obtenido y reducir el impacto ambiental del proceso, ya que en el caso de aplicar compost inmaduros o con una relación C/N no adecuada se pueden generar problemas de inmovilización de nutrientes o fitotoxicidad (Raj y Antil, 2011).

Es habitual que los subproductos de origen vegetal tengan carencia de nitrógeno y la mayoría de los de origen animal presenten un exceso, así como el contenido en carbono, tanto cualitativa como cuantitativamente, es muy diferente dependiendo del material de partida, por lo que se hace necesario un buen ajuste a la hora de realizar la mezcla, además de tratar de establecer la relación de los dos elementos (C y N) en base al carbono biodegradable, para así poder aumentar las garantías de que se desarrolle un buen proceso biológico (Jurado y col., 2014). Mediante técnicas analíticas de respirometría es posible establecer el potencial de biodegradabilidad de los materiales por medio de la medida directa de la actividad biológica, ya sea en base al consumo de oxígeno o a la producción de dióxido de carbono (Gutiérrez y col., 2017).

Para tratar de comprender la problemática del compostaje de los residuos agroindustriales, debido a su heterogeneidad, se definen a continuación el origen de algunos de los subproductos susceptibles de ser compostados y los posibles problemas que pueden darse:

- Residuos de pescado. Problemas de olores y altas emisiones de amoníaco (López-Mosquera y col., 2011).
- Lodos de origen agroindustrial : precisan de un agente estructurante, debido a sus bajos contenidos en materia seca, para mejorar la estructura y porosidad, así como para equilibrar el pH y la relación C/N (Morales y col., 2016).
- Subproductos animales categoría 2 y 3. Problemas de olores, posible presencia de microorganismos patógenos, elevadas emisiones de amoníaco y gradiente de temperatura que dificulta la higienización del material (Ruggieri y col., 2008).



- Restos de frutas y verduras. Posible acidificación del proceso, presencia de pesticidas y baja concentración de nitrógeno (Neuens y Reheul, 2003).
- Alperujo. Puede generar efectos negativos en el suelo y/o problemas de fitotoxicidad cuando es aplicado directamente como fertilizante orgánico por la presencia de compuestos tóxicos (Paredes y col., 2001). Elevada relación C/N.
- Bagazo y vinaza de remolacha. Elevada relación C/N, alta salinidad, bajo contenido en nitrógeno y fósforo (Madejón y col., 2001).
- Residuos vitivinícolas. Presencia de compuestos tóxicos, elevada relación C/N y presencia de material poco biodegradable (Bertran y col., 2004; Bustamante y col., 2007).
- Residuos de la industria cervecera. Elevada relación C/N y presencia de material poco biodegradable (Guerra-Rodríguez y col., 2000).

En general, la gran mayoría de residuos agroindustriales susceptibles de ser compostados necesitan de agentes estructurantes y/o mejorantes para la obtención de compost de calidad, especialmente en el caso de materiales como los lodos producidos durante el tratamiento de las aguas residuales de la industria agroalimentaria, por lo que la opción del co-compostaje es la más adecuada, siendo en ocasiones necesario la mezcla de más de 2 materiales. Es absolutamente necesario conocer las propiedades físicas, químicas y biológicas de los materiales a utilizar para lograr el producto deseado, que debe tener unas características finales adecuadas al uso que se persigue, ya que los cultivos tienen necesidades diferentes.

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. COMPOSICIÓN Y ELABORACIÓN DE LOS COMPOST UTILIZADOS

Para la elaboración de los diez compost utilizados en este estudio, denominados con las claves CIG27, CIG28; CIG29, CIG30, CIG31, CIG32, CIG33, CIG34, CIG 35 y CIG36, se han empleado tres lodos diferentes, producidos durante el tratamiento de depuración de aguas residuales procedentes de diferentes industrias agroalimentarias, así como distintos materiales vegetales, todos ellos procedentes de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO)-Universidad Miguel Hernández de Elche, originados durante las tareas de poda y mantenimiento, utilizados como agentes estructurantes para las mezclas de compostaje. A continuación se detalla el origen y características de todos estos materiales:

##### **Lodos de origen agroalimentario utilizados**

- *Lodo EDARI 2*

Este lodo procedía de la depuración de las aguas residuales generadas en el procesado de pera. En la línea de aguas, las etapas del proceso estaban constituidas por una etapa de desbaste de gruesos, una balsa de homogeneización y de regulación de caudales, posterior tratamiento mediante CAF (celdas de aeroflotación), seguido por reactor anóxico para la desnitrificación, un reactor biológico con sistema de aireación forzada MTS con un clarificador USBF situado dentro del reactor biológico para la decantación primaria y finalmente por un decantador secundario tradicional.

En la línea de fangos, los fangos procedentes del decantador primario (clarificador USBF), de los tratamientos físico-químicos (celda de aeroflotación) y del tratamiento biológico, son concentrados y mezclados de forma homogénea en un espesador y finalmente se centrifugan previo acondicionamiento mediante la adición de polielectrolitos aniónico y catiónicos.

- *Lodo EDARI 3*

El lodo EDARI 3 era un lodo procedente de la depuración de aguas residuales generadas también en el procesado de la pera. En la línea de aguas, las aguas residuales eran sometidas a un tratamiento primario con tamices, con balsa de homogenización y ajuste del pH, seguido de un proceso de fangos activos con zona anóxica de desnitrificación, donde se produce la mezcla del agua residual y el fango.

En la línea de fangos, el fango purgado es espesado mediante sedimentación y deshidratado mediante centrifugado industrial, previa adición de un floculante (polielectrolito) para mejorar la separación de la fase sólida y su paso la centrífuga.

- *Lodo EDARI 4*

Este lodo se generaba en el proceso de depuración de las aguas residuales generadas en el procesado de fresa. Las etapas de la línea de aguas estaban constituidas por una zona de desbaste de gruesos, con balsa de homogeneización y regulación de caudales, tratamiento mediante CAF (Celdas de Aeroflotación), reactor anóxico para la desnitrificación, reactor biológico con sistema de aireación forzada MTS y con clarificador USBF situado dentro del reactor biológico para la decantación primaria, y un decantador secundario tradicional.

En la línea de fangos, los fangos procedentes del decantador primario (clarificador USBF), de los tratamientos físico-químicos (celda de aeroflotación) y del tratamiento biológico, eran concentrados y mezclados de forma homogénea en un espesador y finalmente eran centrifugados previo acondicionamiento mediante la adición de polielectrolitos aniónico y catiónicos.

### **Residuos vegetales utilizados**

Por otra parte, los materiales vegetales utilizados para la elaboración de los compost, denominados Biorresiduos (residuo biodegradable de jardines y parques) por la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados han sido:

- *Tronco de palmera (Phoenix dactylifera L.)*

Esta especie puede llegar a medir más de 25 m de altura. Su origen es incierto, aunque se piensa que procede del Norte de África y el Sudoeste de Asia. A pesar de ser una especie exótica, se considera naturalizada en zonas del Sureste peninsular. Es un material muy abundante por la zona, ya que está estrechamente vinculada a la huerta a lo largo de la historia en la llanura aluvial del Segura. Cuenta con grandes posibilidades de reutilización o reciclado de sus “residuos”, dado su enorme volumen. En Elche se cifra en más de 200.000 los ejemplares, estando muy presente también en toda la zona de la Vega Baja. Los residuos de tronco palmera utilizados procedían del término municipal de Orihuela (Alicante).



**Figura 3.1.** Palmera datilera. Fotografía: Universidad Miguel Hernández.

- *Poda de morera (Morus alba)*

Árbol caducifolio procedente de Asia, que puede sobrepasar los 10 m de altura. Es muy frecuente su uso en jardinería u ornamentación de parques, avenidas y paseos por su apreciable sombra. La poda anual a la que se les somete genera un recurso aprovechable muy a tener en cuenta en los lugares donde el número de árboles es elevado. Los residuos de poda de morera utilizados procedían de la Escuela Politécnica

Superior de Orihuela (EPSO-Universidad Miguel Hernández de Elche) y estaban constituidos por restos leñosos de menor tamaño y hojas.



**Figura 3.2.** Detalle de morera. Fuente: Agromática.

- *Poda de tipa (Tipuana tipu)*

También conocido como palo rosa, es un árbol caducifolio, aunque es bastante usual que en cultivo no llegue a perder por completo sus hojas. Pertenece a la familia *Fabaceae*, originario de Sudamérica y puede llegar a alcanzar más de 15 m de altura. Dado su rápido crecimiento, su copa amplia y aparasolada y su vistosa floración, es habitual su uso en ornamentación de parques, avenidas y paseos, con la consiguiente generación de restos de poda. Los residuos utilizados procedían de la poda de esta especie de los campus de la Universidad Miguel Hernández de Elche.



**Figura 3.3.**Detalle de árbol de tipuana. Fuente: Universidad de Huelva.

- *Caña de río (Arundo donax)*

Especie exótica invasora procedente de Asia muy común en las riberas españolas, con una densidad de cobertura que puede llegar a ser muy elevada gracias al crecimiento horizontal del rizoma, lo que impide el crecimiento de otras especies, además de afectar negativamente a la hidrología y geomorfología de nuestras cuencas. Está considerada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) como una de las 100 especies de animales o plantas más peligrosas, por su capacidad de invasión y alteración de los hábitats que coloniza. Históricamente ha sido utilizada en la agricultura, como soporte de plantas trepadoras y en la construcción, como soporte de entechados de viviendas, pero la elaboración de compost a partir de sus residuos es una nueva alternativa viable a tener en cuenta como aprovechamiento de recursos tras su extracción. Los residuos de caña de río procedían del término municipal de Orihuela.



**Figura 3.4.** Detalle de la caña de río. Fuente: MAPAMA.

- *Restos de jardinería de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO-UMH)*

Este material estaba compuesto al 50% por poda de césped (*Festuca arundinacea*) y restos leñosos de pequeño tamaño de poda de arbolado ornamental, principalmente morera (*Morus alba* L.).

En la Tabla 3.1 se muestran las principales características para su uso como materiales iniciales para el proceso de compostaje:

**Tabla 3.1.** Principales características de los materiales iniciales utilizados

<b>Tipo de material</b>	<b>pH</b>	<b>CE (dS/m)</b>	<b>C orgánico total (%)</b>	<b>N total (%)</b>	<b>Relación C/N</b>
Lodo EDARI 2	7,19	5,14	34,5	3,30	10,5
Lodo EDARI 3	6,26	3,84	42,7	4,93	8,65
Lodo EDARI 4	5,40	3,37	44,1	4,22	10,5
Residuo palmera	6,50	7,41	41,4	1,23	33,6
Residuo morera	6,32	2,39	44,6	1,06	42,1
Residuo jardinería	7,64	2,52	37,9	1,97	19,3
Residuo tipa	5,90	2,68	44,6	1,33	33,5
Residuo caña	6,03	3,93	45,0	1,06	42,5

Tal como puede observarse, los lodos EDARI presentan altos contenidos en C orgánico total y especialmente en N total, de modo que su relación C/N es baja, inferior o próxima a 10, por lo que el uso de los residuos vegetales, con una C/N alta, especialmente el residuo de poda de morera y el residuo de caña de río, sirven para equilibrar dicha relación en la mezcla inicial de compostaje. Por otro lado, cabe destacar el alto contenido en sales del residuo de palmera, el cual influirá en las características de los compost finales obtenidos utilizando dicho material.

### **3.2. DISEÑO Y DESARROLLO EXPERIMENTAL**

Los compost utilizados en este experimento fueron elaborados en la planta piloto de compostaje COMPOLAB, situada en la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO) de la Universidad Miguel Hernández de Elche (Fig. 3.5), mediante el sistema de compostaje de pila móvil con control de la temperatura. Este sistema se basa en el apilamiento de la mezcla de los materiales orgánicos utilizados, que en el caso de los

residuos vegetales, fueron previamente homogeneizados y triturados a un tamaño de partícula entre 1 y 5 cm.



**Figura 3.5.** Planta compostaje COMPOLAB. Elaboración propia.

Se formó para cada compost una pila longitudinal de aproximadamente 30 m, con forma trapezoidal. Se realizó un volteo semanal a lo largo de todo el proceso de compostaje para proporcionar la aireación necesaria a la mezcla, así como para su correcta homogeneización. Las pilas se prepararon mediante una pala volquete Dumper, mientras que para los volteos se utilizó una volteadora Backhus 14.28 D (Fig. 3.6).



**Figura 3.6.** Detalle de las pilas y su proceso de volteo. Elaboración propia.

Durante el proceso, la humedad de las pilas se mantuvo en un rango entre el 40-60%, mientras que la temperatura se controló mediante 4 sondas de temperatura termopar K, conectadas a un data logger (HOBO® U12) que registraba los datos cada 2 horas. Las sondas se situaron equidistantes a lo largo de las pilas de compost, a una



profundidad de 50 cm, para poder evaluar de manera homogénea la evolución de la temperatura en las mezclas y poder asegurar la adecuada higienización del producto. Los compost, una vez maduros se tamizaron con un equipo de adecuación de granulometría tipo trommel cilíndrico de 1 cm de paso de luz.

La composición de los diferentes compost, así como la denominación de los mismos se muestra en la Tabla 3.2, donde se indican también las proporciones de mezcla, en porcentaje de materia seca (MS) de cada material.

**Tabla 3.2.** Denominación y composición de los compost.

<b>Compost</b>	<b>Composición</b>
CIG 27	31,4% Lodo EDARI 2 + 68,6% Restos jardinería EPSO
CIG 28	24,9% Lodo EDARI 2 + 75,1% Tronco de palmera
CIG 29	30,9% Lodo EDARI 2 + 69,1% Poda morera
CIG 30	72,8% Lodo EDARI 3 + 27,2% Poda tipuana
CIG 31	44,8% Lodo EDARI 3 + 55,2% Poda morera
CIG 32	27,7% Lodo EDARI 4 + 72,3% Poda tipuana
CIG 33	53,8% Lodo EDARI 4 + 46,2% Poda morera
CIG 34	34,8% Lodo EDARI 3 + 65,2% Tronco de palmera
CIG 35	34% Lodo EDARI 4 + 66% Tronco de palmera
CIG 36	31,3% Lodo EDARI 3 + 68,7% Caña de río

### **3.3. MÉTODOS ANALÍTICOS**

Se describen a continuación los métodos analíticos utilizados para las determinaciones físicas y químicas realizadas a los compost:

- **Preparación de la muestra**

Tras el proceso de compostaje se procedió a tomar y preparar las muestras de los compost según las normas UNE-EN 12579:2014 y UNE-EN 13040:2008, relativas a la toma de muestras y su preparación para los análisis físicos y químicos.

- **pH**

Se define como la medida de acidez o alcalinidad de una solución, ya que el pH mide la cantidad de iones de hidrógeno que contiene una solución determinada. Es un parámetro fundamental, dada su influencia en diferentes reacciones químicas de los sustratos, condicionando la disponibilidad de nutrientes y otros elementos no deseados como los metales pesados. Se ha seguido lo establecido en la norma UNE-EN 13037:2012, donde se describe el método para la determinación del pH, realizando una dilución de la muestra en agua con una relación 1:5 (V/V) y midiendo posteriormente en un pHmetro previamente calibrado.

- **Conductividad eléctrica**

Se define como la capacidad de un extracto acuoso de la muestra para conducir la electricidad como una función de la concentración de iones. Según la norma UNE-EN 13038:2012, se realiza una dilución de la muestra en relación 1:5 (V/V) sobre el que se mide la conductividad eléctrica a 25°C, en un conductímetro previamente calibrado mediante patrones estandarizados de disoluciones de KCl de conductividades conocidas. Con el valor obtenido se estima la salinidad, dada la capacidad que tienen las sales para conducir la corriente eléctrica.

- **Materia orgánica total**

Se determinó según el método de Navarro y col. (1993), donde se toma como cenizas el residuo fijo obtenido de la calcinación de la muestra a 430°C durante 24 horas. Tras pesar en un crisol una porción de muestra de entre 3 y 4 g con una precisión de  $\pm 0,1$  g, se introdujo el mismo en la estufa mufla para lograr la calcinación de la materia orgánica a 430°C durante 24 horas, hasta obtener cenizas blancas. Transcurrido ese tiempo, se extrae de la mufla el crisol y se deja atemperar en un desecador antes de volver a pesarlo. Por la diferencia entre los pesos se calcula el porcentaje de materia orgánica total y el porcentaje de material mineral (cenizas).

- **C y N totales**

Se realiza quemando la muestra a 1020°C en un analizador elemental (Navarro y col., 1991).

- **Densidad real**

Se siguió el método propuesto por De Boodt y col. (1974), en el que se supone un valor fijo de densidad real para los suelos minerales de 2,65 g / cm<sup>3</sup> y de 1,45 g/ cm<sup>3</sup> para los sustratos orgánicos, se calculó la densidad real según la expresión:

$$DR (g/cm^3) = \frac{100}{\frac{\% mo}{1,45} + \frac{\% mm}{2,65}}$$

Donde:

mo: materia orgánica total.

mm: materia mineral (cenizas).

- **Densidad aparente**

La densidad aparente (DA) se determinó siguiendo el método propuesto por De Boodt y col. (1974), basado en el cálculo del peso seco del sustrato contenido en un cilindro de volumen conocido y tras haber sido sometido a una succión de 10 cm de columna de agua. Para ello se utilizaron anillas de acero inoxidable de 52 mm de altura y 82 mm de diámetro y tela de nylon.

El procedimiento consiste en cubrir con la tela de nylon uno de los extremos de una de las anillas, de volumen conocido (V, cm<sup>3</sup>) y determinar el peso del conjunto (A) con una precisión de ± 0,1g. Al otro extremo se acopla otra anilla mediante cinta de carroceros y, en el cilindro formado se introduce la muestra del sustrato a caracterizar (previamente humedecida), sin apelmazar ni apretar, hasta el borde superior. A continuación, el cilindro se coloca en un recipiente, al que se le añade agua hasta 5 mm del borde superior de la anilla inferior y se deja saturar durante 48 horas. Transcurrido ese tiempo y con el fin de someter la muestra a una tensión de 10 cm de columna de agua, se coloca el cilindro en un baño de arena durante 48 horas. El baño de arena consiste en un recipiente cilíndrico de 25 litros, al que se le ha realizado una perforación (para facilitar el drenaje) a unos 15 cm de la base. Se introduce arena de mar de grano fino (0,25-0-30 mm; QP, Panreac) hasta 10 cm por encima del drenaje y se le añade agua en cantidad suficiente para que esta rebose por el mismo. La capilaridad garantiza que la capa de arena por encima de la línea de drenaje se

mantenga húmeda. Posteriormente se saca el cilindro formado por las 2 anillas del baño de arena, se retira hacia arriba la superior con cuidado, se corta con una espátula el material sobrante de la anilla inferior y se pesa el conjunto anilla-sustrato húmedo (B). Finalmente, siguiendo la metodología propuesta por Martínez (1992), se introduce el conjunto en estufa a 105°C hasta que alcance un peso constante. Una vez alcanzado este, se introduce el conjunto en un desecador para dejar atemperar y se vuelve a pesar (C). Con los valores de los pesos A, B y C se calcula la humedad (X) según la fórmula:

$$X (\%) = \frac{B - C}{B - A} * 100$$

Con los valores medios de la humedad se calcula la densidad aparente según la siguiente ecuación:

$$DA (g/m^3) = \frac{B - A}{V} * \frac{100 - X}{100}$$

Siendo:

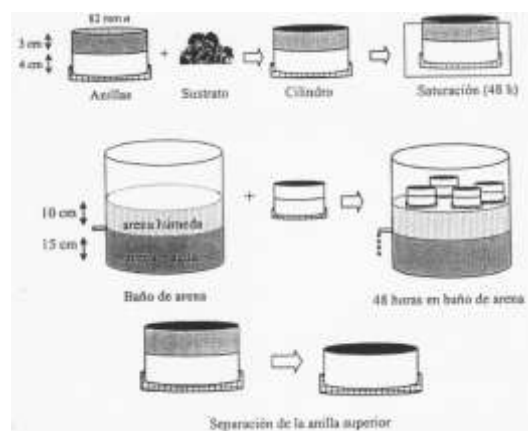
A: peso del conjunto anilla-tela de nylon (g).

B: peso del conjunto anilla-tela de nylon-sustrato húmedo (g).

C: peso del conjunto anilla-tela de nylon-sustrato seco (g).

V: volumen de la anilla (cm<sup>3</sup>).

X: humedad del sustrato tras haber sido sometido a una succión de 10 cm de columna de agua (%).



**Figura 3.7.** Esquema del procedimiento para la determinación de la densidad aparente. Fuente: Noguera (2000).

- **Espacio poroso total**

El espacio poroso total (EPT) se calcula a partir de los datos de la densidad real (DR) y la densidad aparente (DA), aplicando la ecuación propuesta por Martínez (1992) y recogida también en la norma UNE-EN 13041:2012:

$$EPT (\%) = \left(1 - \frac{DA}{DR}\right) * 100$$

- **Capacidad de retención de agua**

La determinación de la capacidad de retención de agua (CRA) está basada en la modificación que propone Martínez (1992) de la metodología de De Boodt y col. (1974) y en la norma UNE-EN 13041:2012, por medio de la siguiente ecuación:

$$CRA \left( ml \frac{agua}{L} sustrato \right) = \frac{B - C}{V} * 1000$$

Siendo V el volumen de la anilla de 5 cm utilizada para la determinación de la densidad aparente y B y C los pesos obtenidos para su cálculo (anilla-tela de nylon-sustrato húmedo y anilla-tela de nylon-sustrato seco, respectivamente).

- **Capacidad de aireación**

Se calcula el contenido en volumen de aire presente en la muestra, según la norma UNE-EN 13041:2012, después de haber aplicado una presión hidrostática de menos de 10 cm, mediante la siguiente ecuación:

$$CA (\%) = EPT - CRA$$

Siendo:

CA: volumen de aire en porcentaje de volumen (V/V) de muestra húmeda, para una presión hidrostática de menos de 10 cm.

EPT: espacio poroso total (%).

CRA: capacidad de retención de agua (ml de agua / 100 ml de sustrato).

- **Contracción de volumen**

La contracción de volumen (CV) se calcula a partir de la pérdida de volumen experimentada por el sustrato contenido en la anilla, tras secarlo a 105°C, según propone Martínez (1992) y la norma UNE-EN 13041:2012 con la siguiente ecuación:

$$CV (\%) = \frac{V - V_{SS}}{V} * 100$$

Siendo:

CV: contracción de volumen (%).

V: volumen de la anilla utilizada para la determinación de la densidad aparente.

V<sub>SS</sub>: volumen de sustrato contenido en la anilla tras secarlo a 105°C. Este volumen se calcula a partir de la ecuación del cilindro ( $h\pi r^2$ ), donde h y r se obtienen como el valor medio de las medidas del diámetro (dos) y de la altura (cuatro) realizadas en el sustrato seco contenido en la anilla.

- **Densidad aparente compactada en laboratorio**

Para determinar la densidad aparente compactada en el laboratorio se ha ajustado el proceso a lo especificado en la norma UNE-EN 13040:2008, cuyo principio es llenar un cilindro de volumen conocido y base sellada mediante un embudo y haciendo atravesar el material por un tamiz de 20 mm de luz de malla, tras lo que se aplica una presión de 9,17 g/cm<sup>2</sup> durante un tiempo de 3 minutos.

Tras secar al aire sobre papel de filtro la cantidad necesaria de material, se pesa el cilindro de medida y se anota como peso vacío. Una vez hecho esto, se coloca el collar desmontable sobre el cilindro, un embudo y el tamiz de 20 mm de luz de malla. Se vierte sobre el dispositivo un máximo de 5L de material, moviéndolo sin degradarlo ni compactarlo, para que atravesase el tamiz. Una vez que el dispositivo (cilindro y collar) rebose, se retiran tamiz y embudo y se enrasa el material, nivelando la superficie. Dado que el diámetro del cilindro utilizado es de 100 mm, se coloca suavemente sobre el material un pistón de 650 g y se mantiene durante 3 minutos. Posteriormente se retira el pistón y el collar y se enrasa el cilindro con cuidado,

pesando el sistema cilindro-sustrato compactado. La ecuación utilizada para calcular la densidad aparente compactada es la siguiente:

$$DAC (g/L) = \frac{P_1 - P_2}{V}$$

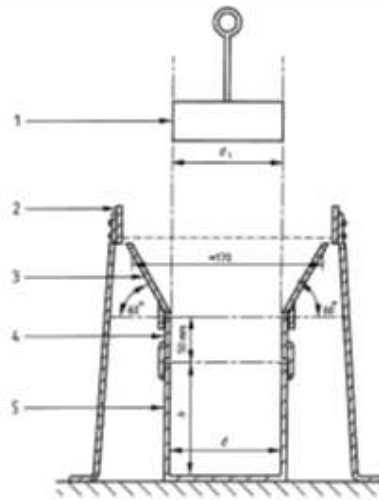
Donde:

DAC: densidad aparente compactada (g/L).

P<sub>1</sub>: peso material + cilindro (g).

P<sub>2</sub>: peso cilindro vacío (g).

V: volumen del cilindro (L).



**Figura 3.8.** Esquema del dispositivo utilizado en la determinación de la densidad aparente compactada en el laboratorio. Fuente: Norma UNE-EN 13040:2008.

- **Mojabilidad**

La mojabilidad o humectabilidad se determina siguiendo la metodología que se describe en la Norma Australiana para Sustratos de Cultivo AS 3743 (2003). Se seca un volumen de material de aproximadamente 300 ml a una temperatura de 40°C ± 2°C, tras lo cual se coloca la muestra seca en un recipiente de 35 mm de profundidad. A continuación se hace una pequeña depresión sobre el centro de la superficie (aproximadamente de 50 mm de diámetro y 5 mm de profundidad), sobre la que se añaden posteriormente 10 ml de agua utilizando una pipeta o jeringa. Se registra el tiempo que tarda el agua en ser absorbida por el material y se expresa el resultado en minutos.

- **Granulometría e índice de grosor**

El análisis granulométrico se realizó siguiendo la metodología propuesta por la norma UNE-EN 15428:2008, utilizando una tamizadora eléctrica con tamices de 16, 8, 4, 2, 1, 0,5, 0,25 y 0,125 mm (Fig. 3.9).



**Figura 3.9.** Tamizadora eléctrica. Fuente: Labopolis.

El procedimiento ha consistido en el secado previo al aire de las muestras sobre una hoja de papel de filtro, pesando a continuación  $250 \text{ g} \pm 0,1\text{g}$  ( $M_t$ ) de cada una de ellas y tamizándolas durante 10 minutos. A partir del peso recogido en cada uno de los tamices ( $M_i$ ), se calcula el porcentaje en peso ( $\% P_i$ ) de cada fracción granulométrica ( $P_i$ ) según la fórmula:

$$\% P_i = \frac{M_i}{M_t} * 100$$

El índice de grosor se obtiene de la suma de los porcentajes de partículas de diámetro mayor de 1 mm (Richards y col., 1986) o de diámetro mayor de 0,5 mm (Noguera y col., 2003).

$$IG = \Sigma (P)$$



### **3.4. MÉTODOS ESTADÍSTICOS UTILIZADOS**

El tratamiento estadístico aplicado a los datos obtenidos se ha basado en dos tipos de análisis:

- a) Un análisis estadístico ANOVA para estudiar las posibles diferencias entre los diferentes compost que podrían ser potencialmente utilizados como sustratos. En el caso en el que el análisis ANOVA mostró significación, adicionalmente se realizó la prueba Tukey-b como prueba post-hoc para evaluar las diferencias entre las medias específicas, mostrándose en los resultados mediante el empleo de letras para una probabilidad del 95% ( $P < 0,05$ ). Previamente al ANOVA, se evaluaron la normalidad y homogeneidad de las varianzas utilizando los tests de Shapiro-Wilk y Levene.
  
- b) Un análisis estadístico multivariante de todos los parámetros analizados en las muestras analizadas, basado en el análisis factorial (FA, Factorial Analysis). Previamente a este análisis, todas las variables fueron estandarizadas para reducir la desviación de la normalidad y se realizó un estudio de correlación bivariada de Pearson para seleccionar los parámetros que presentaran correlaciones entre sí.

Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el programa informático SPSS 22.0.

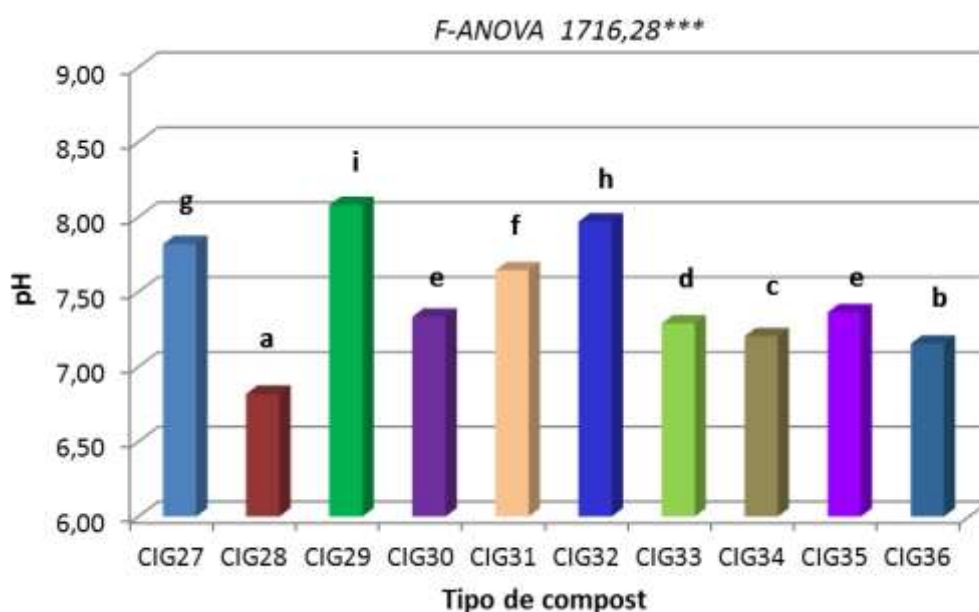
## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y MATERIA ORGÁNICA

En las siguientes figuras y tablas se muestran las propiedades físico-químicas y el contenido de materia orgánica de los diferentes tipos de compost estudiados.

#### 4.1.1. pH

En la Figura 4.1 se representan los valores de pH de los diferentes compost estudiados. El pH es un parámetro fundamental en el uso de un material como medio de cultivo, especialmente a nivel de plántula, siendo el rango de  $\text{pH} = 3,5-6,5$  considerado como el más adecuado para el uso de un material como sustrato de cultivo (Abad y col., 2001; Noguera y col., 2003).



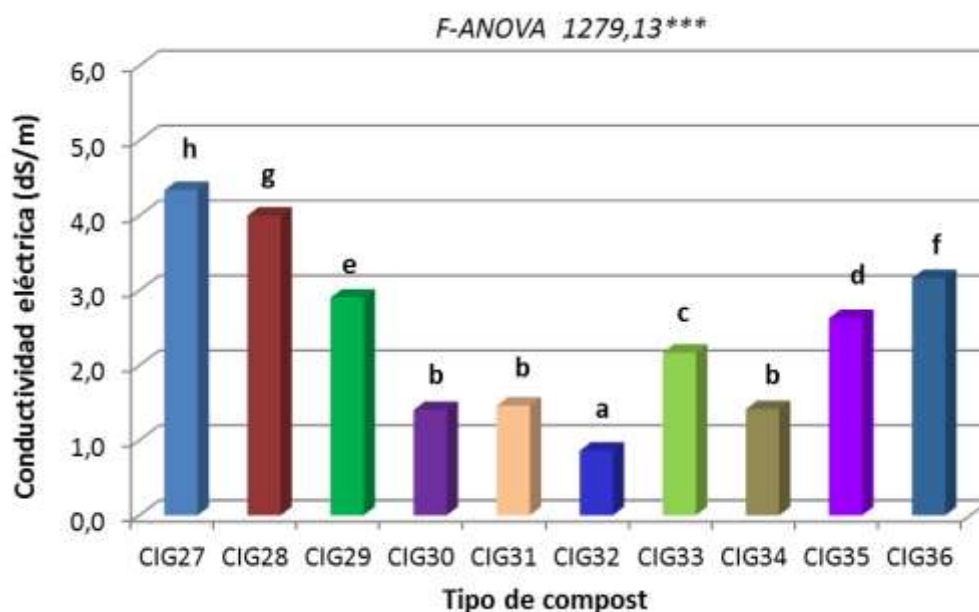
**Figura 4.1.** Valor del pH en función del tipo de compost estudiado. Para cada tipo de compost, los valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ).

Se puede observar que existen diferencias estadísticamente significativas en función del tipo de material, con valores de pH próximos o superiores a la neutralidad. En este sentido, el compost CIG-29, elaborado con lodo EDARI de procesamiento de pera y

poda de morera, y el compost CIG-32, elaborado con lodo EDARI de procesado de fresa junto con poda de tipa, mostraron los valores más altos de pH, próximos a valores ligeramente alcalinos, por tanto, con valores que no entran dentro del rango óptimo para su uso como medio de cultivo (Ceglie y col., 2015). Estos valores de pH ligeramente alcalinos también han sido observados en otros estudios realizados utilizando compost de lodos de depuradora o similares (Pérez-Murcia y col., 2005, 2006). Sin embargo, el compost CIG-28 (lodo EDARI de pera junto con tronco de palmera) fue el que mostró un valor de pH más próximo al rango óptimo, con un valor de 6,82.

#### 4.1.2. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica en un sustrato es otro factor clave para la germinación y crecimiento de la planta, especialmente en sus estadios iniciales, cuando la planta es más sensible a la salinidad. La Figura 4.2 muestra los valores de la conductividad eléctrica de los diferentes compost estudiados.



**Figura 4.2.** Valor de la conductividad eléctrica en función del tipo de compost estudiado. Para cada tipo de compost, los valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ).

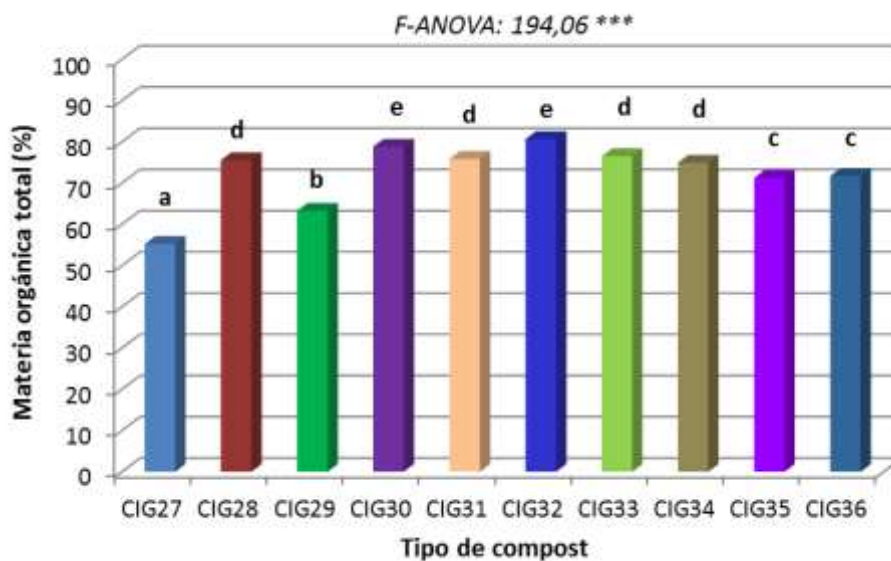
En ella se observa que no hay diferencias estadísticamente significativas, con un 95% de confianza, entre CIG-30, CIG-31 y CIG-32, pero sí entre estos y el resto de los compost, lo cual es lógico, puesto que los tres compost fueron elaborados con el mismo lodo EDARI, pero diferente estructurante (resto de tipa, morera y palmera, respectivamente).

Los valores de conductividad eléctrica en los compost varían entre 0,86 dS/m del CIG-32 hasta 4,32 dS/m del CIG-27. Según Abad y col. (2001) y Noguera y col. (2003), un rango óptimo para plántulas estaría entre 0,75-3,5 dS/m. Por otra parte, según Bunt (1988), un rango óptimo para plántulas estaría entre 0,75-1,99 dS/m (siempre que el sustrato sea rico en materia orgánica) y entre 2,00-3,49 dS/m (satisfactorio para la mayoría de las plantas, pero con reducción del crecimiento en plantas sensibles a la salinidad). Dado que todos los compost presentan porcentajes de materia orgánica superiores al 50%, y considerando los rangos establecidos por los diferentes autores, los compost CIG-30, CIG-31, CIG-32 y CIG-34 son los que presentan las condiciones más adecuadas de salinidad, mientras que los compost CIG-27 y CIG-28 presentan una conductividad ligeramente elevada para la mayoría de las plantas.

#### **4.1.3. Materia orgánica**

En la Figura 4.3 se observan las concentraciones de materia orgánica de los compost. Además de la importancia de la materia orgánica en los sustratos y su relación con la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo, es necesaria su determinación para obtener la densidad real de los sustratos. Se observan diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes compost estudiados, con un 95 % de confianza.

Concretamente, CIG-35 y CIG-36 no presentan diferencias estadísticamente significativas entre ellos, al igual que sucede entre CIG-28, CIG-31, CIG-33 y CIG-34, que tampoco presentan diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Por otro lado, CIG-30 y CIG-32 tampoco presentan diferencias entre ellos, siendo los compost con la mayor concentración de materia orgánica de los compost estudiados.



**Figura 4.3.** Concentración de la materia orgánica total en función del tipo de compost estudiado. Para cada tipo de compost, los valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ).

Todos los compost estudiados cumplen ampliamente la legislación en cuanto a su concentración en materia orgánica total, con valores superiores al 50 % en el CIG 27, algo superiores al 60 % en el CIG 29 y valores entre el 70 y el 80 % en el resto.

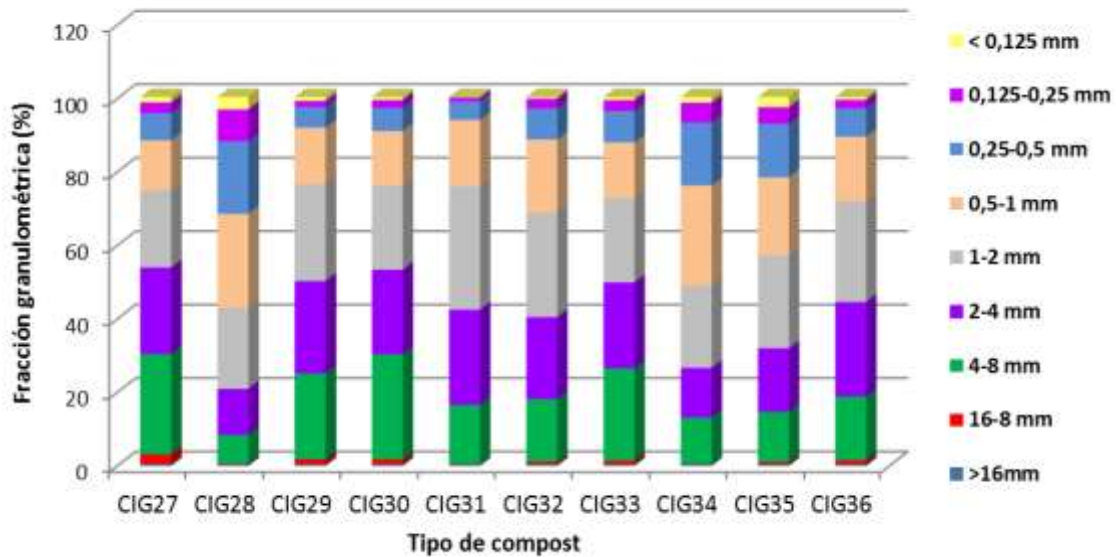
## 4.2. PROPIEDADES FÍSICAS

Se describen a continuación los resultados obtenidos en los análisis de las propiedades físicas de los compost, mostrándose en las siguientes figuras y tablas.

### 4.2.1. Granulometría e índice de grosor

La granulometría de los sustratos afecta tanto al balance de fluidos en el sustrato como al potencial mátrico y a la conductividad hidráulica, siendo lo ideal que presenten una textura entre media a gruesa donde las partículas mayoritarias tengan entre 0,25 y 2,5 mm, para de esta forma se obtenga un adecuado equilibrio entre el agua y el aire. En la Figura 4.4 se representan los porcentajes granulométricos de las distintas fracciones de los compost analizados.

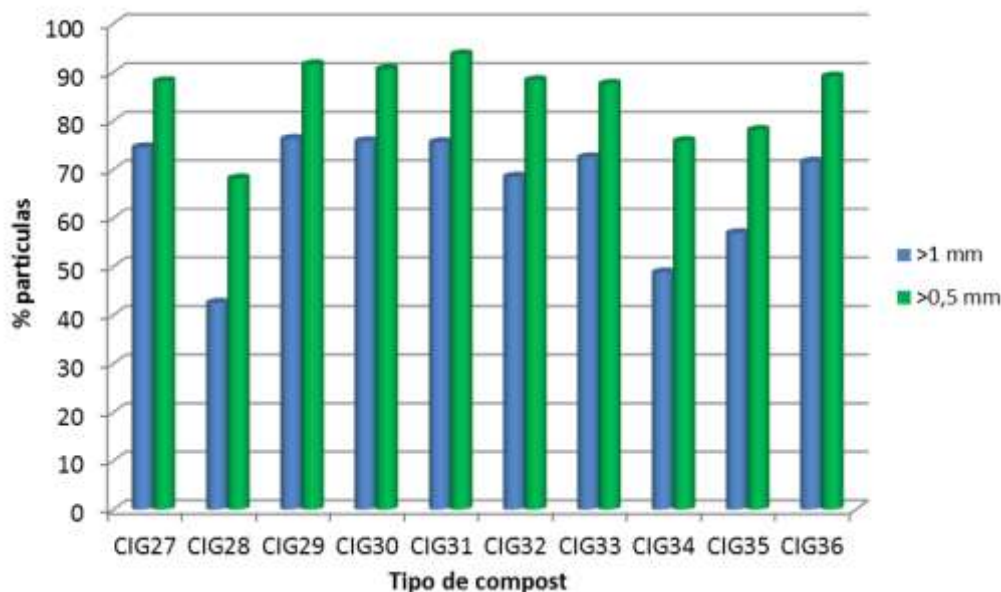
Tras el análisis granulométrico de los compost, se ha podido observar que el mayor porcentaje de tamaño de partícula se distribuye entre 2 mm y 4 mm, y entre 1 y 2 mm, superándose el 21 % en la fracción en esta última fracción en todos los casos, lo cual indica que estos compost están constituidos principalmente por una fracción fina, pero no excesivamente que impida una adecuada capacidad de aireación a la hora de su uso como medio de cultivo.



**Figuras 4.4.** Distribución de tamaño de partícula en los compost estudiados.

Por otra parte, el índice de grosor indica el porcentaje acumulado de partículas de  $\phi > 1$  mm (Noguera y col. (2003) y  $\phi > 0,5$  mm (Richards y col. (1986), estando este parámetro bien correlacionado con las características hídricas y físicas de los sustratos. La Figura 4.5 representa los índices de grosor de los diferentes compost.

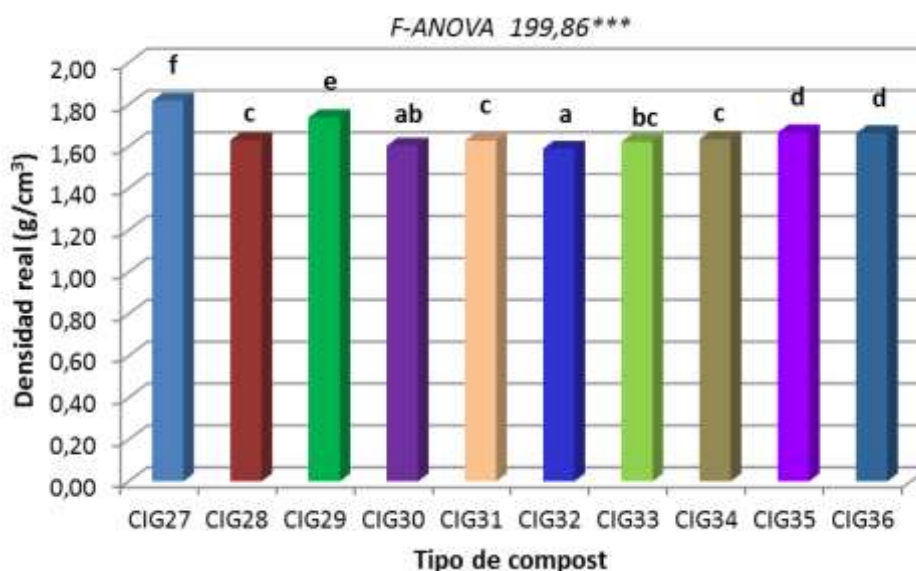
Según Abad y col. (2001) y Noguera y col. (2003), el intervalo óptimo del índice de grosor de diámetro mayor de 1 mm debería estar entre 30-45 %, lo que se cumple en los casos del CIG-28 y el CIG-34, observándose valores del 55 % en el CIG-35 y superiores al 70 % en el resto de los compost.



**Figuras 4.5.** Índice de grosor (IG) para los diferentes compost, según Noguera y col., 2003 ( $\varnothing > 1$  mm) o Richards y col., 1986 ( $\varnothing > 0,5$  mm).

#### 4.2.2. Densidad real

La densidad real se define como la relación que existe entre el peso seco de una muestra y el volumen que esta ocupa. Se puede observar la densidad real ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) de los compost en la Figura 4.6.



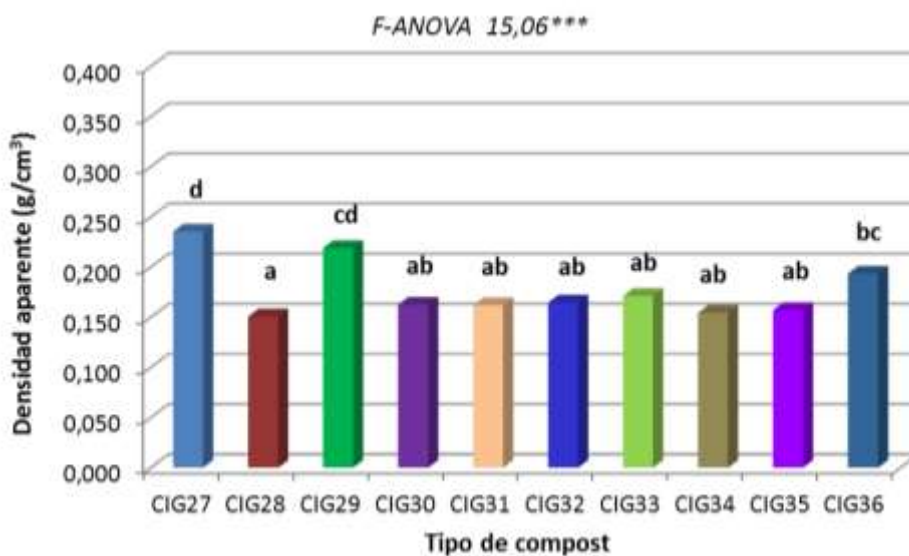
**Figuras 4.6.** Incidencia del tipo de compost sobre la densidad real. Para cada tipo de compost, los valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ).

Los valores de densidad real en los compost varían entre 1,55 g/cm<sup>3</sup> de CIG-32 y 1,80 g/cm<sup>3</sup> de CIG-27, pudiendo agrupar los compost en 6 grupos de acuerdo a su diferenciación a nivel estadístico:

- CIG-30 y CIG-32. No hay diferencias estadísticamente significativas entre ellos pero sí con el resto de compost.
- CIG-30 y CIG-33. No hay diferencias estadísticamente significativas entre ellos pero sí con el resto de compost.
- CIG-28, CIG-31, CIG-33 y CIG-34. No hay diferencias estadísticamente significativas entre ellos pero sí con el resto de compost.
- CIG-35 Y CIG-36. No hay diferencias estadísticamente significativas entre ellos pero sí con el resto de compost.
- CIG 29. Hay diferencias estadísticamente significativas entre este y el resto de los compost.
- CIG-27. Hay diferencias estadísticamente significativas entre este y el resto de los compost.

#### 4.2.3. Densidad aparente

La Figura 4.7 representa la densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>) de los compost analizados y las diferencias estadísticamente significativas existentes entre ellos.



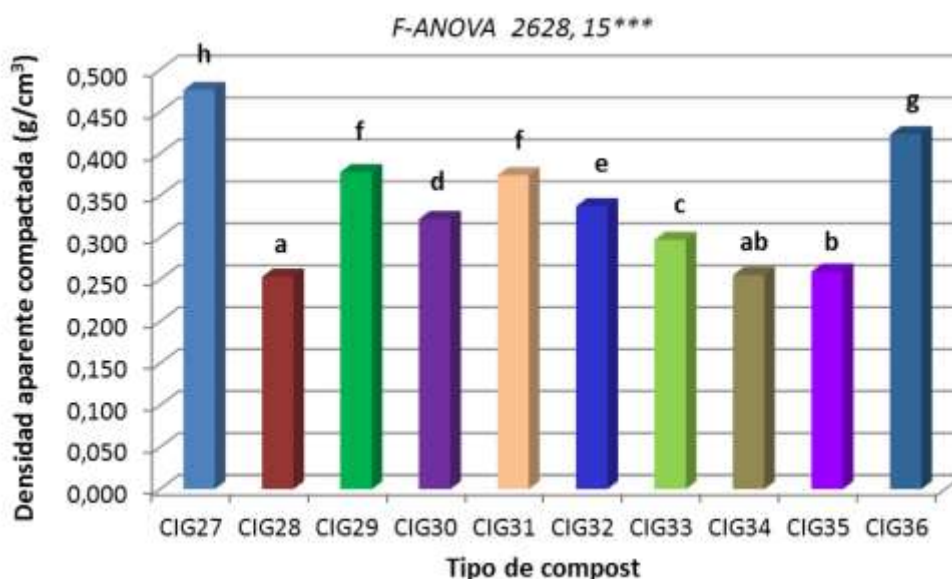
**Figuras 4.7.** Incidencia del tipo de compost en la densidad aparente. Para cada compost, los valores con diferente letra no son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ).



La densidad aparente se define como la relación entre el peso seco y el volumen de una muestra, incluyendo los poros que contiene. Respecto a este parámetro, los compost CIG-30, CIG-31, CIG-32, CIG-33, CIG-34 y CIG-35 presentaron unos valores estadísticamente similares entre sí, pero diferentes a los del resto de compost, siendo estos valores próximos a  $0,150 \text{ g/cm}^3$ . Por otra parte, los compost CIG-27 y CIG 29 fueron los que mostraron los valores más altos de densidad aparente, pero inferiores al valor óptimo para un sustrato establecido por Abad y col. (2001) y Noguera y col. (2003), que sugieren un valor óptimo para la densidad aparente menor de  $0,4 \text{ g/cm}^3$ .

#### 4.2.4. Densidad aparente compactada

En la Figura 4.8 se observa la densidad aparente compactada de los compost. Se observa que no hay diferencias estadísticamente significativas entre CIG-28 y CIG-34 pero sí con el resto de los compost.



**Figuras 4.8.** Incidencia del tipo de compost sobre la densidad aparente compactada.

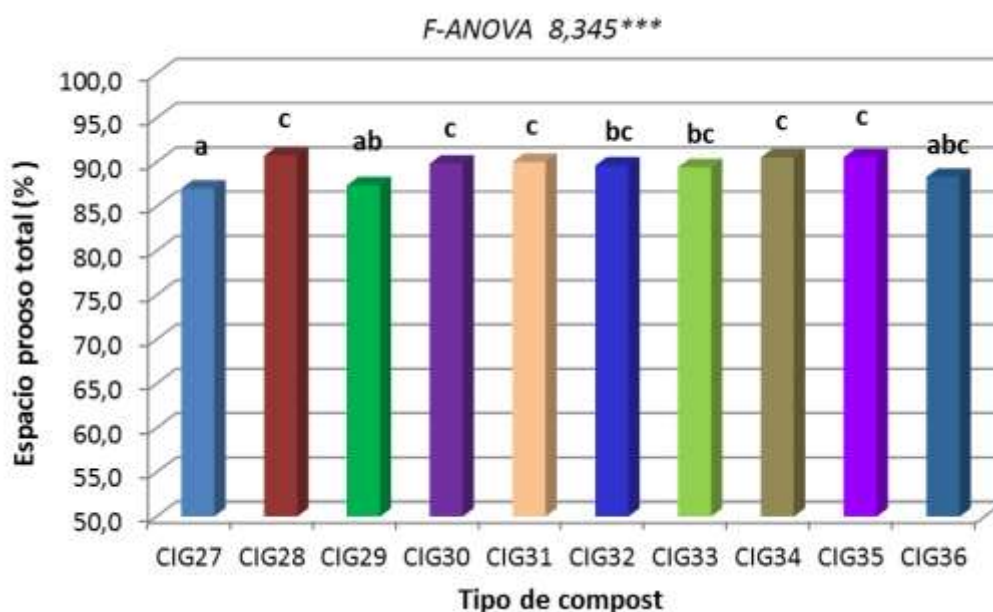
Para cada tipo de compost, los valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ).

La densidad aparente compactada presenta valores entre ligeramente inferiores a  $0,25 \text{ g/cm}^3$  de CIG-28 y ligeramente superiores a  $0,45 \text{ g/cm}^3$  de CIG-27. Tampoco se observan diferencias estadísticamente significativas entre CIG-34 y CIG-35, pero sí con

el resto de los compost y no hay diferencias estadísticamente significativas entre CIG-29 y CIG-31 pero sí con el resto de los compost.

#### 4.2.5. Espacio poroso total (EPT)

El espacio poroso total es el volumen total de material que puede ser ocupado por fluidos, tanto aire como agua. El valor ideal para un sustrato debe ser superior al 85% del volumen del material según Abad y col. (2001) y Noguera y col. (2003). En la Figura 4.9 se muestra el espacio poroso total de los compost estudiados.

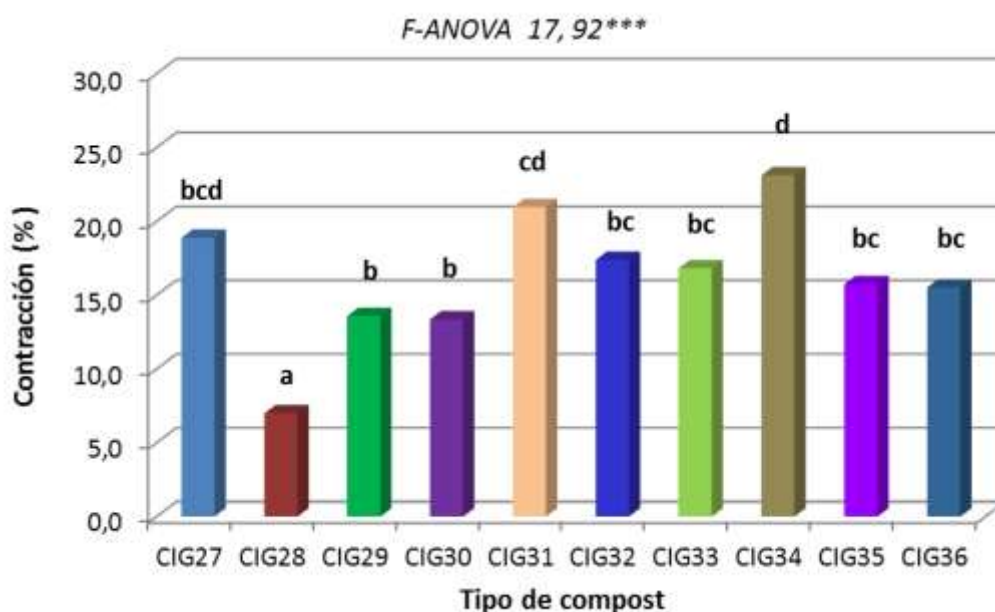


**Figura 4.9.** Incidencia del tipo de compost sobre el espacio poroso total. Para cada tipo de compost, los valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ).

Los porcentajes de espacio poroso total superan en todos los casos el valor ideal del 85 %, llegando en el caso de CIG-28, CIG-34 y CIG-35 a valores muy próximos al 90 %. Valores más altos del valor establecido no suponen una limitación del material para su uso como sustrato, sino lo contrario, ya que asegura una adecuada aireación. Los compost CIG-27, CIG-29 y CIG-36 mostraron los valores estadísticamente más bajos, aunque dentro del límite establecido.

#### 4.2.6. Contracción

La contracción nos aporta la información sobre el grado de variación del volumen del material en ciclos de humectación-desección y, por tanto, sobre la compactación del mismo y la compresión de las raíces, así como sobre la eficacia del riego y la fertilización. El valor de contracción óptimo debe ser inferior al 30 % en volumen, según Abad y col. (2001) y Noguera y col. (2003). La Figura 4.10 representa el porcentaje de contracción de los compost analizados, así como las diferencias estadísticamente significativas de los mismos.



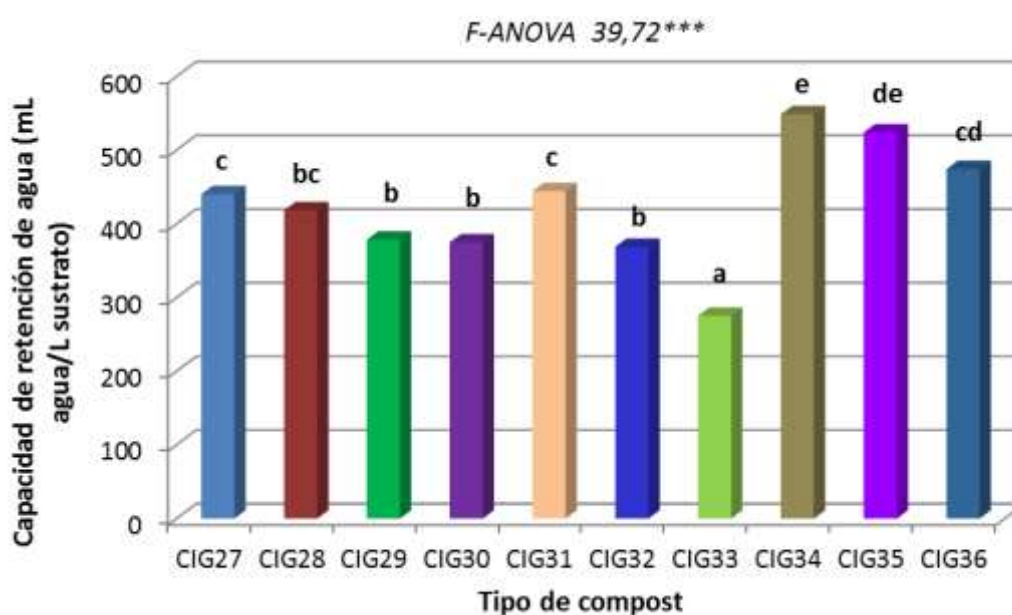
**Figura 4.10.** Incidencia del tipo de compost sobre la contracción en volumen. Para cada tipo de compost, los valores seguidos de letras diferentes son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ).

En todos los compost se cumple la condición ideal de presentar una contracción por debajo del 30 % en volumen, siendo los valores extremos los encontrados en CIG-28 (ligeramente superior al 6 %) y CIG-34 (ligeramente inferior al 23 %). Por otra parte, los compost CIG-27, CIG-29, CIG-30, CIG-31, CIG-32, CIG-33, CIG-35 y CIG-36 no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre ellos, pero sí con el resto de los compost.

#### 4.2.7. Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua se define como la cantidad máxima de agua que puede retener un material bajo unas condiciones de medida normalizadas (Norma UNE-EN 13041-1999). Los valores de capacidad de retención para un sustrato ideal deben ser  $\geq 500$  ml agua/L sustrato, según Abad y col. (2001) y Noguera y col. (2003).

La Figura 4.11 representa los valores de capacidad de retención de agua (ml agua/L sustrato) en los compost y las diferencias estadísticamente significativas entre ellos.



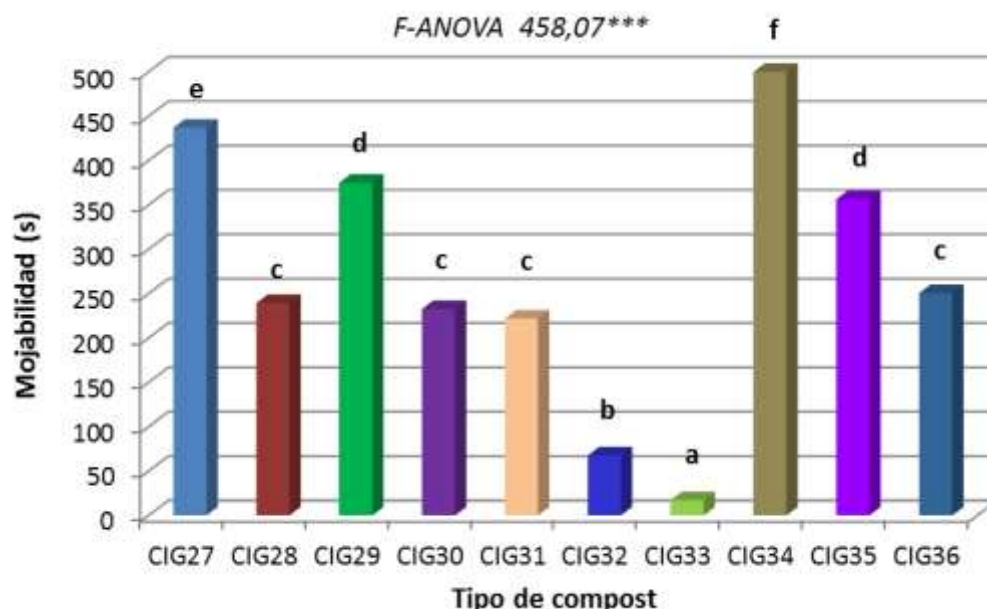
**Figura 4.11.** Incidencia del tipo de compost sobre la capacidad de retención de agua.

Para cada tipo de compost, los valores seguidos de letras diferentes son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ).

Los compost CIG-34 y CIG-35 alcanzan el valor deseado de 500 ml agua/L sustrato, estando el resto de materiales por debajo de este valor, probablemente debido a la mayor porosidad observada y que también se reflejará en los valores de la capacidad de aireación, puesto que una mayor capacidad de aireación normalmente va asociada a una menor capacidad de retención de agua (Bustamante y col., 2008). El valor más bajo de capacidad de retención de agua se ha encontrado en el compost CIG-33, algo superior a 250 ml agua/L sustrato.

#### 4.2.8. Mojabilidad

En La Figura 4.12 se observan los tiempos (en segundos) de mojabilidad o humectabilidad de los sustratos y las diferencias estadísticamente significativas entre ellos con un 95 % de confianza.



**Figura 4.12.** Incidencia del tipo de compost sobre la mojabilidad. Para cada tipo de compost, los valores seguidos de letras diferentes son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ).

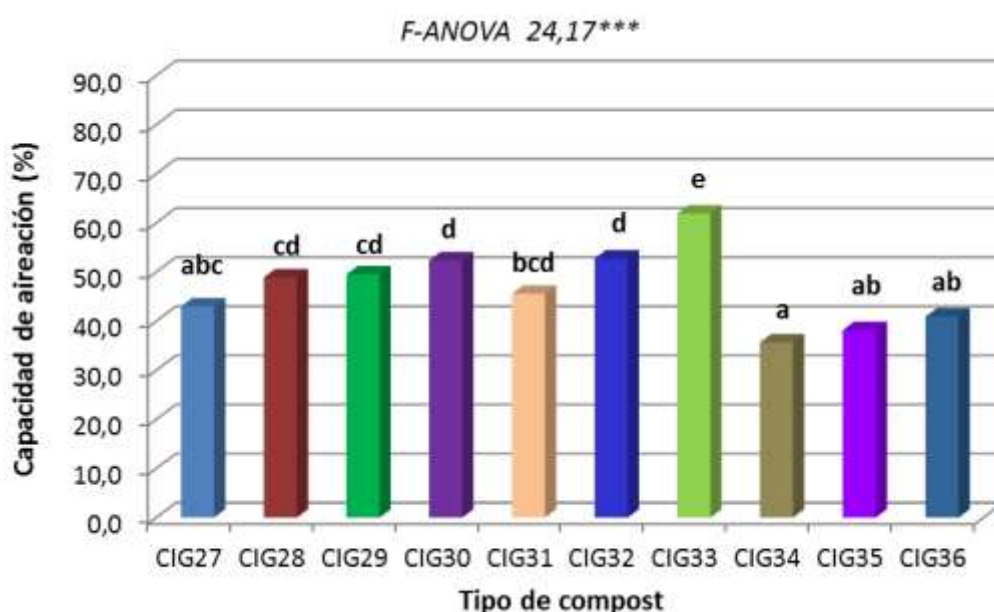
La mojabilidad es la capacidad de un material para absorber el agua. Esta propiedad afecta de manera importante a las propiedades hidrológicas, así como a la preparación del sustrato y al riego del mismo, ya que si el material tiene una baja mojabilidad (valores altos de la medida), al ser regado puede provocar encharcamientos. Su valor óptimo debe ser próximo o inferior a 5 minutos (300 s) (Abad y col., 2004). Los valores de mojabilidad en los compost varían entre 17 segundos de CIG-33 y cerca de 500 segundos de CIG-34. Los compost que entraron dentro del valor límite, con valores similares o inferiores a 300 s fueron los compost CIG-33, CIG-32, CIG-28, CIG-30, CIG-31, CIG-36 y CIG-35.

#### 4.2.9. Capacidad de aireación

La capacidad de aireación o contenido en aire es la proporción del volumen de material que contiene aire después de saturarlo con agua y dejado drenar, usualmente

a 1 kPa (10 cm de columna de agua). Los valores óptimos de capacidad de aireación son 20-30 % en volumen y es el parámetro más restrictivo ya que los materiales con una capacidad de aireación inferior al 20 % no permitirán una correcta difusión de oxígeno hacia las raíces.

La Figura 4.13 muestra los valores en porcentaje de la capacidad de aireación de los compost analizados, así como las diferencias estadísticamente significativas encontradas.



**Figura 4.13.** Incidencia del tipo de compost sobre la capacidad de aireación. Para cada tipo de compost, los valores seguidos de letras diferentes son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ).

Todos los compost superan el valor deseado de entre 20-30 % descrito por Abad y col. (2001) y Noguera y col. (2003), alcanzándose el 60 % en el caso de CIG-33 y siendo el más bajo CIG-34 (aproximadamente el 32 %). Tal como sucedía con el espacio poroso total, valores más altos de la capacidad de aireación con respecto al valor límite establecido en la bibliografía no suponen una restricción para el uso de un material como sustratos, sino que por lo contrario, aseguran la llegada de oxígeno a las raíces. Este hecho tan sólo afecta a la capacidad de retención de agua, la cual se ve disminuida a mayor capacidad de aireación, lo cual es fácilmente solucionable en el

manejo del sustrato, realizando riegos de poco volumen de agua, pero más frecuentes (Bustamante y col., 2008).

#### **4.3. ANÁLISIS FACTORIAL DE LOS RESULTADOS**

Mediante el uso del método estadístico de análisis factorial, lo que se pretendía era agrupar las variables analizadas para poder realizar una clasificación, tanto de los parámetros analizados como de los compost estudiados, y así explorar las posibles relaciones entre variables y tratamientos, que favorezca la evaluación de la idoneidad de estos materiales orgánicos concretos para su uso como medios de cultivo. Previamente a este análisis, se realizó un estudio de correlación de Pearson utilizando todas las variables, para seleccionar aquellas con una mayor correlación estadísticamente significativa. En la Tabla 4.1 se muestran las variables analizadas, con sus correspondientes unidades, que se han utilizado en el análisis factorial.

**Tabla 4.1.** Variables seleccionadas para el análisis factorial (AF) y su correspondiente clave.

<b>Variable</b>	<b>Clave</b>
Conductividad eléctrica (dS/m)	CE
Materia orgánica total (%)	MO
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	dreal
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	dap
Densidad aparente compactada (g/cm <sup>3</sup> )	dapc
Espacio poroso total (%)	EPT
Capacidad de aireación (%)	CA
Contracción (%)	CT
Capacidad de retención hídrica (mL agua/L)	CRH

En el modelo utilizado se han establecido tres componentes principales, de forma que el modelo era capaz de explicar el 94,0% de la variabilidad, según la siguiente contribución de cada componente principal: componente 1: 53,3%; componente 2:

25,3% y el componente 3: 15,4%. En la Tabla 4.2 se muestra la matriz de componentes principales.

**Tabla 4.2.** Matriz de componentes obtenida con el análisis factorial (AF).

Parámetro	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Densidad aparente (dap)	0,966	-0,176	0,147
Densidad real (dreal)	0,959	0,128	-0,099
Materia orgánica total (MO)	-0,957	-0,140	0,113
Espacio poroso total (EPT)	-0,913	0,274	-0,227
Densidad aparente compactada (dapc)	0,813	-0,132	0,374
Conductividad eléctrica (CE)	0,696	-0,023	-0,666
Capacidad de aireación (CA)	-0,212	-0,958	0,112
Capacidad de retención hídrica (CRA)	0,057	0,979	-0,147
Contracción (CT)	0,056	0,492	0,817
<i>Varianza explicada (%)</i>	<b>53,3</b>	<b>25,3</b>	<b>15,4</b>

En sombreado se han representado las diferentes variables agrupadas en cada componente, en función de su mayor valor absoluto. Este valor es directamente proporcional a la capacidad del componente principal para explicar la variabilidad observada en esa variable concreta, agrupándose en cada componente principal aquellas variables que poseen comportamientos similares entre sí, de modo que el modelo permite reducir las variables.

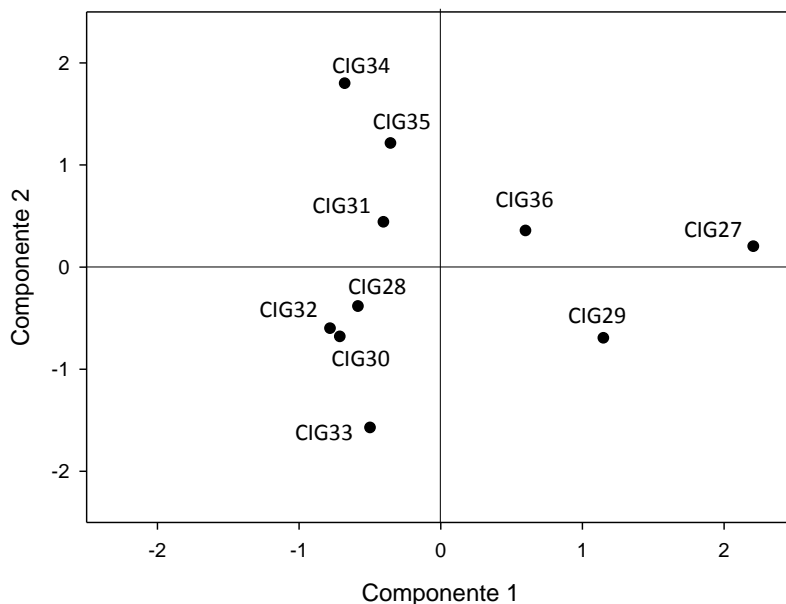
En el Componente 1 se agruparon propiedades químicas como la conductividad eléctrica y la materia orgánica, junto propiedades físicas relacionadas con la densidad del material a diferentes niveles, como la densidad real (asociada al contenido en materia orgánica y cenizas) y las densidades aparente y aparente compactada, así como el espacio poroso total. El contenido en materia orgánica y el espacio poroso total aparecieron inversamente correlacionados con el resto de variables, lo cual es lógico, ya que menor densidad aparente en un sustrato, normalmente se traduce en una mayor porosidad del material.



En el Componente 2 se agruparon la capacidad de aireación y la capacidad de retención hídrica, correlacionados de forma inversa, ya que una mayor capacidad de aireación conlleva una menor retención de agua por parte del sustrato, efecto que suele aparecer en los sustratos elaborados con un alto porcentaje de compost.

Finalmente, en el Componente 3 sólo aparecía la contracción, mostrando un comportamiento más independiente de este parámetro en relación al resto de parámetros estudiados.

Si se representan los valores de los coeficientes de los Componentes 1 y 2 (Fig. 4.14), se observa una clasificación de los compost estudiados en función de los parámetros analizados. La mayor parte de los compost se localizaron en la zona negativa del Componente 1, relacionado con parámetros asociados a la densidad y la porosidad del material. Por otra parte, los compost CIG-36, CIG-27 y CIG-29 parecen tener un comportamiento menos agrupado y diferenciado con respecto al resto de compost.



**Figura 4.14.** Componentes principales (PC1 y PC2) obtenidos al realizar el análisis factorial (AF) a los parámetros seleccionados.

## 5. CONCLUSIONES

Tras analizar los resultados obtenidos en los diferentes análisis aplicados a los compost, cuyo objetivo principal era determinar su calidad en relación a sus características físicas y físico-químicas para evaluar sus propiedades y las posibilidades de utilización como sustratos alternativos a la turba, se extraen las siguientes conclusiones:

- ✓ Todos los compost mostraron adecuadas propiedades físico-químicas para su uso como sustrato, con valores de pH neutros a ligeramente ácidos, próximos al nivel óptimo para su uso como sustrato, altos contenidos en materia orgánica (> 50%) y una baja salinidad, excepto los compost CIG-27 y CIG-28.
- ✓ Todos los compost estudiados presentaron una adecuada distribución de tamaño de partícula, con un índice de grosor próximo al intervalo óptimo, principalmente los compost CIG-28 y CIG-34.
- ✓ Los parámetros asociados a la densidad (real, aparente y aparente compactada) mostraron valores dentro de los rangos óptimos para todos los materiales estudiados, mostrando los compost CIG-27 y CIG-29 los valores menos idóneos al estar próximos al límite restrictivo para un sustrato ideal.
- ✓ Los valores de la capacidad de aireación y del espacio poroso total estuvieron dentro del rango óptimo o incluso fueron superiores en todos los compost estudiados, asegurando el cumplimiento de estos parámetros restrictivos para el uso como sustrato.
- ✓ En general, los compost estudiados mostraron una capacidad de retención de agua con valores inferiores al rango óptimo, excepto los compost CIG-34 y CIG-35, que mostraron una capacidad de retención hídrica óptima para su uso como sustrato.

- ✓ Los valores de contracción de todos los compost fueron adecuados, con valores por debajo del 30%, el límite máximo para un sustrato ideal, mostrando los compost CIG-27 y CIG-29 los valores más próximos a ese límite restrictivo. Por otra parte, la mojabilidad fue muy diferente en cada material, tan sólo mostrando los materiales CIG-27, CIG-29, CIG-34 y CIG-35 valores más altos que el valor óptimo establecido para un sustrato.
  
- ✓ El análisis factorial de los resultados mostró una clara clasificación de los parámetros estudiados en tres componentes con una variabilidad del 90,4%, así como una clasificación de los diferentes compost estudiados, mostrando una clara diferenciación entre los compost CIG-27, CIG-29 y CIG-36, respecto al resto de compost, los cuales mostraron unas propiedades más próximas a las del sustrato ideal.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Abad, M., Noguera, P. y Bures, S.** (2001). National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology*.
- Abad, M.; Martínez, M.D.; Cegarra, J.; Roig, A.F. y Martínez, J.** (1993). El compost de residuos y subproductos orgánicos como componentes de los medios de cultivo de las plantas ornamentales cultivadas en maceta. *Actas de Horticultura 10*: 1191- 1196.
- Abad, M.; Martínez; M.D.; Martínez, J.** (1992). Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de horticultura 11*: 141-154.
- Abad, M.; Noguera, M.** (1998). Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. *Fertirrigación, Cultivos hortícolas y ornamentales*, 287-342. Ed. Mundi-Prensa.
- Abad, M.; Noguera, P.; Puchades, R.; Maquieira, A.; Noguera, V.** (2002). Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerized ornamental plants. *Bioresource Technology*, 8 (3), 241-245.
- AENOR UNE-EN 12579:2014.** Mejoradores del suelo y sustratos de cultivo. Toma de muestras.
- AENOR, UNE-EN 13037:2012.** Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación del pH.
- AENOR, UNE-EN 13038:2012.** Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación de la conductividad eléctrica.
- AENOR, UNE-EN 13040:2008.** Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Preparación de la muestra para ensayos físicos y químicos. Determinación del contenido de materia seca, del contenido de humedad y de la densidad aparente compactada en laboratorio.
- AENOR, UNE-EN 13041:2012.** Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación de las propiedades físicas. Densidad aparente seca, volumen de aire, volumen de agua, valor de contracción y porosidad total.
- AENOR, UNE-EN 15428:2008.** Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación de la granulometría de las partículas.

- Alexander, P. D.; Bragg, N. C.** (2014). Defining sustainable growing media for sustainable UK horticulture. *Acta Horticulturae* 1034, 219-224.
- Alexander, P. D.; Bragg, N. C.; Meade, R.; Padelopoulos, G.; Watts, O.** (2008). Peat in horticulture and conservation: the UK response to a changing world. *Mires and Peat*, 3 (8), 1-10.
- Allwood, J. M.** (2014). Squaring the circular economy: The role of recycling within a hierarchy of material management strategies. *Handbook of Recycling: State-of-the-art for Practitioners, Analysts and Scientists*, 445-477.
- Amor, F. M.; Gómez-López, M.** (2009). Agronomical Response and Water Use Efficiency of Sweet Pepper Plants Grown in Different Greenhouse Substrates. *HortScience* 44 (3), 810-814.
- Barrett, G. E.; Alexander, P. D.; Robinson, J. S.; Bragg, N. C.** (2016). Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems – A review. *Scientia Horticulturae* 212, 220-234.
- Berganza, J.; Fuentes, L. D. L.; Guijarro, J.; Garay, I.** (2003). Problemática y posibilidades de aprovechamiento de los Subproductos generados en la industria alimentaria de la CEE. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 175, 91-94.
- Bertran, E.; Sort, X.; Soliva, M.; Trillas, I.**, 2004. Composting winery waste: sludges and grape stalks. *Bioresource Technology* 95, 203–208.
- Bonanomi, G.; Antignani, V.; Capodilupo, M.; Scala, F.** (2010). Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases. *Soil Biology and Biochemistry* 42, 136-144.
- Borrero, C.; Castillo, S.; Segarra, G.; Trillas, M. I.; Castaño, R.; Avilés, M.** (2013). Capacity of composts made from agriculture industry residues to suppress different plant diseases. *Acta Horticulturae* 1013, 459-463.
- Bunt, A. C.** (1988). *Media and Mixes for Container-Grow Plants. A Manual on the Preparation and Use of Growing Media for Pot Plants*, 2ª ed. Unwin Hyman, London.
- Bustamante, M. A.; Moral, R.; Paredes, C.; Pérez-Espinosa, A.; Moreno-Caselles, J.; Pérez-Murcia, M. D.** (2008). Agrochemical characterisation of the solid by-products and residues from the winery and distillery industry. *Waste Management*, 28, 372-380.

- Bustamante, M.A.; Paredes, C.; Moral, R.; Agulló, E.; Pérez-Murcia, M.D. y Abad, M.** (2008). Composts from distillery wastes as peat substitutes for transplant production. *Resour. Conserv. Recycl.* 52: 792-799.
- Carmona Chiara, E.; Abad Berjón, M.** (2008). Compostaje Adaptado al nuevo Plan General de Compatibilidad: Aplicación del Compost en Viveros y Semilleros, 397-424. Ed. Mundi-Prensa.
- Carson, R.** (1962). *Silent Spring*. Ed. Houghton Mifflin Harcourt.
- Ceglie, F.G.; Bustamante, M.A.; Amara, M.B.; Tittarelli, F.** (2015). The challenge of peat substitution in organic seedling production: optimization of growing media formulation through mixture design and response surface analysis. *Plos One* 10(6): e0128600. doi:10.1371/journal.pone.0128600.
- Chen, Y.; Inbar, Y.** (1993). Chemical and spectroscopical analyses of organic matter transformations during composting in relation to compost maturity. En: *Science and engineering of composting: design, environmental, microbiological and utilization aspects*. Ed.: H.A.J. Hoitink y H.M. Keener. Renaissance Publications. Ohio. pp. 551-600.
- Cruz Crespo, E.; Sandoval Villa, M.; Volke Haller, V.; Ordaz Chaparro, V.; Tirado Torres, J. L.; Sánchez Escudero, J.** (2010). Generación de mezclas de sustratos mediante un programa de optimización utilizando variables físicas y químicas. *Terra Latinoamericana*, 28 (3), 219-229.
- Cruz-Crespo, E.; Can-Chulim, A.; Sandoval-Villa, M.; Bugarín-Montoya, R.; Robles-Bermúdez, A.; Juárez-López, P.** (2013). Substrates in horticulture. *Bio Ciencias*, 2 (2), 17-26.
- De Boodt, M.; Verdonck, O.** (1971). The physical properties of the substrates in horticulture. *III Symposium on Peat in Horticulture*, 26, 37-44.
- De Boodt, M.; Verdonck, O.; Cappaert, J.** (1974). Methods for measuring the water-release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae*, 37, 2054-2062.
- De Corato, U.; Viola, E.; Arcien, G.; Valerio, V.; Zimbardi, F.** (2016). Use of composted agro-energy co-products and agricultural residues against soil-borne pathogens in horticultural soil-less systems. *Scientia Horticulturae* 210, 166-179.
- De Mendonça Costa, M. S. S.; Bernardi, F. H.; De Mendonça Costa, L. A.; Pereira, D. C.; Lorin, H. E. F.; Rozatti, M. A. T.; Carneiro, L. J.** (2017). Composting as a

cleaner strategy to broiler agro-industrial wastes: Selecting carbon source to optimize the process and improve the quality of the final compost. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2084-2092.

**Directiva 2008/98/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas (Directiva Marco de Residuos).

**Directiva 2010/75/UE**, de 24 de noviembre, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación) (versión refundida).

**Fascella, G.** (2015). Growing substrates alternative to peat for ornamental plants. *Soilless Culture-Use of Substrates for the Production of Quality Horticultural Crops*, 47-67.

**García-Gómez, A.; Bernal, M. P.; Roig, A.** (2002). Growth of ornamental plants in two composts prepared from agroindustrial wastes. *Bioresource Technology*, 82 (3), 241-245.

**García-Ortiz-Civantos, C.** (2016). Aprovechamiento del alperujo como enmienda orgánica en el olivar (Tesis doctoral). Universidad de Jaén.

**Gruda, N.** (2010). Sustainable peat alternative growing media. XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (ICH2010): International Symposium on 927, 973-979.

**Guérin, V.; Lemaire, F.; Marfà, O.; Cáceres, R.; Giuffrida, F.** (1998). Consequences of using alternative to peat substrates for the environment. XXV International Horticultural Congress, Part 1: Culture Techniques with Special Emphasis on Environmental Implications-511, 239-248.

**Guerra-Rodríguez, E.; Vázquez, M.; Díaz-Raviña, M.** (2000). Co-composting of barley wastes and solid poultry manure. *Bioresource Technology*, 75, 223-225.

**Gutiérrez, M. C.; Serrano, A.; Siles, J. A.; Chica, A. F.; Martín, M. A.** (2017). Centralized management of sewage sludge and agro-industrial waste through co-composting. *Journal of Environmental Management*, 196, 387-393.

**Hernández-Apaolaza, L.; Gascó, A. M.; Gascó, J. M.; Guerrero, F.** (2005). Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. *Bioresource Technology*, 96 (1), 125-131.

- Higashikawa, F.; Silva, C.; Bettiol, W.** (2010). Chemical and physical properties of organic residues. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34 (5), 1742-1752.
- Jayasinghe, G. Y.; Arachchi, I. L.; Tokashiki, Y.** (2010). Evaluation of containerized substrates developed from cattle manure compost and synthetic aggregates for ornamental plant production as a peat alternative. *Resources, Conservation and Recycling*, 54 (12), 1412-1418.
- Jiménez Mejias, R.; Caballero Ruano, M.** (1990). El cultivo industrial de plantas en maceta. ISBN: 9788487729003. Ed. Ediciones de Horticultura S.L.
- Jurado, M. M.; Suárez-Estrella, F.; Vargas-García, M. C.; López, M. J.; López-González, J. A.; Moreno, J.** (2014). Increasing native microbiota in lignocellulosic waste composting: Effects on process efficiency and final product maturity. *Process Biochemistry*, 49, 11, 1958-1969.
- Lemaire, F.** (1994). Physical, chemical and biological properties of growing médium. *Hydroponics and Transplant Production*, 396, 273-284.
- Lemaire, F.; Dartigues, A.; Rivière L. M.; Charpentier, S. y Morel, P.** (2005). Cultivos en macetas y contenedores. Principios agronómicos y aplicaciones. Madrid. Ed. Mundi- Prensa. 210 pp.
- Ley 22/2011**, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- López-Cuadrado, M. C.; Masaguer, A.** (2006). Sustratos para viveros: Conocer sus cualidades ayuda a su correcta utilización. *Horticultura*, vol. extra, 44-50.
- López-Cuadrado, M.C. y Masaguer, A.** (2006). Sustratos para viveros: conocer sus propiedades ayuda a su correcta utilización. *Horticultura*, vol. Extra, p 44-40.
- López-Mosquera, M.E.; Fernández-Lema, E.; Villares, R.; Corral, R.; Alonso, B.; Blanco, C. (2011). Composting fish waste and seaweed to produce a fertilizer for use in organic agriculture. *Procedia Environmental Sciences*, 9, 113-117.
- Madejón, E.; Díaz, M.J.; López, R. y Cabrera, F.** (2001). Co-composting of sugarbeet vinasse: influence of the organic matter nature of the bulking agents used. *Bioresource Technology*, 76: 275-278.
- Márquez-Hernández, C.; Cano-Ríos, P.; Chew-Madinaveitia, Y. I.; Moreno-Reséndez, A.; Rodríguez-Dimas, N.** (2006). Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Chapingo, Serie Horticultura*, 12 (2), 183-189.



- Márquez-Hernández, C.; Cano-Ríos, P.; Rodríguez-Dimas, N.** (2008). Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. *Agricultura técnica en México*, 34 (1), 69-74.
- Martínez, F.** (1992). Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Actas de Horticultura*, 11, 55-66.
- Martínez, P. F.; Roca, D.** (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo: Materiales, propiedades y manejo. *Sustratos, Manejo del Clima, Automatización y Control en Sistemas de Cultivo sin Suelo*, 33-77. Ed. Universidad Nacional de Colombia.
- Morales Moreno, A. B.** (2015). Estudio de los residuos y subproductos agroindustriales de la Región de Murcia: Opciones de valorización mediante compostaje y biometanización.
- Morales, A.B.; Bustamante, M.A.; Marhuenda-Egea, F.C.; Moral, R.; Ros, M.; Pascual, J.A.** (2016). Agri-food sludge management using different co-composting strategies: study of the added value of the composts obtained. *Journal of Cleaner Production*, 121, 186-197.
- Moreno Casco, C. y Moral, Herrero, R.** (2008). *Compostaje*. Mundi- Prensa. Madrid.
- Navarro, A.F.; Cegarra, J.; Roig, A. y Bernal, M.P.** (1991). An automatic microanalysis method for the determination of organic carbon in wastes. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 22: 2137-2144.
- Navarro, A.F.; Cegarra, J.; Roig, A. y García, D.** (1993). Relationships between organic matter and carbon contents of organic wastes. *Bioresource Technology*, 44: 203-207.
- Nevens, F.; Reheul, D.** (2003). The application of vegetable, fruit and garden waste (VFG) compost in addition to cattle slurry in a silage maize monoculture: nitrogen availability and use. *European Journal of Agronomy*, 19, 189-203.
- Noguera, P.** (2000). Caracterización y evaluación agronómica del residuo de fibra de coco: un nuevo material para el cultivo en sustrato. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Noguera, P.; Abad, M.; Puchades, R.; Maquieira, A.; Noguera, V.** (2003). Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as container media. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34, 593-605.

- Norma Australiana para Sustratos de Cultivo.** Australian Estándar AS 3743-2003. Potting mixes.
- Núñez-Pérez, Y.; Pereda-Pereda, L.; Clemente-Barreiro, R.** (2012). Herramientas de sostenibilidad ambiental en productos alimentarios. Caso práctico: proyecto Life+HAproWINE. Instituto Tomás Pascual Sanz.
- Orden PRA/1943/2016,** de 22 de diciembre, por la que se modifican los anexos I, II, IV y VI del Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo.
- Paredes, C.; Bernal, M. P.; Roig, A.; Cegarra, J.** (2001). Effects of olive mill wastewater addition in composting of agroindustrial and urban wastes. *Biodegradation*, 12, 225-234.
- Pastor Sáez, J. N.** (1999). Use of Growing Mediums in the Nursery Production. *Terra*, 17 (3), 231-235.
- Pulizzi, R.; Pardossi, A.; Marzietti, P.; Lanzi, A.; Incrocci, L.** (2008). Evaluation of some peat-alternative substrates in horticultural crops. *International Symposium on Strategies Towards Sustainability of Protected Cultivation in Mid-Winter Climate* 807, 553-538.
- Quintero, M. F.; González, C. A.; Guzmán, J. M.** (2011). Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. *Sustratos, Manejo del Clima, Automatización y Control en Sistemas de Cultivo sin Suelo*, 79-108. Ed. Universidad Nacional de Colombia.
- Raj, D.; Antil, R. S.** (2011). Evaluation of maturity and stability parameters of compost prepared from agro-industrial wastes. *Bioresource Technology*, 102, 2868-2873.
- Raviv, M.; Chen, Y.; Inbar, Y.** (1986). Peat and peat substitutes as growth media for container-growth plants. In: Y. Chen and Y. Avnimelech (Eds.). *The Role of Organic Matter in Modern Agriculture*. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht (The Netherlands), pp. 257-287.
- Real Decreto 1039/2012,** de 6 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo.
- Real Decreto 1528/2012,** de 8 de noviembre, por el que se establecen las normas aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados a consumo humano.

**Real Decreto 535/2017**, de 26 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.

**Real Decreto 824/2005**, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes.

**Real Decreto 865/2010**, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo.

**Reglamento (CE) 1774/2002**, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 3 de octubre, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales no destinados al consumo humano.

**Reglamento (CE) 2003/2003**, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre, relativo a los abonos.

**Reglamento (CE) 765/2008**, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de julio, por el que se establecen los requisitos de acreditación y vigilancia del mercado relativos a la comercialización de los productos y por el que se deroga el Reglamento (CE) 339/93.

**Richards, D.; Lane, M.; Beardsell, D. V.** (1986). The influence of particle size distribution in pine bark:sand:brown coal potting mixes on water supply, aeration plant growth. *Scientia Horticulturae*, 29, 1-14.

**Robertson, R. A.** (1993): Peat, horticulture and environment. *Biodiversity and Conservation*, 2 (5), 541-547.

**Ros, M.; Pascual, J. A.; Ayuso, M.; Morales, A. B.; Miralles, J. R.; Solera, C.** (2012). Salidas valorizables de los residuos y subproductos orgánicos de la industria de los transformados de frutas y hortalizas: proyecto Life+Agrowaste. CEBAS-CSIC, CTC y AGRUPAL.

**Ruggieri, L.; Artola, A.; Gea, T.; Sánchez, T.** (2008). Biodegradation of animal fats in a co-composting process with wastewater sludge. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 62, 297-303.

**Sáez, J. N. P.** (1999). Utilización de sustratos en viveros. *Terra*, 17 (3), 231-2335.

**Sahin, U.; Anapali, O.; Ercisli, S.** (2002). Physico-Chemical and Physical Properties of Some Substrates Used in Horticulture / Physikalisch-chemische und physikalische Eigenschaften einiger im Gartenbau verwendeter Substrate. *Gartenbauwissenschaft*, 55-60.

**Saval, S.** (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: Pasado, presente y futuro. *BioTecnología* 16 (2), 14-46.

- Sellami, F.; Jarboui, R.; Hachicha, S.; Medhioub, K.; Ammar, E.** (2008). Co-composting of oil exhausted olive-cake, poultry manure and industrial residues of agro-food activity for soil amendment. *Bioresource Technology*, 99, 1177-1188.
- Suárez-Estrella, F.; Arcos-Nievas, M. A.; López, M. J.; Vargas-García, M. C.; Moreno, J.** (2013). Biological control of plant pathogens by microorganisms isolated from agro-industrial compost. *Biological Control*, 67, 509-515.
- Wilson, G.** (1983). The physico-chemical and physical properties of horticultural substrates. *International Symposium on Substrates in Horticulture other than Solis in situ*, 150, 19-32.

**Páginas web consultadas:**

**APTYS** [www.aptys.org](http://www.aptys.org), última visita: 15/04/2017.

**Agromática.** <http://www.agromatica.es/sencilla-guia-del-cultivo-de-la-morera/>, última visita: 01/06/2017.

**Labopolis.** (<http://www.tamices.es/categoria-producto/tamizadoras/>), última visita: 01/06/2017.

**Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA, 2015<sup>a</sup>).** Anuario de Estadística, Avance 2015. (<http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/>), última visita: 17/04/2017.

**Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA, 2015<sup>b</sup>).** Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en España, 2015. ([http://www.mapama.gob.es/es/ministerio/servicios/publicaciones/memoria\\_magrama\\_2015\\_completo\\_tcm7-434299.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/ministerio/servicios/publicaciones/memoria_magrama_2015_completo_tcm7-434299.pdf)), última visita: 23/04/2017.

**Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA, 2016).** Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos. ([www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/espana2016web\\_tcm7-452544.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/espana2016web_tcm7-452544.pdf)), última visita: 12/04/2017.

**UMH.** (<https://biodiversidad.umhsostenible.com/index.php>), última visita: 04/06/2017.

**Universidad de Huelva.** (<http://uhu.es/fexp/guia-arboles/arbol.php?q=20>), última visita: 04/06/2017.