

Co-compostaje de residuos procedentes de almazara en zonas rurales del interior de la provincia de Alicante.



Fco Borja Sanchez García

2018

**Co-compostaje de residuos procedentes de almazara en
zonas rurales del interior de la provincia de Alicante.**

1. Máster Universitario en Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos

Vº Bº DIRECTOR

VºBº CODIRECTOR

ALUMNO



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

Se autoriza al alumno **D. Francisco Borja Sánchez García**, a realizar el Trabajo Fin de Máster titulado: "Co-compostaje de residuos procedentes de almazara en zonas rurales del interior de la provincia de Alicante", bajo la dirección de D^a. M^a Dolores Pérez Murcia, debiendo cumplir las normas establecidas para la redacción del mismo que están a su disposición en la página Web específica del Master.

Orihuela, 17 de septiembre de 2018

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


Fdo.: Concepción Paredes Gil
Miguel Hernández
DE ELCHE
UNIVERSIDAD DE ORIHUELA
DEPARTAMENTO DE
AGROQUÍMICA Y
MEDIO AMBIENTE

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

REFERENCIAS DEL TRABAJO FIN DE MASTER

IDENTIFICACIONES

Autor: Francisco Borja Sanchez García

Título: Co-compostaje de residuos procedentes de almazara en zonas rurales del interior de la provincia de alicante.

Title: Waste co-composting coming from an olive mill at rural zareas inland Alicante province.

Director/es del TFM: Maria Dolores Pérez Murcia

Año: 2018

Titulación: Máster Universitario en Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos

Tipo de proyecto: Trabajo Experimental y Descriptivo

Palabras claves: compost, almazara, alperujo

Keywords: compost, olive mil, mil pomace

Nº citas bibliográficas: 64

Nº de planos:

Nº de tablas: 11

Nº de figuras: 25

Nº de anexos: 1

RESUMEN

En este trabajo se desarrolla un procedimiento de seguimiento de obtención de compost a partir de los residuos de almazara alperujo y hoja de olivo incorporando gallinaza, que junto a la hoja hacen de estructurante. El seguimiento se basa en el análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas durante el proceso y especialmente en el compost maduro. El proceso de compostaje se llevó a cabo mediante un sistema de pila abierta, con aireación natural y volteos de periódicos. La temperatura fue utilizada para monitorear el proceso de compostaje durante 6 meses. La evaluación de calidad final permitió verificar las capacidades de higiene, agronómicas y fertilizantes de compost desarrollado.

ABSTRACT

This essay is going to expose the proceed to obtain compost using olive mill wastes mill pomace and olive leaves, adding chicken manure mixed with the olive leaves decrease initial density. The monitoring consists in an analysis of the physical, chemical and biological properties during the compost age proceed and specially in the mature compost. The proceed of composting consisted in an open windrow compost with passive aeration and periodic turnings. Temperature was used to monitoring the composting proceed during 6 months. The evaluation of the final quality allowed to verify the hygienic, agronomic and fertilizing from the compost obtained.

Agradacimientos:

Me gustaría Agradecer en primer lugar al personal de la almazara Travadell, en especial a Juan Vicente Fernando, por ofrecer la oportunidad de trabajar con ellos en un proceso de autogestión de sus propios que llevan realizando durante años y del que he podido aprender todo lo que me ha enseñado y ofrecido, desde los mejores productos de la zona, lugares que recorrer y su proceso de compostaje, empleando el calendario lunar, lo cual me llamó mucho la atención, y acabe indagando sobre el tema.

Al proyecto Agrcomposta, Convenio entre la GVA – UMH, gracias al cual he podido ver de primera mano la gran cantidad de residuos agroindustriales que hay presentes en la comunidad y como estos pueden ser empleados para obtener un recurso de interés, tanto para los participantes en el proyecto, para el campo de la investigación y el medio Ambiente.

Quiero dejar constancia el agradecimiento a mis compañeros dentro del proyecto Agrocomposta este TFM salió como resultado de los análisis en campo y laboratorio, y las horas para realizar informes, gracias M^a Teresa Fernandez, por poder aprender contigo y a M^a del Valle Palenzuela y Ana García. Dentro de la gran familia del proyecto la figura todo presente de Raúl Moral, que me dio la oportunidad de empezar en el proyecto y la incentiva para estudiar el master de residuos que este trabajo defenderá

Al personal que trabaja en el departamento de Agroquímica y Medio Ambiente de la Escuela Politecnica Superior de Orihuela Encarni, Alberto, Jose Saez y Mari Sol, que siempre estuvieron dispuesto a colaborar y dar su opinión para mejor.

Por mi tutora del Trabajo Fin de Master Marilo Perez Murcia, también conocida por Perez-Murcia M.D y col, quien siempre estuvo y está dispuesta a arrojar la verdad sobre todo experimento realizado y redactado, sin dejarse una coma de mas o un párrafo sin referenciar.

Para mi familia, en especial mi madre, quien me sigue apoyando y animando a realizar todo lo que me proponga, aunque cuando le cuente lo que hago se eche las manos a la cabeza, luego me las hecha dando un empujón hacia delante en la espalda.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	
1.1. RIESGOS MEDIAMBIENTALES ASOCIADOS A LOS RESIDUOS ORGÁNICOS	9
1.1.1. Tipos de riesgos medioambientales	11
1.1.2. Principales agentes contaminantes	11
1.2. INDUSTRIA AGROALIMENTARIA SECTOR OLEÍCOLA	15
1.2.1 Descripción del sector oleícola en España	12
1.2.2 Industria de la almazara Procesos, productos y subproductos.	15
1.2.3 Métodos de valorización y reciclado del alperujo	18
1.3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL COMPOSTAJE	21
1.3.1 Definición y etapas de compostaje	21
1.3.2 Condiciones para el proceso de compostaje	24
1.3.3 Sistemas de compostaje	27
1.3.4 Utilización del compost	30
2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	35
3. MATERIAL Y MÉTODOS	39
3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL	39
3.1.1 Características de los residuos utilizados	46
3.1.2 Dispositivo de compostaje utilizado	48
3.2 DESARROLLO EXPERIMENTAL	49
3.2.1 Cálculo y preparación de la mezcla	49
3.2.2 Seguimiento del proceso de compostaje	51
3.2.3 Muestreo del material volteos y otras operaciones realizadas	52
3.3 Métodos analíticos	53
3.4 Métodos estadísticos	55
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
4.1 Evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje	57
4.2 Evolución de la fracción hidrosoluble: ph, conductividad eléctrica, polifenoles y c.extraíble	64
4.3 Evolución de la materia orgánica y de su fracción sólida	69
4.4 Parámetros indicativos de la calidad del compost	77
4.5 Cálculo de la dosis de enmienda recomendada para el cultivo	81
5 CONCLUSIONES	84
6 BIBLIOGRAFÍA	87
7 ANEXOS	94

1. INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

1.1 RIESGOS MEDIOAMBIENTALES ASOCIADOS A LOS RESIDUOS ORGÁNICOS

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

La industria agroalimentaria es uno de los sectores de mayor importancia en la UE y, como consecuencia de sus actividades, produce gran cantidad de residuos de naturaleza fundamentalmente orgánica. Según los datos recogidos en el año 2008 por la Oficina Europea de Estadística 'Eurostat' para la UE-27, el sector de la industria de la alimentación, bebidas y tabaco produjo más de 53 millones de toneladas de residuos, de los cuales 35 millones correspondieron a residuos biodegradables de origen vegetal y animal.

Asimismo, la agrupación de las actividades agroindustriales puede realizarse también según el tipo de residuos que éstas generan "Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca; residuos de la preparación y elaboración de alimentos" de la Lista Europea de Residuos (**Tabla 1.1**).

Clasificación de las industrias agroalimentarias en función de los residuos que éstas producen.

Tabla 1 1 Fuente: Lista Europea de Residuos (Decisión 2000/532/CE de la Comisión, de 3 de mayo, modificada posteriormente por otras Decisiones, transpuestas por la Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero)

Código	Residuo (Origen/Procedencia)
02 03	Residuos de la preparación y elaboración de frutas, hortalizas, cereales, aceites comestibles, cacao, café, té y tabaco; producción de conservas; producción de levadura y extracto de levadura, preparación y fermentación de melazas
02 03 01	Lodos de lavado, limpieza, pelado, centrifugado y separación
02 03 02	Residuos de conservantes
02 03 03	Residuos de la extracción con disolventes
02 03 04	Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración
02 03 05	Lodos del tratamiento in situ de efluentes
02 03 99	Residuos no especificados en otra categoría

Una gran Variedad de industrias producen residuos de origen vegetal, destacando algunos sectores por su importancia en el ámbito agroindustrial: industrias azucareras, industrias conserveras de frutas y hortalizas, industrias de la cerveza, industrias vitivinícolas, industrias del arroz, e industrias de extracción del aceite de oliva, principalmente (Afgano y col., 2006).

Los residuos y subproductos procedentes del sector de extracción del aceite de oliva, cuyas características, problemática y tratamiento se abordarán en este trabajo. Los subproductos y residuos de la industria agroalimentaria plantean problemas importantes desde los puntos de vista medioambiental y de gestión adecuada de los mismos, y representan, además, una pérdida de biomasa y nutrientes del procesado de los alimentos, que podrían ser aprovechados para otros usos o aplicaciones (Laufenberg et al., 2003).

Debido a la prevención de la contaminación ambiental y a motivos económicos, existe en la actualidad gran interés por la búsqueda de nuevas técnicas de tratamiento de los residuos del procesado de los alimentos para obtener materiales potencialmente útiles como, por ejemplo, productos de alto valor añadido y materias primas para otros

procesos industriales, o para alimentación animal, entre otras aplicaciones (Laufenberg et al., 2003). Como ejemplos de recuperación directa de residuos y subproductos de origen alimentario merecen destacarse sus usos en alimentación animal (salvado y medianos de cereales, cáscara de cítricos, etc.), como cama para el ganado (cascarilla del arroz), como combustibles, y como fertilizantes

1.1.1 Tipos de riesgos medioambientales.

Los riesgos medioambientales asociados a los residuos orgánicos

(Navarro y col., 1995) son:

- La degradación física, química y biológica del suelo
- La contaminación de aguas superficiales y subterráneas
- La contaminación atmosférica
- La contaminación de la cadena trófica
- Los problemas sanitarios

1.1.2 Principales agentes contaminantes

Los principales agentes que inducen los riesgos medioambientales anteriormente comentados son:

- La presencia de metales pesados y otras sustancias tóxicas
- La existencia de microorganismos patógenos
- El exceso de nutrientes o la deficiencia o demanda de los mismos
- Solubilidad de sales en exceso: salinidad
- Presencia de materiales no biodegradables
- Otros agentes.

Como orientación, en la **Tabla 1.2** se muestran los principales agentes contaminantes, así como una correlación entre éstos y los diferentes residuos estudiados, con el fin de evaluar su mayor o menor presencia en cada residuo. Es importante mencionar que aquellos residuos derivados de procesos de transformación de productos agrícolas y ganaderos, así como los residuos urbanos (basuras y lodos),

son los materiales a los que en general, se les debe mostrar una mayor atención por la posible presencia de agentes contaminantes y componentes no biodegradables (Navarro y col., 1995)

Tabla 1 2 Riesgos que debemos cuestionar relacionados con los residuos orgánicos (Navarro y col., 1995).

Residuo	Metales pesados	Sustancias tóxicas	Patógenos	Exc./Dem Nutrientes	Sales en exceso	Materiales no biodegradables
Residuo ganadero			⊗	⊗		
Abonado verde				⊗		
Residuo de cosecha		⊗		⊗		
Agroindustrial	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
Basura urbana	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
Lodo de depuradora	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗

Metales pesados y otras sustancias tóxicas

- Elementos potencialmente tóxicos:
 - Se consideran elementos potencialmente tóxicos aquellos elementos que no tienen funciones esenciales y que poseen una elevada toxicidad (As, metales pesados, etc.) y aquellos que son esenciales pero tóxicos en determinadas concentraciones (Mo, Zn, Cu...) (AECOSAN 2010).
- Compuestos orgánicos potencialmente tóxicos:
 - Existe una enorme variedad de compuestos orgánicos potencialmente perjudiciales para el medio ambiente, los cuales se agrupan en diversas familias o categorías, las principales de las cuales, de acuerdo a un estudio a nivel europeo realizado en 2004 (Amlinger y col., 2004) se muestran a continuación:
 - Bifenilos policlorado (PCB)
 - Dibenzodioxinas y dibenzofuranos policlorados (PCCD y PCCF)
 - Hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHS)
 - Pesticidas clorados y compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)
 - Sulfonato de alquilbenceno lineal (LAS)
 - Nonifenol (NPE)
 - Ftalatos: dietilhexil ftalato (DEHP), butilbencil ftalato (BBP) y dibutil ftalato (DBP)

Su determinación resulta muy compleja y cara, de manera que la realización de análisis preventivos rutinarios conllevaría unos costes altos para el sector del tratamiento de residuos. A diferencia de los metales pesados que salvo pérdidas por lixiviación se concentran en el compost final a causa de la degradación de la materia orgánica, los contaminantes orgánicos pueden desaparecer en mayor o menor medida durante el compostaje, no sólo por su mineralización, sino por su degradación parcial hasta formas más resistentes, volatilización y nebulización al unirse a microgotas de vapor de agua (Amlinger y col., 2004).

□ **Patógenos**

La presencia de organismos patógenos es prácticamente inherente al concepto de residuo. Es uno de los problemas más importantes que se dan en los materiales residuales frescos y que pueden afectar al hombre. Por ello resulta importante realizar procesos de acondicionamiento que nos permitan controlar y eliminar este riesgo tan importante el mantenimiento de temperaturas adecuadas. Durante el proceso de compostaje toda la masa del producto facilita la eliminación de patógenos (Navarro et. al. 1995)

Los contaminantes bióticos (virus, bacterias, hongos, protozoos, helmintos, etc.), independiente de su tipología, han sido poco estudiados a pesar de que constituyen un gran riesgo para los ecosistemas, debido a la alteración de los sistemas biológicos que ocasionan la entrada de microorganismo ajenos a éstos.

□ **Exceso y Demanda de nutrientes**

Cuando se añaden residuos frescos al suelo un riesgo que se puede plantear es la demanda inicial de nutrientes por parte del propio residuo para activar los procesos biológicos, pudiendo aparecer deficiencias de nitrógeno para el cultivo, debido a la competencia estrecha por este elemento entre los microorganismos y la planta (Junta Andalucía 2008).

□ Exceso de nutrientes

Por otro lado una desmesurada aplicación de fertilizantes nitrogenados así como una inadecuada gestión de residuos de naturaleza orgánica provoca que los niveles de nitratos en aguas superficiales y subterráneas sea cada vez mayor. Este hecho puede ocasionar problemas graves de salud pública, pues al ingerirse a través del agua potable, puede ser precursor de compuestos de naturaleza tóxica para el organismo (Directiva UE nitratos 2010).

□ **Salinidad**

La presencia de sales solubles puede influir desfavorablemente sobre la producción agrícola. Los residuos de naturaleza orgánica suelen presentar valores elevados de salinidad. Los valores que se muestran en la **Tabla 1.4** son orientativos de la presencia de sales solubles en diferentes residuos, pues la variabilidad de este parámetro es muy elevada.

Tabla 1 3 Conductividad eléctrica de diferentes residuos (Navarro y col., 1995)

RRESIDUO	VALOR (dS/m)
Lodo de depuradora	0,8- 11
Gallinaza	5,7
Estiércol de oveja	2,8- 7
Estiércol de ternero	4,7
Estiércol de vaca	4,0
Estiércol de conejo	1,0- 2,9
Purín de cerdo	5,0- 12
Piel de almendra	7,1
RSU	3,8- 10

1.2. INDUSTRIA AGROALIMENTARIA: SECTOR OLEÍCOLA.

1.2.1 Descripción del sector oleícola En España.

El cultivo del olivo y la actividad de la industria oleícola tienen una gran importancia económica y social principalmente en los países de la Cuenca Mediterránea, siendo España el primer país productor de aceite de oliva en la Unión Europea (Figura 10). El olivar ocupa aproximadamente el 18% de la superficie de España cultivada con 2.456.719 has., correspondiendo a Andalucía el 60% de tal superficie y una producción del 80% del total nacional de aceite de oliva, mientras que el resto se produce principalmente en Castilla-La Mancha, Cataluña, Valencia y Extremadura. En el periodo comprendido entre los años 2004 y 2009 la producción media anual de aceite en España se estimó en 1.038.440 toneladas y ha sido de 1.028.000 toneladas en la campaña 2008/2009. En España existen 1.739 instalaciones industriales para la extracción de aceite (almazaras), 817 de las cuales se encuentran en Andalucía (AAO, 2009).

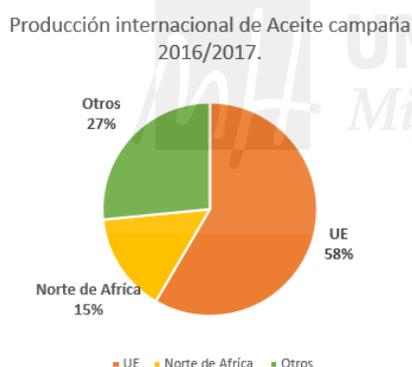


Figura 1 1 Zonas productoras de aceite de oliva en el mundo

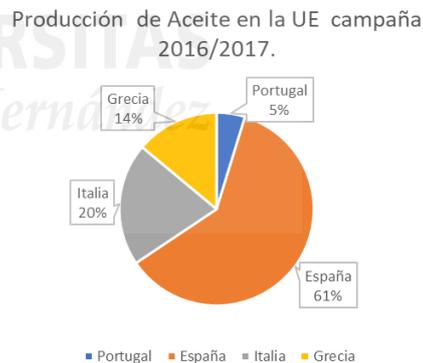


Figura 1 2 Principales países productores de aceite en la U.E.

1.2.2. Industria de la almazara Procesos, productos y subproductos.

Cuando la aceituna se deposita en la almazara, se clasifica en función de su calidad y se limpia para eliminar las hojas y otras impurezas que pueda contener el fruto, lo que ya genera un notable volumen de residuo. El acondicionamiento o preparación de la pasta se realiza mediante las operaciones de molienda y batido. La molienda consiste en la trituración del fruto con el fin de liberar el aceite alojado fundamentalmente

en la pulpa, mientras que la finalidad del batido es romper la emulsión aceite-agua y reunir las gotas de aceite liberadas mediante la molienda. (Hermoso M. y col. 1996)

A partir de la masa batida, se separa la fase líquida de la fase sólida mediante dos métodos: presión o centrifugación. Con el primer método (sistema tradicional) la masa se coloca en soportes de filtración denominados capachos que se someten a presión, reteniendo los sólidos (orujo) y liberando el mosto oleoso (fracción líquida), el cual se somete a decantación posterior para separar la fase oleosa o se centrifuga en los sistemas más modernos. La separación mediante centrifugación en sistema continuo consiste en inyectar la masa batida directamente a un decantador centrífugo horizontal, donde la fuerza centrífuga aplicada separa las distintas fracciones por diferencia de densidad (Hermoso M. y col. 1996).

Dependiendo de las salidas que posea el decánter, se distinguen el sistema de tres fases o tres salidas (separa orujo, alpechín y aceite) y el de dos fases o dos salidas (separa el aceite y la mezcla de orujo con las fracciones acuosas). Finalmente, y una vez que el aceite ha sido separado por los distintos sistemas, éste arrastra todavía partículas en suspensión y algo de agua, que es necesario eliminar mediante un tamizado previo, decantación y/o centrifugado posterior (separación líquido-líquido) (Hermoso M. y col. 1996)).

A finales de la campaña oleícola 1991-92, se presentó el nuevo sistema de centrifugación de dos fases, también llamado ecológico, que efectúa la separación del aceite sin adición de agua al decantador o con una adición mínima, dependiendo de la humedad de la aceituna a tratar, y que actualmente utilizan más del 90% de las almazaras españolas (Borja y col., 2004) (Figura 11). Entre las ventajas de este nuevo sistema de extracción, cabe señalar que permite la obtención de un aceite más estable a la oxidación debido a su mayor contenido en agentes antioxidantes (Alba y col., 1993; Ranalli y Martinelli, 1995), consigue un caudal de trabajo similar o superior al de tres fases y una importante reducción del consumo de agua (65-70%), con el consiguiente ahorro en energía de calefacción. Sin embargo, la ventaja más importante de este sistema es que no genera alpechín, reduciéndose la generación de efluente líquido básicamente al agua de lavado de los aceites y, en menor cuantía, al agua de lavado de las aceitunas y limpieza general de la maquinaria, originando como subproducto únicamente el orujo de dos fases, también llamado alperujo (Alba y col., 1993). Como principales inconvenientes del sistema de dos fases cabe citar el aumento considerable del volumen de orujo producido, debido a la incorporación de la fracción acuosa de la

aceituna, así como el manejo y aprovechamiento del mismo, como se muestra en la **Figura 1.3**

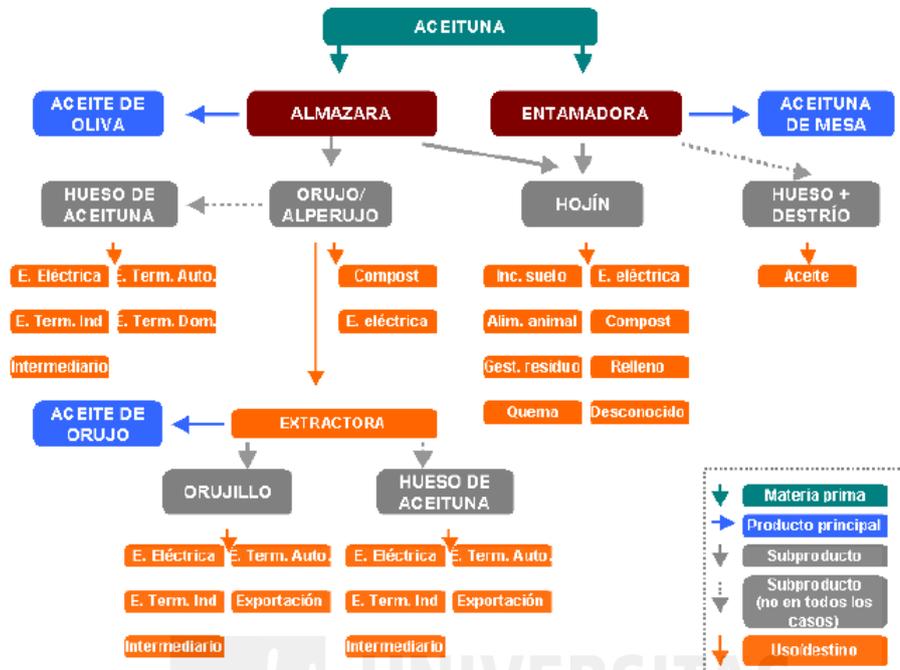


Figura 1.3 Procesos tras la recolección de la oliva. Fuente Junta de Andalucía Consejería de Agricultura (2015)

Sistema continuo de centrifugación de dos fases

El alperujo se emplea mayoritariamente para obtener aceite mediante una segunda centrifugación y, después de su secado, para la extracción con disolventes orgánicos del llamado “aceite de orujo”. Sin embargo, el principal inconveniente para su agotamiento en las orujeras, respecto a los otros orujos, es su elevada humedad y la abundancia de sólidos finos y compuestos que contiene, tales como azúcares, ácidos orgánicos y polialcoholes, que le otorgan una excesiva fluidez. Esto se traduce en problemas para su almacenamiento, transporte y secado, de modo que el almacenamiento tradicional del orujo en superficies abiertas ha tenido que sustituirse por el vertido en balsas, mientras que para su transporte interno las cintas transportadoras se han sustituido por tornillos sinfines cerrados o cintas de cangilones y, para el externo, se deben utilizar camiones con cajas selladas o tipo cuba.

Por otra parte, las especiales características del alperujo repercuten también negativamente en el proceso de extracción química del aceite que contiene, ya que para conseguir el máximo rendimiento debe secarse hasta valores próximos al 8%. La presencia fundamentalmente de azúcares que en el sistema de tres fases se quedaban en el alpechín determina que éstos se caramelicen en los secaderos como consecuencia de las altas temperaturas, apelmazando la masa de alperujo y formando bolas que se secan sólo superficialmente, lo que incide negativamente en el proceso de reducción de la humedad. (Hermoso M. y col. 1996)

Además, los componentes orgánicos solidificados en el alperujo seco crean películas envolventes que impiden o dificultan el paso del disolvente, originando problemas de percolación que redundan en peores agotamientos. Esta problemática ha obligado a las orujeras a realizar costosas modificaciones en sus instalaciones, para adaptarse a las características del nuevo subproducto generado por la implantación del sistema de extracción de dos fases. Además, la detección de hidrocarburos policíclicos aromáticos en el aceite extraído del alperujo por vía química, ha obligado a un estricto refinado del mismo, lo que ha incrementado los costes de producción. A pesar de estos inconvenientes el sistema continuo de centrifugación de dos fases está implantado en el 90% de las almazaras españolas, como se ha comentado anteriormente. Por lo tanto, el alperujo es el principal subproducto actual de la industria oleícola española con una producción de este material en la campaña 2008/2009 de unas 4,1 x10⁶ toneladas (Alburquerque y col., 2004; AAO, 2009)

1.2.3 Métodos de valorización y reciclado del alperujo

Se han propuesto diferentes métodos para la valorización y reciclado del alperujo. La alternativa de aprovechamiento energético de los subproductos del olivar está bien afianzada en el sector, al beneficiarse de las primas por la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. El aprovechamiento energético contempla la combustión directa del orujillo y del hueso de aceituna (se pueden quemar directamente en calderas para la obtención de energía térmica), la generación de energía eléctrica en ciclos de vapor (a partir de orujo húmedo, graso o desengrasado, orujo seco u orujillo que se queman para producir vapor con el que se genera electricidad mediante turbinas), la metanización por procedimientos de digestión anaeróbica y la gasificación que utiliza orujo seco, orujillo o hueso. Algunas industrias del sector suelen utilizar la cogeneración en su proceso productivo, bien mediante motor alternativo o

turbina de gas, generando de forma simultánea energía eléctrica y térmica y aprovechando esta última en el secado del orujo (Paredes y col).

Otras vías alternativas para el aprovechamiento del alperujo se basan en ensayos para evaluar su empleo en alimentación animal (Molina y col., 2001), para aplicación directa al suelo determinando sus efectos sobre las propiedades del mismo (Tejada y col., 1997), como enmienda orgánica en el control de la erosión (Giráldez y col., 1999) y como sustrato para la producción de hongos comestibles (Pardo Núñez y López Mondejar, 2001). Igualmente se ha ensayado como sustrato para la obtención de polímeros de origen microbiano (Ramos-Cormenzana y col., 2001) y se ha sometido a procesos biológicos, como el vermicompostaje (Labrador y col., 2001) y el compostaje (Filippi y col., 2002; Albuquerque y col., 2006). En particular, esta última alternativa puede resultar atractiva para zonas geográficas mal comunicadas, con elevados costes de transporte del alperujo hasta las extractoras, y todavía puede serlo más para elaborar abonos orgánicos utilizables en las propias explotaciones de olivo ecológico, ya que éstas soportan los elevados costes derivados de la utilización de abonos producidos a partir de materias primas “limpias” procedentes de explotaciones ecológicas agrícolas y ganaderas.



Tabla 1 4 Métodos de valorización y reciclado del alperujo Fuentes: (Paredes. C referencia bibliográfica por la unidad temática 2 de la asignatura 2.2 RES ORG de origen agroindustrial)

Tratamiento/Aprovechamiento	Método	Fuente
Térmico	Combustión	<i>Cegarra Rosique y Paredes Gil (2008)</i>
	Gasificación	
Agricultura y ganadería	Alimentación animal	<i>Molina y col. (2001)</i>
	Enmienda orgánica	<i>Tejada y col. (1997)</i>
		<i>Saviozzi y col. (2001)</i> <i>Giráldez y col. (1999)</i>
Sustrato de cultivo de hongos comestibles	<i>Pardo Núñez y López Mondejar (2001)</i>	
Químico	Obtención de productos de alto valor añadido	<i>Ramos-Cormenzana y col. (2001)</i>
Biológico	Compostaje	<i>Amirante y Montel (1998)</i>
		<i>Madejón y col. (1998)</i>
		<i>Filippi y col. (2002)</i>
		<i>Baeta Hall y col. (2005)</i> <i>Alburquerque y col. (2006)</i>
Vermicompostaje	<i>Labrador y col. (2001)</i>	
Digestión anaerobia	<i>Cegarra Rosique y Paredes Gil (2008)</i>	

1.3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL COMPOSTAJE

El compostaje constituye un procedimiento adecuado de la valorización de los residuos orgánicos, incluyendo la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora. Este sistema de tratamiento de residuos orgánicos, reporta un beneficio ambiental ya que evita los riesgos de contaminación provocados por otras alternativas como, la incineración o el vertido y así facilitar un mejor aprovechamiento de la materia orgánica (Borja y col. 2004)

Los principales objetivos del proceso de compostaje son:

- Estabilización de la materia orgánica y la higienización, mediante la eliminación de patógenos y de las malas hierbas.
- Reducción del peso y volumen de los materiales que se van a compostar.

Con estos objetivos el uso agrícola del producto final obtenido, presentará efectos beneficiosos para el suelo y para los cultivos (Moreno-Casco y col., 2008)

1.3.1 Definición y etapas del proceso de compostaje

Podemos definir al compost como el producto que resulta del proceso de compostaje y maduración, constituido por una materia orgánica estabilizada semejante al humus, con poco parecido con la original, puesto que se habrá degradado dando partículas más finas y oscuras. Será el producto inocuo y libre de sustancias fitotóxicas, cuya aplicación al suelo no provocará daños a

las plantas y permitirá su almacenamiento sin posteriores tratamientos ni alteraciones (Costa y col.,1991).

El compostaje es un proceso biooxidativo controlado, en el que intervienen numerosos y variados microorganismos, que requiere una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, implica el paso por una etapa termófila y una producción temporal de fitotoxinas, dando como productos de los procesos de degradación, dióxido de carbono, agua y minerales, así como una materia orgánica estabilizada, libre de fitotoxinas y dispuesta para su empleo en agricultura sin que provoque fenómenos adversos (Costa y col., 1991).

El hecho de que sea biooxidativo exige una condición biológica, que hace al compostaje diferente tanto de los procesos físicos y químicos como todos aquellos que no se realicen de forma aerobia. Además, debe distinguirse el compostaje de todos aquellos procesos naturales sin control alguno, los cuales suelen desembocar siempre en anaerobiosis más o menos acusadas (Borja y col. 2004).

La conversión de la materia orgánica inicial, biodegradable, al estado de materia orgánica humificada (humus), realizada durante el compostaje, es un proceso microbiológico influido por la naturaleza de los organismos presentes, como bacterias, hongos y actinomicetos, fundamentalmente. Durante el proceso de compostaje tiene lugar una sucesión de predominio de diferentes microorganismos; en función de la influencia de determinados factores, como la naturaleza química del sustrato que está siendo digerido con mayor intensidad, el contenido de humedad, la disponibilidad de oxígeno, la temperatura, la relación C/N y el pH, ciertos microorganismos se multiplican más rápidamente que otros, predominando en el medio de fermentación acusadas (Borja y col. 2004).

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 en condiciones aerobias y el tipo de microorganismo que actúan son las siguientes (Chen e Inbar,, 1993):

1. **Etapa mesófila.** Al comienzo del proceso, la masa está a temperatura ambiente. A medida que la población de microorganismo se multiplica, la temperatura aumenta rápidamente. Es una etapa con 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 pH. La temperatura se eleva hasta los 40°C.
2. **Etapa termófila.** Alcanzados los 40 °C, la actividad mesófila cesa y se entra en una etapa termófila, en la que se distinguen dos fases:
 - 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 del ión amonio como producto de la degradación.
 - En una segunda fase, más lenta, hay un incremento mayor de la temperatura, alcanzándose una temperatura de 75 °C. En esta etapa se produce la destrucción de bacterias patógena, hongos y bacterias termofílicas. El aumento de la temperatura puede provocar pérdida de nitrógeno en forma amoniacal y el pH desciende ligeramente.
3. **Etapa de enfriamiento.** La temperatura desciende provocando la ralentización de la reacción y el calor generado es menos que el que se pierde. Al descender tanto la temperatura se recuperan las condiciones térmicas ambientales. El pH no sufre modificación apreciable.
4. **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 la etapa de maduración precisa de un período de tiempo más extenso que las etapas anteriores. Se detecta la presencia de sustancias dotadas de actividad antibiótica y la desaparición de patógenos.

1.3.2 Condiciones para el proceso de compostaje

Dado que el compostaje es un proceso biooxidativo y que depende fundamentalmente de la actividad microbiana, es de suma importancia controlar diferentes factores, que influyen en mayor o en menor grado, para conseguir la optimización de esta actividad. Estos factores están directamente relacionados con la naturaleza del sustrato o bien, con las condiciones de desarrollo del mismo. Tanto unos como otros aparecen tan íntimamente ligados entre sí, que es difícil de hacer una consideración individualizada. La **tabla 1.4** recoge las condiciones óptimas para llevar a cabo un proceso de compostaje.

La naturaleza del sustrato sobre el que actúan los microorganismos es otro factor relevante. Los principales residuos que se destinan a la producción de compost son de origen agrícola, ganadero, urbano (basuras y lodos), industrial y forestal.

Las características físicas, físico-químicas del sustrato que influyen en el compostaje son:

- A. El tamaño de las partículas, cuanto mayor sea la superficie expuesta al ataque microbiano, más rápido y completo será la reacción (mayor actividad química por unidad de masa). La experiencia demuestra que el tamaño debe de estar entre 1 y 5 cm de diámetro (Biddlestone y Gray,1991).
- B. La porosidad del sustrato, los sustratos con poca porosidad, como los lodos, purines, etc., es conveniente mezclarlos con otros materiales que confieran estructura apropiada para la aireación y la capacidad de retención hídrica, y que además serán preferentemente inertes, desde el punto de vista químico, con el fin de que no presenten reacciones simultáneas (Costa y col.,1991).
- C. La relación superficie/volumen de las partículas, esta relación tiene una influencia directa en la forma y la velocidad de degradación. La relación aire/agua en los intersticios de las partículas es igualmente importante; agua y oxígeno son indispensables para la actividad microbiológica y

cuando la proporción es menor del nivel crítico, el metabolismo y la respiración disminuyen y se paralizan (Costa y col.,1991).

- D. Relación C/N: los valores más recomendables de esta relación para un rápido y eficiente compostaje están comprendidos entre 25 y 35 (Saña y Soliva.,1987; Costa y col.,1991). Si la relación tiene valores menores se producen pérdida de nitrógeno en forma de amonio y si por el contrario, la relación inicial es elevada, el proceso se prolonga siendo necesaria la adición de nitrógeno para rebajarla.
- E. Contenido en nutrientes. Los microorganismos del proceso del compostaje precisan elementos esenciales para su nutrición, desarrollo y reproducción. Entre estos están algunos micronutrientes (boro, manganeso, zinc, cobre, hierro, molibdeno y cobalto) aunque en poca cantidad, pueden llegar a ser tóxicos a concentraciones altas. Estos elementos desempeñan un importante papel en la síntesis de enzimas, en el metabolismo de los microorganismos y en los mecanismos de transporta intracelular y extracelular (Biddlestone y Gray,1991).
- F. pH: se puede compostar materiales dentro de un amplio rango de valore de pH (3-11). No obstante, los comprendidos entre 5,5 y 8 son los que se consideran óptimos, ya que en general los hongos toleran un amplio margen de pH (5-8) mientras que, las bacterias tienen un margen más estrecho pH (6-7,5) (Costa y col.,1991).

Condiciones Ambientales: en este apartado se consideran aquellos parámetros cuya correcta evolución es necesaria para que se desarrolle adecuadamente el proceso de compostaje.

- A. Temperatura: este parámetro varía durante el proceso de compostaje marcando las diferentes etapas que nos determina el grado evolutivo del material compostado desde el punto de vista termodinámico, la biodegradación se desarrolla a través de un proceso global exoenergético, constituido por diferentes etapas, mesófila, termófila, de enfriamiento y de maduración se consideran óptimas las temperaturas del intervalo 35-55 °C,

ya que a temperatura más alta, los microorganismos mueren o se desactivan por encontrarse esporulados.

Por otra parte, la generación de temperaturas demasiado altas implica una mayor mineralización que conduce a la obtención de productos finales (Saña y Solvia, 1987).

- B. pH: la acidez inicial es la propia de los residuos a compostar y posteriormente desciende, para alcanzar y superar la neutralidad. En la etapa inicial del compostaje, los microorganismos actúan sobre la materia orgánica más lábil, liberando ácidos orgánicos que provocan el descenso del pH inicial. Posteriormente, debido a un aumento en la concentración del ión amonio el pH va aumentando. Conviene tener en cuenta que aumentos grandes en los valores de pH acompañados con elevadas temperaturas, supone la pérdida de nitrógeno en forma de amoniaco (Costa y col.,1991).
- C. Aireación: es imprescindible asegurar la presencia de oxígeno para el desarrollo del proceso de compostaje, pero siempre dentro de unos límites, ya que el exceso de aireación puede provocar el enfriamiento de la masa con la consiguiente disminución de la actividad microbiana. El nivel de oxígeno óptimo está dentro del intervalo 10-18% (Biddlestone y Gray,1991). El oxígeno no sólo es necesario para la respiración de los microorganismos y el metabolismo aerobio, sino también para oxidar algunas moléculas presentes en la masa a compostar.
- D. Humedad: los microorganismos necesitan cierta cantidad de agua para su metabolismo. El nivel óptimo de humedad está situado entre un 40 y 60%. La actividad microbiana se reduce considerablemente cuando el contenido en humedad está por debajo del 30%. Por debajo del 12% la actividad microbiana cesa y el proceso es extremadamente lento (Saña y Solvia,1987).

Tabla 1 5 Condiciones deseables durante el proceso de compostaje (Fermor, 1993; Rynk et al., 1992)

CARACTERÍSTICAS	RANGO RAZONABLE	RANGO ÓPTIMO
Relación C/N	20:1-40:1	25:1-30:1
Contenido de Humedad	40-65%	50-60%
Concentración de oxígeno	Mayor al 5%	Mayor al 5%
pH	5,5-9	6,5-8
Temperatura	45-66	55-60

1.3.3 Sistemas de compostaje

Los distintos sistemas de compostaje se diferencian en su nivel de complejidad, grado de control del proceso, método de ventilación empleado y que sean abiertos o cerrados. Los diferentes sistemas de compostaje se pueden agrupar en dos grandes tipos (Chica y García, 2008).:

Sistemas abiertos:

- a) **Compostaje en pilas estáticas:** formación de pilas de reducida altura, que se dejan sin movimiento. La aireación ocurre naturalmente a través del aire que fluye en forma pasiva a través de la pila. Puede producirse, en algunas zonas de la pila anaerobiosis, generando malos olores, gases y líquidos no deseables. Por esto se debe de tener especial cuidado en la realización de la mezcla inicial, eligiendo materiales que permitan tener una adecuada porosidad de la pila durante el proceso. Es un proceso lento y no permite la obtención de un producto de alta calidad.
- b) **Compostaje en pilas de volteo o en hileras:** el material se amontona en pilas alargadas al aire libre. El tamaño y la forma de las pilas dependerá del clima, material utilizado y la maquinaria disponible. Las pilas deben de ser

volteadas de forma regular, ya sea con maquinaria (volteadoras) o en forma manual.

c) Compostaje en pilas estáticas aireadas en forma pasiva: el material a compostar se dispone en pilas y su aireación se produce a través de una red de tuberías perforadas que están colocadas en la parte inferior de la pila. La altura recomendada de la pila es de 1 a 1,5 metros. Se coloca una cubierta porosa (turba) para permitir un flujo adecuado de aire y así se evita la emisión de olores, ya que la turba presenta afinidad por las moléculas que lo causan y controlar la humedad.

d) Compostaje en pilas aireadas forzosamente: a diferencia del anterior, en este sistema se utiliza un compresor que succiona aire hacia el exterior o lo inyecta al interior de la pila. Este tipo de compostaje necesita una serie de equipamientos, como un compresor, red de tuberías, válvulas y sistema de control de presión de aire, temperatura y humedad, por lo que tiene un alto valor económico.

Sistemas Cerrados:

a) **Compostaje en reactores:** se lleva a cabo en un contenedor o recipiente cerrado. La principal ventaja es su rápida velocidad de descomposición (10-14 días) y que se necesita poco terreno. Sin embargo, presenta un alto coste en la instalación y operación (Mathur,1991).

Por último, en la **Tabla 1.6** se indican las ventajas y desventajas de los distintos tipos de sistemas de compostajes.

Tabla 1 6 Ventajas y desventajas de los sistemas de compostaje (FAO, Stickelberger, D. 1975)

MÉTODOS DE COMPOSTAJE	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Pilas estáticas	<ul style="list-style-type: none"> - Una vez que la pila esta armada, necesitan volteos ocasionales para restaurar la porosidad - Bajos costos 	<ul style="list-style-type: none"> - Compostaje lento - Mayor riesgo de olores - Pilas deben ser pequeñas - Susceptibles a efectos climáticos.
Pilas de volteo o en hileras	<ul style="list-style-type: none"> - Permita el compostaje de un gran volumen de residuos. -La aireación permite un mejor secado y separación del material que las pilas estáticas 	<ul style="list-style-type: none"> - Susceptibles a efectos climáticos. - Requiere de una mayor cantidad de labores (volteos) - Problemas de olores. - Alta disponibilidad de terreno. - Alto costo en maquinarias
pasivamente	<ul style="list-style-type: none"> - No requiere de volteo - Menos costos que la de aireación forzada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Susceptibles a efectos climáticos. - No apropiada para materiales de fácil compactación - La mezcla inicial es crítica para mantener la aireación - Espacio para maquinarias.
forzadamente	<ul style="list-style-type: none"> - No se requiere de espacio para la maquinaria volteadora. - Menor tiempo de compostaje - Alcanza mayores temperaturas (muerte de patógenos) 	<ul style="list-style-type: none"> - En algunos casos seca demasiado la pila
Reactor	<ul style="list-style-type: none"> - No existe influencia climática. - Rápida descomposición. - Mejor calidad del producto final - Mejor uso del espacio 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto coste inicial y operacional.

1.3.4 UTILIZACIÓN DEL COMPOST

Antes de utilizar un compost, es necesario conocer su composición química concreta. Dicha información será muy útil para evaluar su idoneidad para un determinado uso y establecer las estrategias de gestión oportunas en un ámbito de aplicación específica.

Es necesario garantizar que los productos utilizados en la nutrición vegetal o en la mejora de las características del suelo cumplan con dos requisitos fundamentales:

1. Eficacia agronómica.
2. Ausencia de efectos perjudiciales para la salud y el medio ambiente.

La valorización agrícola de los materiales estabilizados mediante compostaje puede realizarse mediante diferentes vías, atendiendo a unos objetivos concreto, entre los que cabe diferenciar su uso como:

- Enmienda orgánica
- Sustrato de cultivo

Para cada uno de estos usos (Ansorena, 2013) habrá que atender de forma específica a los factores más determinantes de su eficacia, tanto los derivados de las características del compost como los asociados al escenario edafoclimático y los requerimientos de los cultivos o vegetación. Asimismo, se deberá tener en cuenta el marco legislativo y normativa aplicable en cada caso. Sea cual sea la valorización agrícola, prevista para el compost, su uso y aplicación deberá atenderse a las buenas prácticas agrícolas, tal y como indican en el RD 506/2013 y el RD 865/2010.

La evaluación de la aptitud de un compost para un determinado uso debe hacerse de forma integral, valorando todos los parámetros de forma conjunta (Iglesias y col., 2008; Masaguer y Benito, 2008; Huerta y col., 2010), dado que

el comportamiento del compost va a depender de la interrelación e interacción de estos parámetros con el escenario suelo-planta-atmósfera.

Uso como enmienda orgánica

Los efectos principales se asocian a la mejora general de la fertilidad física, química y biológica, resultantes del aumento o mantenimiento del nivel de sustancia húmicas. Este uso es muy conveniente en los suelos agrícolas dado que se ha observado un descenso progresivo de los niveles de materia orgánica que provoca paulatinamente una disminución de la fertilidad y un aumento de la erosionabilidad (Favoiono y Hogg, 2008).

Los programas de enmienda orgánica de corrección en los sistemas agrícolas se ejecutan generalmente a largo plazo, y consisten en realizar un conjunto de aplicaciones que permitirán un adecuado ajuste de las dinámicas biológicas y de fertilidad del suelo.

El uso del compost bien elaborado como enmienda orgánica es de elección frente a otros residuos orgánicos dado a su elevada estabilidad de la materia orgánica y de su contenido en sustancias húmicas (Soliva,2001). Además, la utilización del compost aplicándolo al suelo como enmienda disminuye el uso de fertilizantes inorgánicos y hace que parte del carbono que contiene la materia orgánica del compost se fije en el suelo.

La producción de fertilizantes minerales requiere tanto el consumo de energía como la extracción y utilización de materias primas que aumentan las emisiones de gases de efecto invernadero. El compost, por su contenido en nutrientes, no puede sustituir completamente a los fertilizantes minerales, si los puede reemplazar de manera parcial. De esta forma, puede conseguir una disminución de las emisiones de efecto invernadero de entre 4 y 82 kg CO₂ eq/t FORM (Boldrin y col., 2009)

Es de sumo interés conocer tanto el contenido en materia orgánica total del compost, como su contenido en materia orgánica resistente (MOR) que

rendirá sustancias húmicas al suelo y utilizar compost que tengan un contenido de nitrógeno orgánico y mineral bajo, y así evitar la contaminación por nitratos.

En la aplicación de fertilizantes en la agricultura de la comunidad valenciana, se tiene como límite para su aplicación el nitrógeno, debido a la contaminación de aguas subterráneas. Por ello desde la Unión Europea se lanzó la Directiva de Nitratos de la UE (2010), que es de obligado cumplimiento en todas las regiones de la unión y que fija un límite de kilos Nitrógeno total por hectárea que se puede aplicar de forma anual, siendo los 170 kg de nitrógeno por hectárea y año procedente de todos los insumos del cultivo, fertilizantes químicos, orgánicos y agua de riego.

Como explica el Apartado B de código de buenas prácticas: En las explotaciones agrarias situadas en zonas vulnerables cuando se aplique estiércol sin transformar o transformado (compost de estiércol) la cantidad de estiércol aportada al suelo por hectárea y año no superará la cantidad de producto que contenga más de 170 kilogramos de nitrógeno, pudiéndose complementar con otro nitrógeno mineral u orgánico por encima de esta cantidad hasta completar las necesidades del cultivo (Directiva UE nitratos, 2010).

La comunidad Andaluza, con amplia experiencia en el cultivo en olivo disponen de un código de prácticas desarrollado por caja rural, en el que proponen una aplicación anual de 3000 kg/ha año. Desde la Comunidad Valenciana en febrero de 2018 se ha lanzado ORDEN 10/2018, de 27 de febrero, de la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural, sobre la utilización de materias fertilizantes nitrogenadas en las explotaciones agrarias de la Comunidad Valenciana. [2018/2319] con un código de buenas prácticas en el Anexo II, que indica una cantidad entre 50 y 80 kilos de nitrógeno hectárea y año. La tabla mostrada a continuación surge de esta orden.

Tabla 1 7 Tabla VII orden 10/2018 Comunidad Valencia, que indica las enmiendas mínimas y máximas recomendadas para diferentes leñosos.

NECESIDADES DE NITRÓGENO DE LOS CULTIVOS LEÑOSOS (kg N/ha y año)			
<i>CULTIVO</i>	<i>SECANO</i>	<i>RIEGO INUNDACIÓN</i>	<i>RIEGO LOCALIZADO</i>
Algarrobo	50 - 60	-	-
Almendro	50 - 80	-	80 - 100
Citricos (1)	-	200 - 250	180 - 220
Frutales extensivos (2)	-	120 - 160	100-130
Frutales semi-intensivos (2)	-	160 - 200	130 - 160
Frutales intensivos (2)	-	200 - 240	160 - 190
Olivar	50 - 80	110 - 150	75 - 100
Olivar intensivo (3)	-	-	150 - 200
Viñedo vinificación	30 - 50	-	80 - 100

2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS



2. ANTECEDENTES Y OBJETIVO

El aumento de la actividad agroindustrial ha llevado consigo un incremento en la producción y acumulación de residuos orgánicos, en las últimas décadas. La perspectiva de que este crecimiento se detenga está avalada por las diferentes reglamentaciones y directrices vigentes, cuya finalidad última es reducir los impactos ambientales de la producción y gestión de los residuos así como minimizar las fuentes de contaminación orgánica para el medio ambiente. Una de las prioridades de la política de medio ambiente de la UE es precisamente la gestión de los residuos generados. Éstos no sólo son una fuente potencial de contaminación, sino que pueden llegar a ser un valioso recurso secundario.

En este sentido, las políticas nacionales para los suelos contaminados en España están regulados en la Ley 22/2011, de 28 de julio, de Residuos y suelos contaminados y en el Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. Los aspectos esenciales recogidos en ambas normas son:

- Impedir que se generen residuos
- Recuperar los residuos generados
- Eliminación segura de residuos

Por otra parte, los suelos del sudeste mediterráneo español caracterizados por ser deficientes en materia orgánica debido a un clima que presenta bajas precipitaciones y elevadas temperaturas, haciéndolos vulnerables a la degradación. Con la aplicación de residuos orgánicos al suelo se puede ralentizar la degradación de dichos suelos y aumentar el contenido de materia orgánica de los mismos además de favorecer el crecimiento de una capa vegetal.

En este sentido diferentes materiales de origen muy diverso se están generando en diferentes actividades ligadas al hombre y su estilo de vida, que tienen consideración de residuos o subproductos, pero que, en todo caso, tienen una naturaleza mayoritariamente orgánica. La posibilidad cierta de que estos materiales de naturaleza orgánica puedan ser utilizados en la agricultura viene avalada por la actividad preindustrial agrícola, donde materiales residuales como los estiércoles constituían la única fuente de fertilidad para los suelos agrícolas.

Con posterioridad y durante un largo periodo han caído en desuso a favor de la utilización de fertilizantes inorgánicos de síntesis o minerales. Sin embargo en los últimos años este desequilibrio entre la fertilización orgánica tradicional a base de materiales ahora considerados residuos frente a la fertilización inorgánica se está invirtiendo, con el fin de paliar los efectos negativos que están generando el mal uso de estos fertilizantes inorgánicos sobre la agricultura, asociados a la dosificación abusiva, la contaminación del medio y especialmente de los acuíferos, a la salinización de los suelos, a la pérdida de propiedades físicas, etc.

Estos materiales residuales o subproductos de naturaleza orgánica se generan en todos los sectores de actividad, si bien en el sector primario (agricultura y ganadería) y en las actividades de transformación asociadas a estas áreas (Industria agroalimentaria), es donde son cuantitativamente más importantes. Estos residuos de alto porcentaje en materia orgánica pueden ser un aporte importante para los suelos pobre en materia orgánica, como los de la zona del sureste español.

El compostaje de los residuos orgánicos generados en las zonas rurales de forma directa o indirecta, como una alternativa para el reciclado y aprovechamiento de los mismos, es interesante no solo porque reduce el volumen de estos residuos sino también porque el compost obtenido puede utilizarse con fines agrícolas, recuperándose y aprovechándose así la materia orgánica y los nutrientes contenidos en dichos residuos.

Por tanto, en este ensayo nos planteamos como objeto principal, el estudio de la valorización mediante co-compostaje de residuos de Industria Agroalimentaria oleícola, alperujo fresco y hoja de olivo con la adición de gallinaza, mediante pila móvil con ventilación natural y con volteos periódicos, con el fin de obtener un producto final estabilizado, humificado y con valor añadido. Para ello, se establecen los siguientes objetivos concretos:

- Desarrollo de un proceso de compostaje controlado mediante el sistema de pila abierta móvil, donde los componentes de la mezcla a compostar siguen las proporciones habitualmente empleadas por la almazara: 34% alperujo fresco, 33% hoja de olivo y 33% gallinaza.
- Seguimiento de los parámetros indicadores del proceso de compostaje, a nivel de temperatura, humedad y aireación.
- Estudio de la evolución de características fisicoquímicas y químicas de la mezcla de residuos a lo largo del proceso de compostaje así como del producto final obtenido (compost).
- Propuesta de fertilización del compost producido a partir de los resultados obtenidos y la legislación vigente.

3. MATERIAL Y MÉTODOS



3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

En este trabajo experimental se plantea como objeto principal “la valorización por co-compostaje mediante pila móvil con ventilación natural y por volteos periódicos, del alperujo, subproducto que se obtiene en la elaboración del aceite por el método de centrifugado de 2 fases o ecológico en la Almazara “Travadell”, Millena (Alicante), de la hoja de olivo obtenida del cribado de la materia prima y de la gallinaza, producto exógeno procedente de una explotación avícola de la comarca del Comtat (Alicante), con el fin obtener un producto final estabilizado, humificado y con valor añadido. Se ha realizado un seguimiento y asesoramiento durante el proceso.

Este trabajo está incluido en el proyecto Agrocompostaje que es una iniciativa de la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural de la Generalitat Valenciana y la Universidad Miguel Hernández de Elche para desarrollar un entorno integral a largo plazo de investigación, experimentación y transferencia en Compostaje. Incluye acciones de formación, acompañamiento y demostración.



Para conseguir el objetivo principal del presente trabajo, se ha ensayado con una pila abierta de con una sección de 3 x 1,8 metros (figura 3.1), a base de alperujo procedente de la almazara del propietario y estiércol de gallinaza

de broiler/carne de una explotación cercana, los materiales fueron transportados a la solera y mediante un tractor con pala se realizó, mezcló y volteó el compost, los riegos se realizaron mediante cuba de 6000 litros de forma periódica y volteos fueron mensuales.

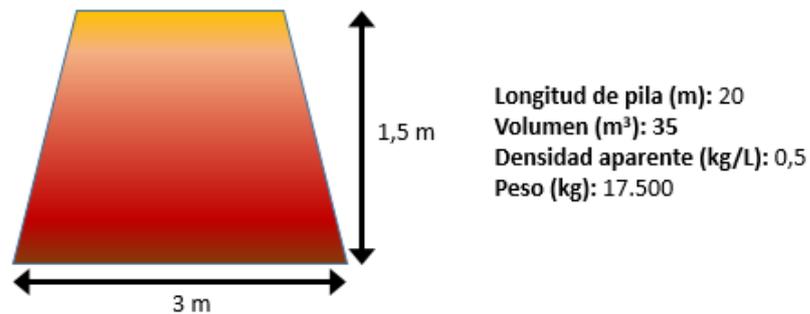


Figura 3 1 Tamaño, volumen y dimensiones de la pila.

Para ello, se estableció el siguiente diseño experimental, dividido en 4 fases:

Fase 1: Caracterización inicial de los residuos a compostar.

Fase 2: Establecimiento de la mezcla a compostar.

Fase 3: Desarrollo de un sistema de compostaje mediante el sistema pila móvil en hilera.

Fase 4: Análisis de las características físico-químicas y químicas de los materiales a compostar a lo largo del proceso, así como del producto final obtenido.

Fase 1: Caracterización inicial de los residuos a compostar

Se pretende conocer la naturaleza de los residuos que van a intervenir en el proceso de co-compostaje, con el fin de establecer con posterioridad una estrategia de compostaje adecuada en función de la tipología de estos

materiales. En nuestro ensayo se caracterizaron 3 materiales distintos. La tabla 3.1 recoge imágenes de las materias primas.

- **Alperujo:** Se trata de un residuo procedente de la centrifugación de 2 fases del aceite de oliva, en almazara. Los alperujos tienen buenas propiedades desde el punto de vista agronómico por sus contenidos (NPK) y MO, pudiendo ser utilizados como enmienda orgánica. El alperujo utilizado procede de la extracción de aceite de la “Almassera de Millena”. La almazara tiene un sistema de extracción de aceite por centrifugación dado lugar a 2 residuos, el alperujo y por otro lado aguas de lavado con una composición similar al alpechín.
- **Hoja de olivo:** Procedente del cribado, acción de separar los impropios de la oliva, estos impropios están formados principalmente por hojas, ramas de pequeño tamaño, pequeñas piedras y frutos. La problemática de este residuo es la poca densidad aparente que tiende a encarecer el transporte para su gestión, pero como estructurante en el compostaje hace buena función.
- **Gallinaza:** Proviene de una granja avícola de un municipio cercano, la explotación produce pollos de engorde con aptitud cárnica y la cama que emplean es cascara de arroz. En la mezcla a compostar proporciona aireación, así como nutrientes (Beloso; 1991).

Tabla 3 1 Materiales iniciales: alperujo y hoja de olivo



Hoja de olivo



Alperujo



Gallinaza de cama de cascara de arroz

Muestreo de los materiales iniciales:

La materia utilizada para la elaboración de las mezclas que se incorporan a la pila se ha transportado desde la almazara hasta una superficie compactada en la propiedad del agricultor, en el municipio de Millena, al norte de Alicante.

El material transportado en camión reparte los materiales alineando los tres materiales uno al lado del otro, formando 3 hileras de 20 metros de longitud, dejando la hoja y la gallinaza a los lados y el alperujo en el centro de tal manera que el agua que pierde el alperujo sea absorbida por el estructurante que lo rodea.

Cada material se muestreo por separado tomando submuestras a diferentes alturas y profundidades del montón de acopio para obtener una muestra representativa, que se homogeneizó para obtener una muestra final, mediante el método del cuarteo, para su análisis que se realizó por duplicado.

Fase 2: Establecimiento de la mezcla a compostar

Debido a la propia naturaleza del proceso de compostaje, es necesario que la mezcla a compostar posea una serie de características a nivel físico, físico-químico y químico que condicionan el proceso. Por eso, a la hora de elaborar la pila de compostaje nos planteamos como objetivos básicos la obtención de una adecuada Humedad, Porosidad y Relación C/N en la mezcla inicial.

En el caso de este ensayo la mezcla a realizar es la propuesta por el agricultor el cual lleva realizando esta mezcla desde hace varios años.

Fase 3: Desarrollo del sistema de compostaje en hilera volteada

Una vez establecida la mezcla con las condiciones óptimas iniciales en función de nuestros objetivos, se desarrolla el sistema de compostaje en hilera volteada de 20 metros, donde se controlan las condiciones de entorno a nivel de aireación, temperatura y humedad en las que deberá estar comprendida la mezcla a compostar en el sistema. La aireación se controla mediante volteos periódicos mediante el volteo de la pila y procediendo a la mezcla de sus materiales y la temperatura con mediciones periódicas tomadas por el propietario, persona encargada de realizar la toma de datos y el seguimiento.

Tabla 3 2 Desarrollo del ensayo

Desarrollo del ensayo



Disposición de las materias primas, de izquierda a derecha, gallinaza, alperjo y hoja de olivo



Imagen posterior a la volteo (T=4 días)



Corte vertical en el centro de la pila para tomar muestra representativa



Toma de muestras por parte del agricultor participante



Maduración de la pila (T=180 días)



Tractor con pala empleado para montar la pila, realizar los volteos y transportar la cuba de agua.

Fase 4: Análisis de las características fisicoquímicas y químicas de los materiales a compostar a lo largo del proceso, así como del producto final obtenido (compost).

En las muestras de los materiales iniciales se determinó:

- Humedad
- pH
- Conductividad eléctrica
- Materia orgánica
- Nitrógeno total
- Relación C/N Carbono hidrosoluble
- Polifenoles solubles
- Contenido de P, K, Ca y Na

Se estudia la evolución de la mezcla a lo largo de todo el proceso, desde el inicio hasta que se obtiene el compost maduro. Esto se hace mediante el estudio de diferentes parámetros indicativos del proceso:

- Asociados al propio proceso de compostaje: temperatura, altura y volumen de la pila.
- Asociados a la evolución de la materia orgánica: materia orgánica, carbono orgánico, pérdida de la materia orgánica y relación entre el carbono orgánico total y el nitrógeno total, carbono extraíble, carbono de ácido húmico y carbono de ácido fúlvicos.
- Asociados a la evolución de contenidos nutrientes como NPK y de Na en el compost, de interés para la nutrición vegetal nivel agronómico.

- Asociados a la evolución de la fracción hidrosoluble: pH y conductividad eléctrica.
- Asociados a la madurez del compost: capacidad de intercambio catiónico e índice de germinación.

3.1.1. Características de los residuos utilizados

La producción de alperujo se produce durante otoño-invierno, las opciones que tiene el propietario para su gestión son dos, su envío a una orujera o bien su empleo como ingrediente para compostar, por lo que es necesario un almacenamiento y acondicionamiento, que se realiza en una solera impermeabilizada, donde pierde agua principalmente. Las características del alperujo no varían en exceso de una variedad de oliva a otra, por otro lado, el proceso de extracción del aceite empleado si hace variar el residuo obtenido. Las características de los materiales utilizados en el proceso de co-compostaje ensayado se muestran en la **Tabla 3.3**.

Tabla 3.3 caracterización de las materias primas a ensayar.

Propiedades	Alperujo	Hojarasca olivo	Gallinaza
Humedad (%)	42,9	10,4	19,9
Materia seca (%)	57,1	89,6	80,1
D aparente (kg/L)	0,614	0,068	0,266
pH (ud pH)	6,14	6,02	7,52
Cond Eléctrica (dS/m)	4,25	2,3	5,85
Materia orgánica totalMOT (%)	93,9	87,2	76,5
Nitrógeno total, NT (%)	1,5	1,5	3,0
Carbono total, CT (%)	55,7	47,8	37,9
Relación CT/NT	37,1	31,8	12,6
Fósforo total, P total (g/kg)	1,26	1,10	11,4
Potasio total, K total (g/kg)	25,82	11,5	27,3
Sodio total, Na total (g/kg)	2,88	1,34	1,34
Polifenoles (mg/l)	9.278	7.463	5.657

Respecto a la **humedad**, el alperujo utilizado en este ensayo presenta humedad media como corresponde a este tipo de materiales una vez se han dejado sobre solera secándose al sol (42,9 %), mientras que la hoja de olivo y la gallinaza son unos materiales con menor contenido en humedad. En este aspecto estos materiales se complementan de cara al proceso de compostaje, aunque habrá que aportar agua para que la mezcla alcance la humedad óptima. El nivel óptimo de humedad para la actividad de los microorganismos está situado entre un 40 y un 60% (Stentiford, 1996). Cuando la humedad es excesiva y la biodegradabilidad moderada, puede ocurrir que el calor producido biológicamente en el proceso de compostaje sea insuficiente para las dos funciones principales de evaporar agua (la del sustrato y la formada en el proceso) y la de calentar la masa a temperaturas termófilas para su higienización. El alperujo y la hoja de olivo tienen un **pH** ligeramente ácido, que se compensa con la gallinaza, que es ligeramente básica. El pH no es un factor clave en el proceso de compostaje, ya que la mayoría de materiales están dentro del rango adecuado, (5,5-8,0) (de Bertoldiet al., 1983; Miller, 1992), sin embargo, es relevante para el control de las pérdidas de N por volatilización de amoníaco, lo cual puede ser particularmente alto a $\text{pH} > 7$. Estos materiales presentan un **contenido salino** moderado, algo superior en el caso de la gallinaza y el alperujo, en el caso de gallinaza la salinidad se debe a las deyecciones, mientras que en el caso de alperujo, esta pasta es una concentración del fruto, con las sales presentes en el tejido vegetal concentradas tras la extracción del aceite. Las sales tienden a concentrarse durante el proceso de compostaje por lo que será un factor a tener en cuenta en el compost final de cara a su uso agrícola.

Los materiales presentan altos contenidos en **materia orgánica**, cercanos al 90% para el alperujo y la hoja de olivo y del 76% para la gallinaza, siendo también elevados los contenidos en carbono orgánico, 55,7% para el alperujo, 47,8 para la hoja de olivo y 37,9% para la gallinaza. Respecto a la **relación C/N** esta suele ser bastante alta en los alperujos en comparación con otros residuos orgánicos. Cuando la relación C/N al inicio del compostaje superior a la óptima (25-35), las pérdidas de nitrógeno en forma de emisiones de amoníaco suponen una pérdida del valor agronómico de los residuos, además de ser una fuente de contaminación. Durante el compostaje estas pérdidas son prevenibles con un

ajuste adecuado de la relación carbono/nitrógeno (C/N) en la mezcla inicial, así nos aseguramos de que el nitrógeno permanece en el compost. En los residuos analizados la relación C/N es mucho menor en la gallinaza. El **contenido de nutrientes** N y P es mayor en la gallinaza, mientras que el contenido de K es mayor en el alperujo y la gallinaza con concentraciones por encima de 2,5%. El **contenido en Na** es superior en el alperujo que en la hoja de olivo y gallinaza.

3.1.2. Dispositivo de compostaje utilizado

El proceso de compostaje objeto de este estudio se ha desarrollado en una finca situada en Millena, provincia de Alicante propiedad del dueño de la almazara, sobre suelo compactado no impermeabilizado.

El suelo se ha acondicionado de tal manera que este lo más compacto posible y así evitamos que durante el trabajo con los materiales iniciales y futuros volteos se mezcle suelo de más, se ha dispuesto una superficie llana y amplia para que la maquinaria pueda moverse y trabajar sin problemas. Como maquinaria se empleó un tractor con pala hidráulica para el montaje y volteos, y el riego se realizó mediante una cuba de 6000 litros.

Para el monitoreo de la temperatura se entregó un termómetro al propietario del terreno de tal manera que el propietario tome las temperaturas de forma periódica 3 veces a la semana, semanalmente las medidas realizadas se envían al equipo UMH, en cargo del proyecto de Agrocompostaje para su análisis y posterior toma de decisiones como volteos y riegos.

La ventilación será natural por convección propia creada por el calor emitido de la pila que al ascender crea un vacío en la base de la pila que es llenado por el aire frío que circunda la pila.

3.2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En este apartado se comentan todos los procesos y pasos seguidos para la realización del proceso de compostaje, su seguimiento analítico a lo largo del tiempo de experimentación, así como los procesos previos para la preparación de la mezcla a compostar. Por ello se comenta este desarrollo experimental en diferentes pasos:

1. Preparación de la mezcla a compostar.
2. Seguimiento del proceso de compostaje.
3. Muestreo del material, volteos y otras operaciones realizadas.

3.2.1 Cálculo y preparación de la mezcla

Para realizar este ensayo, se planteó como objetivo encontrar la proporción adecuada de los ingredientes a co-compostar de, alperujo, hoja de olivo y gallinaza, que permitan un buen desarrollo del proceso para la obtención de un compost de calidad. Uno de los requisitos es que las mezclas tengan una relación C/N entre 25 y 35, rango ideal para el buen desarrollo del proceso. Para ello se calcularon las cantidades necesarias a mezclar ((Alperujo) + (Hoja de olivo) + (gallinaza)) para alcanzar dicho objetivo. Este proceso se realizó utilizando las expresiones:

$$\text{Ecuación (1)} \quad P = A + B + C$$

$$\text{Ecuación (2)} \quad C/N = \frac{(A * \% C_A * \% MS_A) + (B * \% C_B * \% MS_B) + (C * \% C_C * \% MS_C)}{(A * \% N_A * \% MS_A) + (B * \% N_B * \% MS_B) + (C * \% N_C * \% MS_C)}$$

P = Peso total de la pila, en kg.

A = Peso del componente A, en kg.

B = Peso del componente B, en kg.

C = Peso del componente C, en kg.

CA, CB, CC = Carbono de componente A, B y C, respectivamente.

NA, NB, NC = Nitrógeno de componente A, B y C, respectivamente.

MS = Materia seca.

Empleando el programa gratuito que ofrece el “Cornell Waste Management Institute” se puede establecer la relación C/N esperada para una compost ternario, introduciendo los datos de humedad, peso fresco, y los porcentajes de carbono y nitrógeno de las materias primas.

Una vez realizados los análisis previos e introducidos los datos en el programa, la relación C/N esperada para esta mezcla de compost es 24,3 (tabla 3.4) muy cercana al rango óptimo 25-35, lo que nos indica el proceso se desarrollará de forma adecuada siempre que se establezca un buen control.

Tabla 3 4 Cálculo de la relación C/N mediante el programa del instituto Cornell.

Ingredient	% H2O	Weight	% Carbon	% Nitrogen	C/N Ratio
Hoja Olivo MP51	10.4	7.2	47.8	1.5	
Alperujo MP52	42.9	64.8	55.7	1.5	
Gallinaza MP53	19.9	28	37.9	3	
				Result:	24.30382388911

En la **Tabla 3.5**, se expone la proporción de cada componente en la mezcla, en peso fresco, peso seco volumen. Una vez establecidos los porcentajes de mezcla de los residuos sujetos a compostaje por el agricultor, se procedió al muestreo de los residuos, para su posterior caracterización inicial, la descarga de los tres residuos en paralelo y su posterior homogeneización, se realizaron una tanda de mezcla equivalente a un camión de 12 m³. El proceso de elaboración se realizó según la siguiente secuencia: una vez dispuesto los materiales estos se mezclan y se homogeneiza la mezcla y se le realizan tres movimientos laterales, adicionando una cantidad de agua equivalente a 6.000 litros a los 20 días.

Tabla 3 5 Relación en materia fresca, materia seca y volumen del compost propuesto.

Pila	Alperujo	Hojarasca olivo	Gallinaza
GVA 9	Sobre materia fresca (% S.M.F.)		
	64,8	7,2	28,1
	Sobre materia seca (% S.M.S.)		
	56,8	9,8	34,1
	Sobre volumen de materia fresca (% VOL)		
	33	33	33

3.2.2. Seguimiento del proceso de compostaje

- ▶ El seguimiento del proceso consistió fundamentalmente basado en el control de la temperatura y aireación mediante volteos.
- ▶ Las pilas se muestrearon a los 0 días (inicio de compostaje), a los 150 días (final de biooxidativa) y a los 180 días (final de maduración).
- ▶ Se realizaron 6 volteos, con la finalidad de homogeneizar el material y reactivar la temperatura de las pilas.
- ▶ La fase biooxidativa del compostaje se consideró finalizada cuando la temperatura se comenzó a descender siguiendo a la del ambiente y no hubo reactivación tras el volteo (día 150).
- ▶ Los compost se dejaron madurar durante un periodo de 1 mes.

Tabla 3 6 Calendario de seguimiento del proceso de compostaje

OPERACIÓN	GVA 009	Observaciones
Montaje de la pila	01/06/2017	Empleo de tractor con pala.
Toma de muestras iniciales	03/06/2017	Muestra integrada de 4 submuestras
Volteo de la pila	06/06/2017 (T = 4)	Procedimiento mediante pala mecánica
Riego	21/06/2017	Mediante cuba de 6.000 litros
Volteo de la pila	26/06/2017 (T=24)	Procedimiento mediante pala mecánica
Riego	06/07/2017	Mediante cuba de 6.000 litros
Toma Humedades	14/07/2017	Muestra integrada de 4 submuestras
Volteo	24/07/2017 (T=52)	Procedimiento mediante pala mecánica
Riego	26/07/2017	Mediante cuba de 6.000 litros
Medición O ₂	02/08/2017	Mediante lanza con sonda de O ₂
Riego	11/08/2017	Mediante cuba de 6.000 litros
Volteo	24/08/2017 (T=83)	Procedimiento mediante pala mecánica
Riego	28/08/2017	Mediante cuba de 6.000 litros
Toma de muestras fin f. biooxidativa	17/11/2017 (T=125)	Muestra integrada de 4 submuestras
Toma de muestras fin f. maduración	18/12/2017 (T=136)	Muestra integrada de 4 submuestras

3.2.3. Muestreo del material, volteos y otras operaciones realizadas.

- ▶ Cada muestra de compostaje se formó a partir de 3 submuestras tomadas de 6 sitios diferentes de la pila, considerando todo el perfil, mediante un corte vertical en el centro de la pila a fin de obtener todo el horizonte (desde la parte superior hasta la parte inferior de la pila).
- ▶ Las muestras se secaron al aire y se molieron a 0,5 mm para su análisis.
- ▶ Las pilas se muestrearon a los 0 días (inicio de compostaje), a los 150 días (final de biooxidativa) y a los 180 días (final de maduración).
- ▶ Las pilas se voltearon seis veces desde el inicio. Los volteos se realizaron mediante tractor con pala, homogeneizando y desplazando el material hacia uno de los lados recolocando el material sobre la misma línea.
- ▶ En los materiales iniciales se analizó la humedad, el pH y la conductividad eléctrica, la materia orgánica, carbono orgánico total, polifenoles, nitrógeno total, fósforo, sodio y potasio. Todos los análisis se realizaron por duplicado.

- ▶ En las muestras de compostaje se determinó el pH y la conductividad eléctrica en el extracto acuoso 1:10 (w/v), materia orgánica, carbono orgánico total y el nitrógeno total, capacidad de intercambio catiónico, fósforo, sodio, potasio y también se determinó el índice de germinación (IG), carbono extraíble, carbono de ácido húmico y carbono de ácido fúlvicos. Todos los análisis se realizaron por duplicado.

3.3 MÉTODOS ANALITICOS

□ **Preparación de la muestra**

Las muestras de compost, una vez secas a 105 °C se muelen en un molino y se tamizan a través de una malla de 0,5 mm de luz.

□ **Humedad original**

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

□ **Materia orgánica**

En compost, se toma como "materia orgánica" la pérdida de peso por calcinación a 430 °C. Se determina según el método de Navarro y col. (1993). La pérdida de peso se expresa como porcentaje respecto a peso de muestra seca.

□ **Medida del pH**

El pH se mide sobre la suspensión acuosa obtenida por agitación mecánica durante 2 horas de la proporción 1:10, sólido/líquido. La medida se realiza con un pH-metro.

□ **Conductividad eléctrica**

Se determina sobre la suspensión acuosa anterior, previamente centrifugada y filtrada, con un conductímetro.

□ **Capacidad de Cambio Catiónico (CCC)**

El método de determinación de la CCC se basa en la saturación del complejo de cambio con bario y determinación del catión retenido por diferencia con un blanco (Lax y col., 1986).

□ **Carbono orgánico total y nitrógeno total**

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

□ **Polifenoles**

Se determinan los polifenoles solubles mediante extracción acuosa en relación 1:20 mediante la modificación del método Folin (Beltrán y col., 2000).

□ **Mineralización de la muestra**

Digestión nítrico-perclórica de los compost, según el método recomendado de Abrisqueta y Romero (1969).

□ **Fósforo total**

Se determina por medida espectrofotométrica de la intensidad de coloración amarilla producida por el complejo fosfovanadato molibdato amónico (Kitson y Mellon, 1994), obtenido sobre una fracción del extracto de mineralización.

□ **Sodio y potasio**

Estos elementos se midieron en disoluciones adecuadas del extracto de mineralización, mediante fotómetro de llama.

□ **Índice de germinación (IG)**

El índice de germinación (IG) fue determinado usando semillas de *Lepidium sativum* L. (Zucconi et al., 1985). Se determina a partir de los porcentajes de semillas germinadas y longitud de las raíces de semillas *Lepidium sativum* L., incubadas en un extracto acuoso de compost.

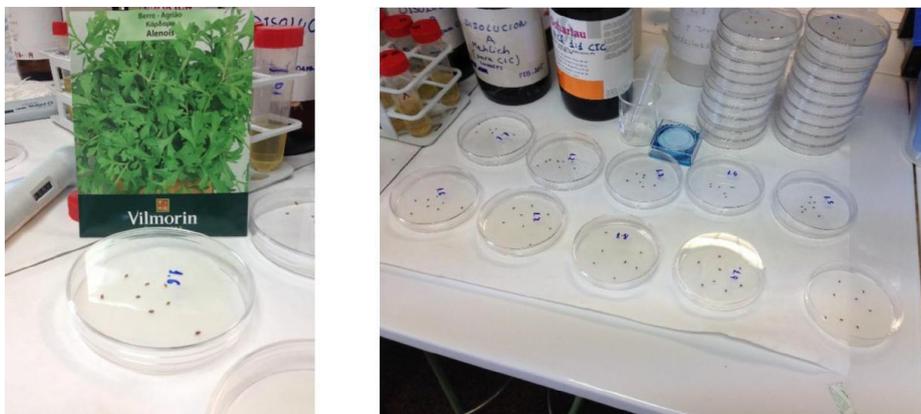


Figura 3 2 Material usado en la determinación del índice de germinación., semillas de *Lepidium Sativum*.

3.4. MÉTODOS ESTADÍSTICOS

El tratamiento estadístico aplicado a los datos obtenidos se realizó mediante un análisis estadístico multivariante de doble vía donde se estudiaron las diferencias entre tratamientos plantados, considerando:

- El tiempo de compostaje como variable estadística ($t=0$, $t=150$, y $t=180$ días).



4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EVOLUCIÓN DE FACTORES RELATIVOS AL PROPIO PROCESO DE COMPOSTJE:

TEMPERATURA Y DENSIDAD APARENTE DE LAS PILAS.

Temperatura

La temperatura es el parámetro más utilizado para seguir la evolución del proceso de compostaje, ya que su medida es directa e instantánea y puede hacerse de manera continua. La temperatura de la pila es el reflejo de la actividad microbiana que determina el proceso y, por tanto, su seguimiento permite detectar cualquier posible alteración del mismo. De este modo, una disminución de este parámetro será indicativo de un descenso en la actividad microbiana, que puede deberse a la falta de aireación, a un contenido insuficiente de agua o a la escasez de elementos nutritivos en el medio, mientras que un aumento de temperatura debe interpretarse como un buen desarrollo del proceso aeróbico.

El compost atraviesa diferentes fases, que suelen repetirse con cada volteo realizado. Después de cada volteo, se produce normalmente un aumento de temperatura, asociado a la fermentación del material externo de la pila. Esto es debido a la reactivación de los microorganismos que disponen de nuevos principios inmediatos para su metabolismo al homogeneizar la masa mediante el volteo, procedentes de la capa superficial y de la zona cercana a la ventilación de la pila y que prácticamente no habían sido degradados a causa de la escasa humedad de los materiales en la zona periférica de la pila, o por el enfriamiento de la masa al aplicar la ventilación no se puede llevar a cabo (Stentiford y col., 1985). Estas secuencias de variación de temperatura generan cada vez un menor incremento de temperatura debido a la presencia cada vez menor de

materia orgánica de fácil descomposición, que es en la que se basa el aumento de microorganismos no especializados

En la **Figuras 4.1**, se muestra la evolución de la temperatura la pila elaborada a base del alperujo, hoja de olivo y gallinaza, durante el proceso de compostaje de la mezcla, la temperatura ambiental, así como los días en los que se realizaron los volteos a la pila. En a **Tabla 4.1**. se muestran diversos parámetros térmicos del proceso.

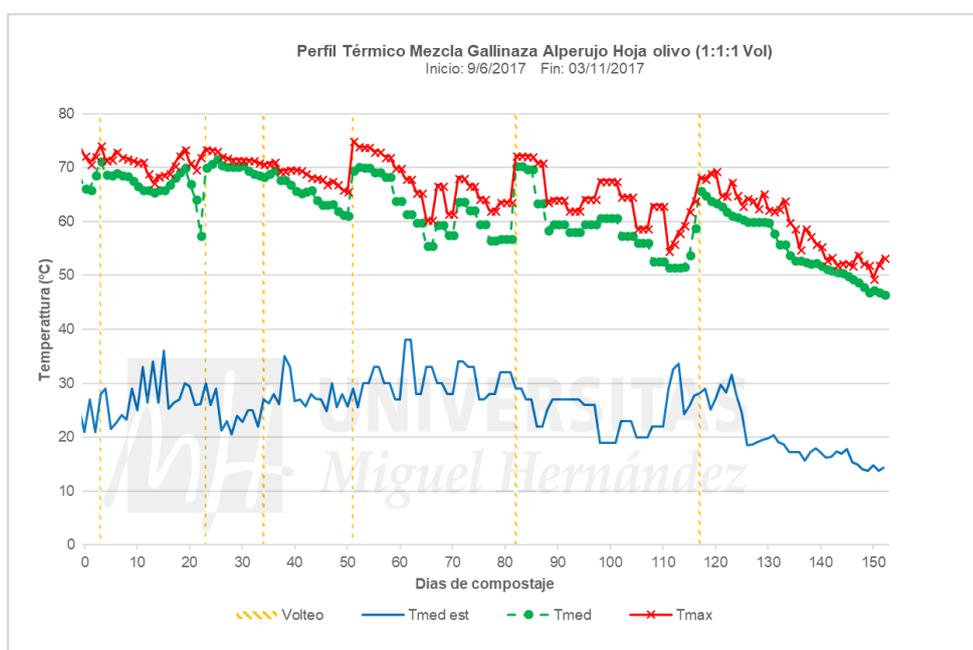


Figura 4.1. Evolución de la temperatura de las pilas (en °C), durante el proceso de compostaje.

Según se observa en la **Figura 4.1**, y en la **Tabla 4.1**, la fase biooxidativa del proceso de compostaje desarrollado se prolongó durante 154 días, debido a la gran cantidad de materia orgánica disponible en la pila. La fase biooxidativa se detiene a los 154 días, para no reducir el porcentaje en materia orgánica del compost final por debajo del 35 %, porcentaje mínimo por la legislación para que la enmienda se considere compost. La temperatura máxima fue de 71,1 °C y la promedio de 61,6 °C.

Los diferentes volteos realizados sirvieron para homogeneizar la masa, suministrar oxígeno al proceso y reactivar así el proceso microbiano, al disponer de nuevo de compuestos orgánicos fácilmente biodegradables (Stentiford, Mara, y Taylor 1985).

Se realizaron 6 volteos después de cada volteo se produjo un incremento de la temperatura, llegando a alcanzarse los valores iniciales. La disminución de la temperatura se produjo en el volteo nº5, esta disminución fue paulatina. Se realizó un volteo más a los 153 días no observándose incrementos significativos de la temperatura de la mezcla respecto de la ambiental, con una curva de descenso a la que sigue a la temperatura ambiente dándose por concluida la fase biooxidativa a los 154 días.

En la **Figura 4.2**, se muestra la evolución térmica acumulada de las pilas expresadas se establece mediante el índice EXI² (sumatorio cuadrático de la diferencia diaria entre la temperatura promedio de la pila y la temperatura ambiente durante la fase bio-oxidativa) nos sirve para obtener un valor absoluto que incluye la exotermia de la pila y nos permite comparar pilas y tratamientos y sistemas de compostaje en mismas condiciones (similar tamaño), son los datos más representativos de la evolución térmica que sufren los compost. El Índice EXI²/días bio-oxidativa nos indica el incremento promedio diario en cada escenario, informándonos de la compostabilidad del material o materiales y del sistema operacional. Los valores obtenidos están relacionados con el origen y composición del material, el cual influirá en la actividad microbiana del compost, repercutiendo en la temperatura de la pila y su valor final EXI²/día. En este proceso el valor del índice EXI² y de la ratio EXI²/días bio-oxid fueron elevados, indicando una exotermia intensa y prologada en el tiempo. Vico y col., (2018) aportaron valores de índice EXI² y de la ratio EXI²/días bio-oxid inferiores para procesos con residuos de palmera y lodo EDARI (de la depuración de las aguas residuales de la industria agroalimentaria). El Ratio EXI²/días f. bio-oxid. de 1671 (T max⁰C) valor elevado comparado con los ensayos realizados por Perez-Murcia y col., (2016) con valores inferiores a los 1500 (T max).

Tabla 4 1 Parámetros térmicos del proceso de compostaje GVA 9 .

Parámetro	GVA 9
	Alperujo 34%- Hoja de olivo 33%-Gallinaza 33% (% vol)
Días fase biooxidativa	154,0
Nº Días F.Bio-oxid/ >40°C	154,0
Nº Días F.Bio-oxid/ >50°C	147,0
Nº Días F.Bio-oxid/ >55°C	127
Nº Días F.Bio-oxid/ >60°C	91,0
Temperatura máxima pila	71,7
Temperatura promedio pila	61,6
Temperatura mínima pila	46,6
Nº Días >40°C/ Días fase biooxidativa	1,00
Índice EXI ² (°C ²)	257387
Ratio EXI ² /días f. bio-oxid. (Tmax)	1671

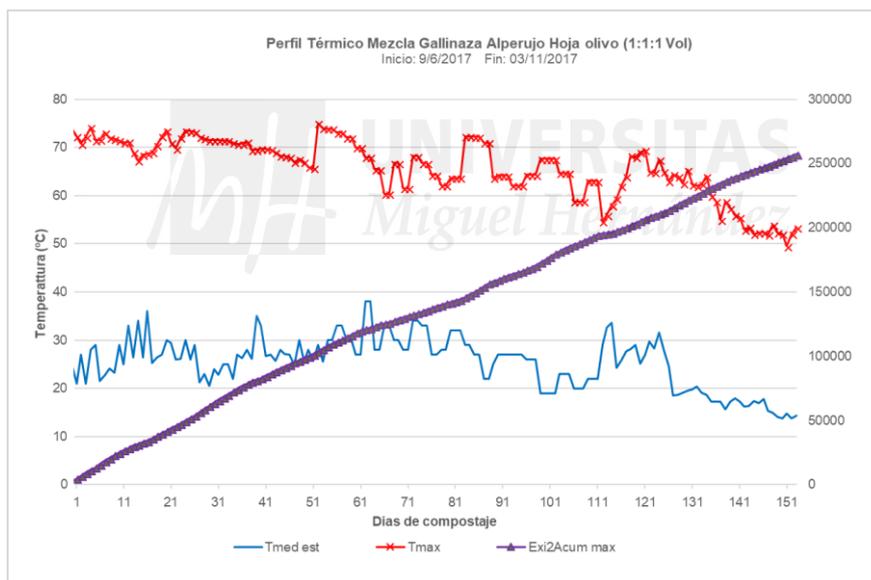


Figura 4 2 Índice exotérmico (EXI), T máxima y mínima promedio del proceso y nº de días con fase termófila (T>40°C).

Estos resultados concuerdan, en parte, con los encontrados por Cáceres, y col., (2015) que observaron temperaturas más altas y mayor tiempo de compostaje en pilas con un 75% de residuos vegetales probablemente debido a la naturaleza de lignina-celulósico de su ingrediente principal. La celulosa, hemicelulosa y lignina presentes en estos residuos son parcialmente descompuestos y transformados a una velocidad inferior (Bernal y col, 2009).

El seguimiento de los perfiles térmicos de los procesos de compostaje nos permite evaluar la higienización de los compost finales. Existen diferentes criterios para ello. Los requisitos europeos en materia de saneamiento de compost, establecen más de 15 días a $T < 55^{\circ}\text{C}$ (Comisión Europea 2014) y a la Agencia de Protección Medio ambiental de Estados Unidos (EPA, 2003), considera que para una correcta higienización del material las pilas de compost deben mantener durante 15 días, o al menos durante 5 días consecutivos, una temperatura superior a 55°C . El compost monitoreado mantuvo temperaturas superiores a 55°C durante 127 días, por lo que puede considerarse higienizados desde el punto de vista del criterio EPA (2003). Según el “Study report on End-of-waste criteria for Biodegradable waste subjected to biological treatment. Draft Final Report, July 2013” el productor del compost debe demostrar que cada proceso de compostaje ha alcanzado un perfil temperatura-tiempo adecuado para verificar la higienización. Existen 3 perfiles admitidos en compostajes que no incluyan residuos o subproductos ganaderos:

- 65°C o más al menos 5 días
- 60°C o más al menos 7 días
- 55°C o más al menos 15 días

Los composts que incluyen residuos y subproductos animales deben cumplir requisitos adicionales de cara a la prevención de otros riesgos, en general al menos 70°C al menos una hora.

El compost final obtenido elaborado a base del alperujo, hoja de olivo y gallinaza cumple todos los requisitos de higienización expuestos.

Densidad aparente

La densidad aparente está relacionada con la porosidad y el contenido en humedad, y es una característica muy importante (Croteau y Alpert 1994) en lo que respecta al funcionamiento del proceso aeróbico y a la ocupación y

ordenación del espacio, sirve para realizar el cálculo de ocupación en la planta y por tanto el espacio necesario a la hora del diseño.

En la realización de la mezcla, la incorporación de la hoja de olivo y la cama de gallinaza de cáscara de arroz disminuye la densidad y facilita el esponjamiento y por tanto la auto aireación, lo que complementa al alperujo que por su humedad y plasticidad complica la circulación de aire creando zonas anaerobias, esta mezcla como muestra la **tabla 4.2**, permite mantener elevadas temperaturas con volteo prolongado en tiempo de 30 días.

Inicialmente, una elevada densidad aparente está asociada a una baja porosidad que puede inducir un deficiente establecimiento del proceso, debido a que se dificulta el paso del aire y, a la larga, se obtiene una estabilización inferior de la materia orgánica. Los principales factores que hacen variar el valor de la densidad aparente son el contenido en agua y la presencia de material que aporte estructura, como pueden ser los restos de hojas. Por ello, a la hora de interpretar los valores resultantes de la densidad aparente es preciso tener en cuenta estos dos factores. Sin embargo, aunque la densidad inicial no sea favorable, con un buen manejo y volteos periódicos se puede generar una adecuada aportación de aire que mejora el proceso. En general, debido a los cambios asociados a la pérdida de masa y volumen a medida que avanza el proceso, el contenido total de materia y especialmente de agua y materia orgánica total disminuye y por consiguiente suele aumentar la densidad aparente sobre materia seca.

Los resultados obtenidos para la densidad aparente se detallan en la **Tabla 4.2.**

Tabla 4.2 Evolución de la densidad aparente durante el proceso de compostaje.

Fases del compostaje	Tiempo de compostaje (días)	DA m.f. (kg/m³)
Inicio	0	477
Final Bioxidativa	150	523
Madurez	180	563

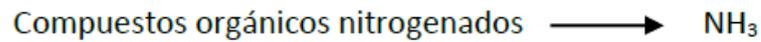
En nuestro experimento, realizado en suelo compactado, la densidad aparente aumenta con el proceso de compostaje, mostrando una tendencia no usual. La evolución de la densidad aparente pudo verse afectada por la presencia de suelo suelto incorporado durante los volteos. La densidad aparente de los compost en las muestras analizadas al final del proceso de compostaje se encuentra en el rango entre 400-500 kg/m³. Estos valores están en concordancia con los encontrados por otros autores. En este punto debemos recordar que las mezclas ternarias donde se usan residuos de almazara como alperujo, presentan densidades aparentes iniciales en torno a 1000 kg/m³ (debido a sus altos contenidos en agua, 85% o más) por lo que, aunque el proceso de compostaje suele concentrar la materia y por tanto aumentar la densidad, la pérdida de volumen no compensa la pérdida de materia, especialmente del agua, resultando en densidades aparentes menores.

4.2. EVOLUCIÓN DE LA FRACCIÓN HIDROSOLUBLE: pH, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y

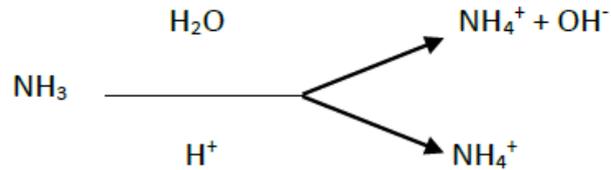
pH

El valor inicial del pH en la mezcla de residuos a compostar estuvieron dentro del intervalo de valores de pH adecuado ($\text{pH} = 6 - 9$) para el desarrollo de las bacterias y hongos que degradan la materia orgánica durante el proceso de compostaje (Moreno Casco y Mormeneo, 2008). Según Rynk (1992) la acidez inicial podría influir en el desarrollo de la actividad termófila, evitando que se alcancen temperaturas elevadas durante esta fase. La variación del pH a lo largo del compostaje se ha tomado en muchas ocasiones como un parámetro indicativo de la evolución del proceso. Generalmente, el pH disminuye en las primeras horas o días del proceso debido a la liberación de ácidos orgánicos de bajo peso molecular, procedentes de la descomposición de las fracciones más lábiles de la materia orgánica. Posteriormente se observa un aumento del pH, como consecuencia de la degradación de compuestos con grupos carboxílicos y fenólicos, de carácter ácido, y la mineralización de proteínas, aminoácidos y péptidos a amoníaco (Iglesias Jiménez y Pérez García, 1991), el cual se protonará durante el proceso de amonificación para formar amonio. Esta protonación puede resultar de la reacción del agua con el NH_3 para formar NH_4OH , con producción de iones OH^- , ó de la protonación directa con el consumo de un ión H^+ del medio (Reuss y Johnson, 1986), contribuyendo de esta manera a la subida del pH, tal y como se muestra en las siguientes reacciones:

Descomposición



Amonificación



Por último, el pH disminuye, ya que los procesos de degradación no son tan intensos y se produce la nitrificación del amonio originado en la etapa anterior, que conlleva la liberación de iones H^+ (Gagnon y col., 1993), tal y como se muestra en las siguientes ecuaciones:

Nitrificación.



Los resultados obtenidos para el pH se detallan en la **Figura 4.3**, que muestran respectivamente como el tiempo de compostaje y la proporción de materiales iniciales han influido en el pH.

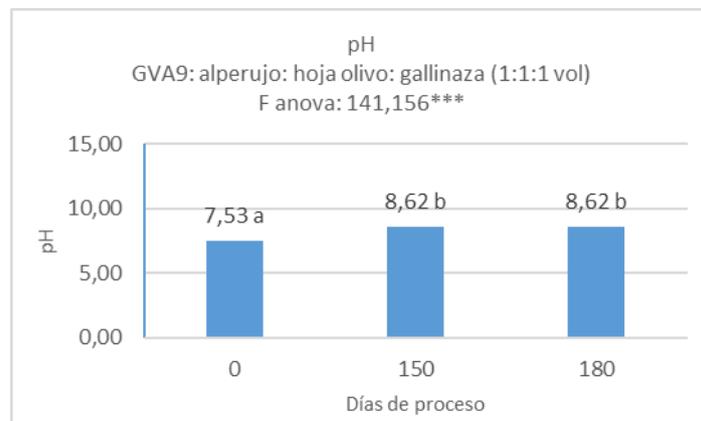


Figura 4 3 Influencia del tiempo de compostaje en el pH.

En la **Figura 4.3**, se presenta los valores de pH medidos en el compost estudiado. Inicialmente, el valor de pH de la mezcla fue ligeramente básica, estando dentro del rango adecuado (6-9) para el inicio del proceso de compostaje según (Moreno Casco y Mormeneo, 2008). En la pila el pH aumentó en la fase bioxidativa y se mantuvo constante hasta el final, posiblemente debido a la descomposición de compuestos orgánicos nitrogenados y posterior amonificación del amoníaco liberado. Durante el compostaje de residuos vegetales suelen darse aumentos significativos en el pH (Ali y col., 2012, Gavilanes- Terán y col., 2016 y Mathava y col., 2010) principalmente debido a la descomposición de compuestos de tipo ácido, como grupos carboxílicos y fenólicos (benzoico, p-OH-benzoico, vanílico, veratric, siringico y p-cumárico) ácidos (Epstein, 1997) y la mineralización de proteínas, péptidos y aminoácidos a amoníaco (Bustamante y col., 2008 y Paredes y col., 2000)

El tiempo de compostaje influyó en la evolución del pH, aumentando en etapa bioxidativa y manteniéndose en valores básicos de 8,6 tras la maduración. Este valor de pH en el compost final está un poco por encima del rango adecuado para su uso agrícola (6,0 – 8,5) (Hogg y col., 2002). Aunque estos valores son bastantes comunes en compost realizadas con alperujos (Cegarra y col. 2006; Alburquerque y col. 2006a; Tortosa y col. 2012, Paredes C. y col 2014), siendo sus valores por encima de 8,00.

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) generalmente se incrementa a lo largo del proceso como consecuencia de la mineralización de la materia orgánica y de la concentración relativa de iones debida a la pérdida de peso, pero esto ocurre siempre que el compostaje se efectúe controlando la pérdida de sales solubles por lixiviación, debida a riegos o lluvia si el proceso se realiza al aire libre. Algunas veces puede producirse un descenso de la CE durante el proceso, lo que puede deberse a fenómenos de lixiviación en la masa, provocados por una humectación excesiva de la misma o por la lluvia, si el proceso se realiza al aire libre (Paredes y col, 2001).

Los valores de la conductividad eléctrica (CE) obtenidos en el proceso de compostaje se exponen en las **Figuras 4.4**, se muestra respectivamente la variación de la CE con el tiempo de compostaje. Se observa que la conductividad eléctrica en los compost elaborados disminuye durante la fase biooxidativa, manteniéndose durante la fase de maduración. Gavilanes-Terán y col. (2016), observaron, descenso en la CE durante el compostaje de residuos hortícolas con estiércoles de animales.

La conductividad eléctrica del compost es un parámetro a tener en cuenta en su uso agrícola. La adición de compost con elevada salinidad a los suelos agrícolas podría inhibir la germinación de semillas (He y col., 1995; Hargreaves y col., 2008). La salinidad es un factor limitante sobre todo en los sustratos de cultivo debido a la potencial fitotoxicidad asociada al contenido en sales (Bustamante y col., 2008). No obstante, la conductividad eléctrica desciende pasado el tiempo después de la aplicación, posiblemente por la toma de nutrientes por parte de las plantas y por la lixiviación de éstos (Zhang y col., 2006).

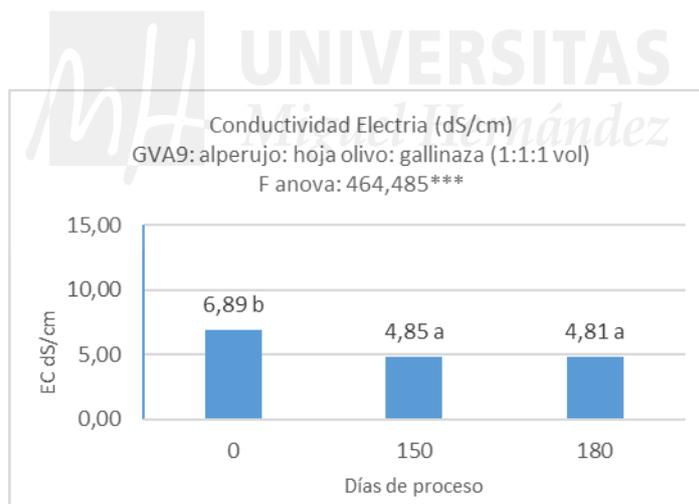


Figura 4.4 Influencia del tiempo de compostaje en la CE.

Los composts maduros obtenidos presentaron valores medios de CE (4,8 mS/cm) lo cual no supone a priori una limitación para su uso como enmienda orgánica, por la posibilidad de inducir salinidad en el suelo y toxicidad en el cultivo agrícola de olivo en seco.

Según Lasaridi y col. (2006), el valor de conductividad eléctrica que un compost debe tener para no provocar efectos adversos no ha de superar los 3 mS/cm.

La elevada CE podría reducirse a través de mezclas con otros materiales y / o lavando el compost con agua de riego en las primeras etapas del proceso (Cáceres y col., 2014).

Contenido en polifenoles

Los polifenoles se encuentran prácticamente en todos los materiales vegetales, se componen básicamente de ácido fenólicos que incluyen benzoato y derivados hidroxicinamato y flavonoides (Guendez y col., 2005). Los compuestos fenólicos merecen especial atención debido a su repercusión sobre la inhibición de la germinación de semillas (Manios y col. 1987), sobre la inmovilización del nitrógeno del suelo (Bustamante et al., 2007) y por su efecto antimicrobiano (Scalbert, 1991) que puede inhibir y limitar el proceso de compostaje. La evolución de los polifenoles solubles durante el proceso de compostaje es un parámetro a tener en cuenta en su uso agrícola, ya que están relacionados directamente con las propiedades fitotóxicas de los materiales a compostar. Durante el compostaje el contenido de polifenoles solubles suele disminuir hasta valores en torno a 1000 mg/Kg.

La evolución durante el proceso de compostaje del contenido de polifenoles solubles en agua se muestran en la **Figura 4.5**, observándose un descenso en dicho contenido con el tiempo.

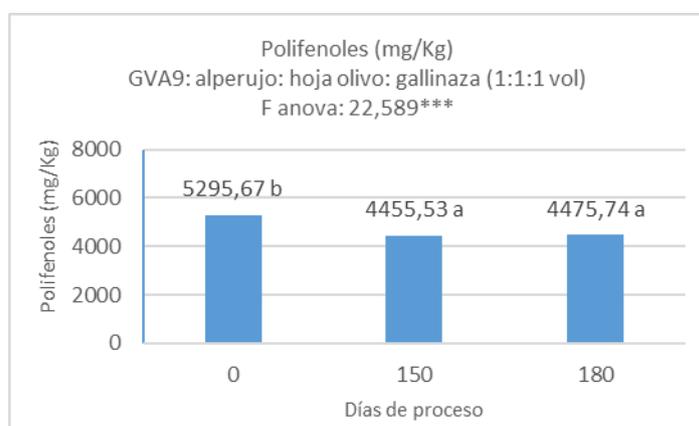


Figura 4 5 Evolución de la concentración de polifenoles de las pilas durante el proceso de compostaje.

El mayor descenso en la concentración de polifenoles se da en las primeras fases o etapas del proceso de compostaje, debido a la gran actividad inicial que llevan a cabo las poblaciones microbianas encargadas de degradar estos compuestos tan complejos hasta finalmente obtener una concentración constante que puede estar relacionada con la madurez del compost. La disminución de los compuestos de naturaleza fenólica durante el proceso de compostaje se debe al predominio de las vías degradativas y de polimerización frente a la liberación al medio acuoso de sustancias fenólicas (Saviozzi y col., 1987). El factor tiempo de compostaje ha influido de forma significativa en la evolución de los polifenoles durante el proceso. El contenido de polifenoles solubles en el compost final es demasiado alto 4451 mg/kg por lo que hay que tener en cuenta la posibilidad de inducir fitotoxicidad e inhibir la germinación de semillas (Albuquerque y col., 2008). En este compost el contenido en polifenoles solubles fue superior a los obtenidos por los obtenidos por Bustamante y col. (2008) en compost de residuos vitivinícolas.

4.3. EVOLUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA Y DE SU FRACCIÓN SÓLIDA

El estudio de la evolución de la materia orgánica en su conjunto y de su fracción sólida nos proporciona información acerca de los procesos que ocurren durante el compostaje y de la mayor o menor intensidad de la actividad microbiana durante el progreso del mismo.

Materia orgánica

El porcentaje de materia orgánica presente en el compost, es indicativo de la naturaleza, más o menos orgánica que tiene la pila. En teoría, la tasa de materia orgánica debe ir descendiendo debido a la descomposición que ocurre en la etapa bio-oxidativa. El contenido final de materia orgánica (MO) en el

compost dependerá del valor inicial, de su degradabilidad y de la transformación que hayan sufrido sus componentes durante el proceso. Es un parámetro importante porque en el caso de aplicarse al suelo incide de forma global en todas sus propiedades (físicas, químicas y biológicas) y en caso de utilizarse como sustrato la MO incidirá sobre sus propiedades físicas, siendo indispensable además conocer su estabilidad. Pérdidas considerables de MO durante la fase de bio-oxidativa indica la estabilidad relativa alcanzada por los productos después de la etapa de bio-oxidativa.

Los valores de la materia orgánica analizados durante el proceso de compostaje se incluyen en la **Figuras 4.6**.

A lo largo de todo el proceso se observa una disminución de la cantidad de MO presente en el compost, como consecuencia de la mineralización que sufre la mezcla por parte de los microorganismos que actúan durante el proceso. Esta pérdida, en general, es más acusada durante los primeros días de compostaje, coincidiendo con la

fase termófila, la intensa actividad microbiana en esta etapa, promueve una mayor degradación y mineralización de la MO presente. En el caso de la mezcla presentada durante la fase de maduración la degradación de materia orgánica, el tiempo de compostaje ha sido un factor decisivo en la evolución de éste parámetro (Figura 4.17).

Los valores de materia orgánica en el compost final (42,6 %) cumplen con lo establecido en el RD 506/2013 superando el límite establecido (MO > 35%). El contenido de MO en el compost final es comparable a los obtenidos para compost en plantas de compostaje industriales en España (Huerta-Pujol y col, 2011) y en compost de restos de poda urbana (López y col. 2014). También comparables con los contenidos de MO obtenidos por Bustamante y col. (2013) en compost utilizando la fracción sólida del digerido de purín porcino con diferentes agentes estructurantes.

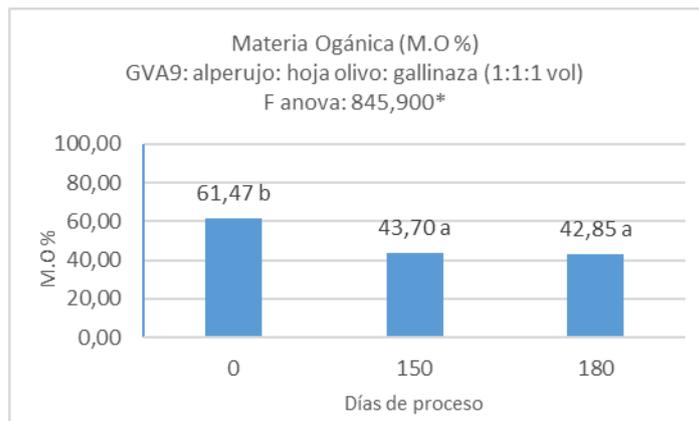


Figura 4.6 Influencia del tiempo de compostaje en la concentración de MO.

Pérdida de materia orgánica

Las pérdidas de materia orgánica (MO) reflejan la evolución sufrida por la mezcla de residuos estudiada. Éstas se calcularon a partir del contenido de cenizas inicial (X_1) y en el punto de estudio (X_n), de acuerdo con la ecuación de Viel y col. (1987):

$$\text{Pérdidas MO (\%)} = 100 - 100 \left[\frac{X_1 (100 - X_n)}{X_n (100 - X_1)} \right]$$

Esta ecuación representa el porcentaje de materia orgánica perdida con respecto a la cantidad inicial, para ello se considera que el contenido de cenizas a lo largo del proceso es constante y de este modo se evita el efecto concentración provocado por las pérdidas de peso de la pila debidas a la degradación de la materia orgánica.

Los valores de pérdida de materia orgánica obtenidos en el proceso de compostaje se incluyen en la **Figuras 4.7** muestran como el tiempo de compostaje ha afectado a la pérdida de MO.

Debido a los procesos de degradación, como consecuencia de la actividad microbiana, se produce una pérdida de MO, siendo esta más acusada durante la fase termófila, tras esto los compuestos más sencillos se han degradado y la pérdida de MO va disminuyendo. El factor tiempo ha sido decisivo en la evolución de éste parámetro.

Al final de proceso, se alcanzaron pérdidas de MO cercanas al 50%. Pérdidas considerables de MO durante la fase de bio-oxidativa indica la estabilidad relativa alcanzada por los productos después de la etapa de bio-oxidativa. Esto puede ser utilizado como un indicador de la tasa de compostaje (Petric y col, 2012).

Cáceres y col. (2014) observaron mayores pérdidas de materia orgánica en el compostaje de residuos vegetales y fracción sólida de estiércoles al aumentarse la proporción de restos vegetales en la pila.

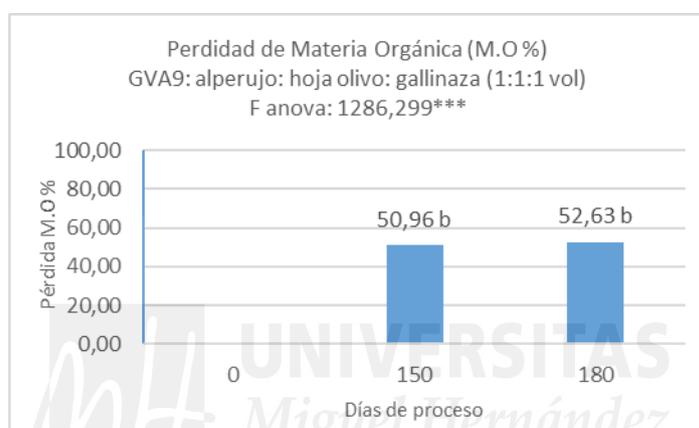


Figura 4 7 Influencia del tiempo de compostaje en la pérdida de MO.

Carbono orgánico total

Del mismo modo que el contenido de materia orgánica y el contenido de carbono orgánico disminuyen a lo largo del proceso de compostaje como consecuencia de la mineralización que sufre la mezcla por parte de los microorganismos que actúan durante el proceso.

Los valores de carbono orgánico total (COT) obtenidos en el proceso de compostaje se muestran en las **Figuras 4.8**.

Como muestra la Figura 4.21 el tiempo de compostaje ha influido de forma significativa en el contenido de COT que ha disminuido a lo largo del proceso como consecuencia de la mineralización que sufre la mezcla por parte de los microorganismos que actúan durante el proceso.

El mayor descenso de COT se aprecia en la fase biooxidativa, debido a la mayor actividad microbiana en esta etapa. El valor de COT en el compost final es de 21,3 %.

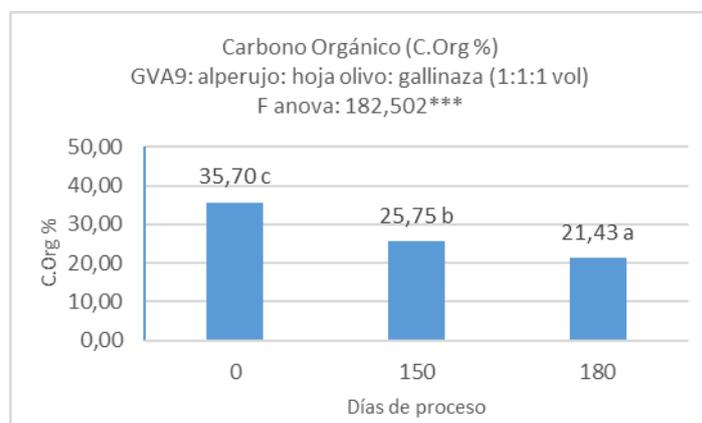


Figura 4.8 Evolución del carbono orgánico total (COT) de las pilas durante el proceso de compostaje.

Nitrógeno total

El nitrógeno es un nutriente esencial para la vida vegetal cuya toma, por parte de las plantas, se produce en su forma inorgánica. Los contenidos de nitrógeno en un residuo fresco o compostado de naturaleza orgánica condicionan su capacidad fertilizante. El nitrógeno se encuentra tanto en forma orgánica como en forma inorgánica, aunque mayoritariamente es la forma orgánica la que está presente en los residuos orgánicos.

A lo largo del proceso de compostaje, se produce una descomposición de la materia orgánica y, por tanto, también de su fracción nitrogenada, siendo de esperar que durante el proceso de compostaje el nitrógeno orgánico se irá transformando, paulatinamente, en especies inorgánicas. Estas especies inorgánicas, en un cierto porcentaje, se pueden perder por lixiviación con la fase líquida o por volatilización a la atmósfera (liberación de amoníaco). Así pues, tenemos una serie de procesos que hacen que el contenido de nitrógeno presente en la pila inicial pueda verse disminuido. Sin embargo, la pérdida de materia orgánica que se produce a lo largo del compostaje, traducida por tanto en una reducción en el peso de la masa a compostar, hace que las especies

nitrogenadas, tanto orgánicas como inorgánicas, experimenten el llamado “efecto concentración”, es decir, al final del proceso de compostaje, a pesar de que se pierde nitrógeno, éste estará más concentrado en el compost final debido a esa reducción en la masa de la pila comentada anteriormente. Por tanto, el contenido en nitrógeno aumenta durante el proceso de compostaje probablemente debido a un efecto concentración, como consecuencia de la pérdida de peso de la pila por degradación de materia orgánica, además de la posible fijación biológica de nitrógeno (Paredes y col., 2002).

Los valores de nitrógeno total (NT) obtenidos en el proceso de compostaje de alperujo, hojas de olivo y gallinaza se incluyen en la **Figura 4.9** que muestran como el tiempo de compostaje ha afectado a la concentración de NT produciéndose un aumento respecto a la concentración inicial. El contenido de N en el compost final es del 2%.

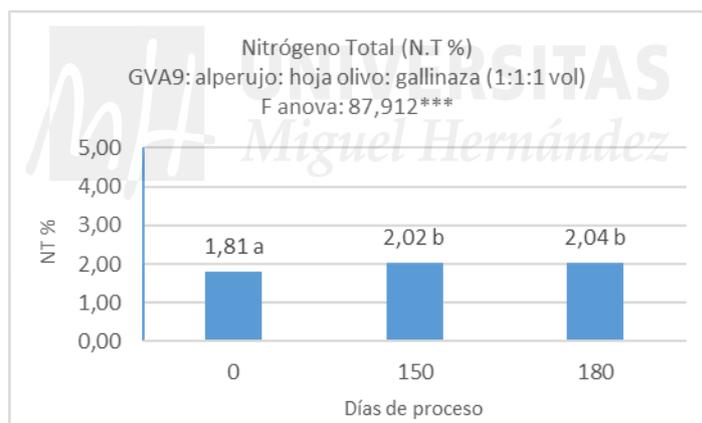


Figura 4.9 Influencia del tiempo de compostaje en la concentración de NT.

Relación carbono orgánico total nitrógeno total

La relación carbono orgánico total / nitrógeno total (COT/NT) de la muestra sólida es uno de los índices más utilizados para estudiar la evolución de la materia orgánica durante el compostaje, ya que, por un lado, representa la pérdida de carbono orgánico, como consecuencia de la mineralización de la

materia orgánica, mientras que por otro, mide el aumento de la concentración de nitrógeno debido a la pérdida de peso. Como resultado se obtiene una disminución de este parámetro, cuyos valores al final del proceso son prácticamente constantes, causados por la estabilización de la materia orgánica.

La importancia de esta relación está en que, para que el proceso de compostaje se desarrolle de forma adecuada, se considera que el material de partida debe de tener una relación COT/NT entre 25-35 (Jhorar y col. 1991). También es sabido que una relación COT/N_T demasiado elevada limita la cantidad de nitrógeno disponible para el crecimiento celular a expensas de la materia orgánica, lo que conduce a la inactivación o ralentización del proceso; mientras que lo contrario acelera inicialmente el crecimiento microbiano y la descomposición de la materia orgánica. Esto último, sin embargo, agotaría rápidamente las reservas de oxígeno, dando lugar a condiciones de anoxia. El exceso de nitrógeno además conduce a pérdidas de nitrógeno en lixiviados (nitrato) o en gases (amoníaco)

Los valores de relación carbono orgánico total/nitrógeno total (COTvsNT) obtenidos en el proceso de compostaje se incluyen en la **Figuras 4.10** que muestra como el tiempo de compostaje ha afectado a la relación COT/NT.

Iglesias Jiménez y Pérez García (1992), para compost de RSU y Bernal y col., (1988) para compost de diversos orígenes, establecen como criterio más seguro de madurez del compost una relación COT/NT inferior a 12. Si solamente tomáramos este parámetro como indicador de madurez del compost, estaríamos ante pilas de compostaje con un grado de madurez no óptimo. Aunque este parámetro no puede ser usado como indicador absoluto del estado de maduración ya que presenta gran variabilidad dependiendo de los sustratos iniciales; pudiendo encontrar compost maduros con valores superiores a 20, ya que parte del carbono orgánico puede estar aun en forma de compuestos resistentes a la biodegradación (lignina) o compost inmaduros con valores inferiores a 15 debido a la riqueza en Nitrógeno de los materiales iniciales.

En la legislación española se sugiere valores de dicha relación inferiores a 20 en los compost (BOE, 2013). Según estas consideraciones el compost

elaborado tendría un grado de madurez adecuado cumpliéndose con la legislación vigente.

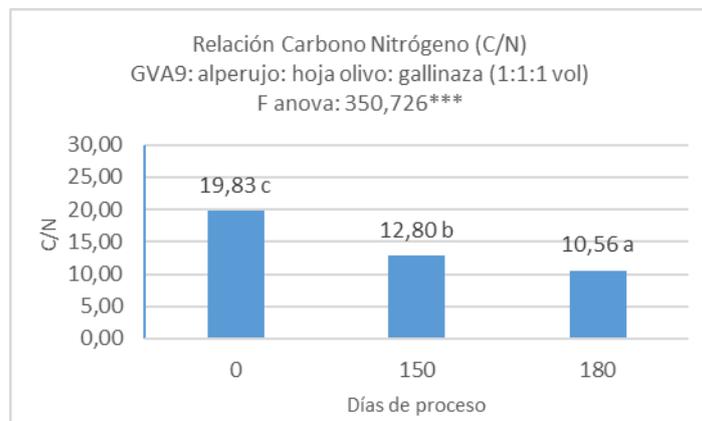


Figura 4 10 Influencia del tiempo de compostaje en la relación Corg/NT

Contenido de fósforo, potasio y sodio

El P desempeña un papel fundamental en la formación de compuestos celulares ricos en energía, siendo necesario para el metabolismo microbiano. La presencia de sodio en los materiales orgánicos no es deseable debido a su no esencialidad para las plantas, así como por el impacto negativo de este catión en las propiedades físicas del suelo potencialmente enmendado. Al igual que el contenido de nitrógeno, el contenido del resto de nutrientes (P y K) y de Na aumenta durante el proceso de compostaje probablemente debido a un efecto concentración, como consecuencia de la pérdida de peso de la pila por degradación de MO.

Los contenidos de fósforo, potasio y sodio (P, K y Na) obtenidos en el proceso de compostaje se muestran en la **Figura 4.11**, se observa como el tiempo de compostaje y la proporción de materiales iniciales han influido en el contenido de P, K y Na de las pilas ensayadas. En el ensayo realizado el tiempo de compostaje influyó de forma significativa aumentando los contenidos de P y K, así como de Na.

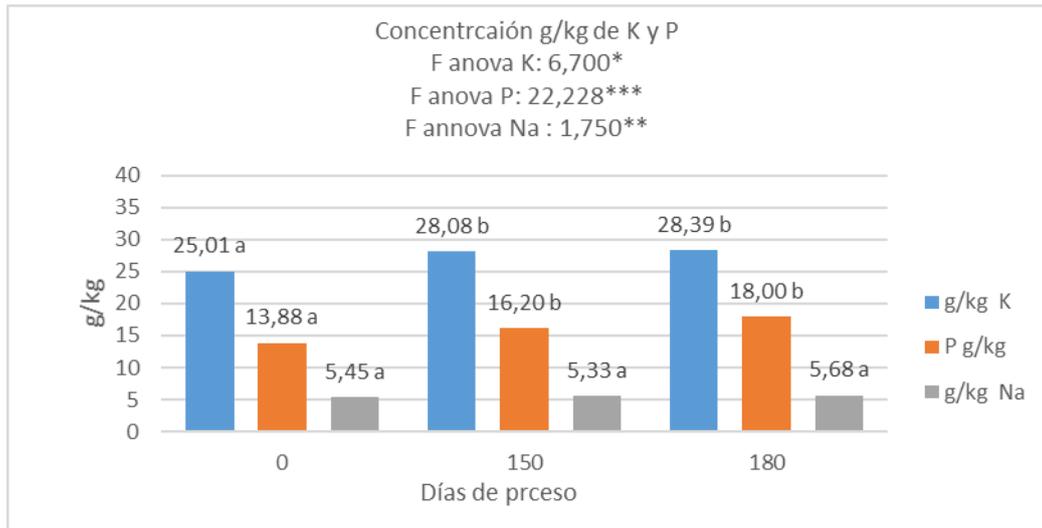


Figura 4 11 Influencia del tiempo de compostaje en el contenido de K, P y Na.

4.4. PARÁMETROS INDICATIVOS DE LA CALIDAD DEL COMPOST

Capacidad de cambio catiónico

La capacidad de cambio catiónico es un parámetro indicativo del proceso de compostaje y del grado de humificación de los materiales orgánicos durante el compostaje, así como de la calidad del material final obtenido. Diversos autores (Harada e Inoko (1980) e Iglesias Jiménez y Pérez García (1992) han estudiado la evolución de este parámetro, observando que la capacidad de cambio catiónico en compost aumentaba conforme progresaba el proceso hasta alcanzar un valor estable, concluyendo que si éste se sitúa en el rango de CCC > 60-67 meq/100g sobre materia orgánica en compost elaborado con residuos sólidos urbanos, indicaba que el compost estaba maduro. El grado de humificación de la materia orgánica en el suelo, al igual que ocurre en el compostaje de residuos orgánicos, está estrechamente relacionado con la capacidad de intercambio catiónico, aumentando progresivamente a medida que la humificación de la materia orgánica progresa. Este incremento de la CCC ha

sido aceptado universalmente como criterio de madurez e indirectamente como criterio de “humificación” de materiales orgánicos (Roig y col, 1988).

En la **figura 4.12** se muestra la evolución con el tiempo de compostaje de los valores de la capacidad de cambio catiónico (CCC) obtenidos en el proceso de compostaje.

En el compost estudiado aumenta el valor de CCC durante el proceso como consecuencia de la humificación de la materia orgánica.

Después de la etapa de madurez, se observó que el compost presentó un grado adecuado de madurez según los valores establecidos de CCC en compost por Harada e Inoko, (1980) (CCC >60 meq/100g MO). De este modo, el uso de este índice para valorar la madurez de un compost debería considerarse como una condición necesaria pero no suficiente para establecer el grado de madurez alcanzado por el compost.

Después de la etapa de madurez, se observó el compost presento un grado adecuado de madurez según los valores establecidos de CCC en compost por Harada e Inoko, (1980); valor CCC > 60 meq/100g MO. De este modo, el uso de este índice para valorar la madurez de un compost debería considerarse como una condición necesaria pero no suficiente para establecer el grado de madurez alcanzado por los compost.

Finalmente, también todos los compost obtenidos alcanzaron un valor de la relación CCC/COT > 1,9 valor establecido para compost maduros por Iglesias Jiménez y Pérez García (1992).

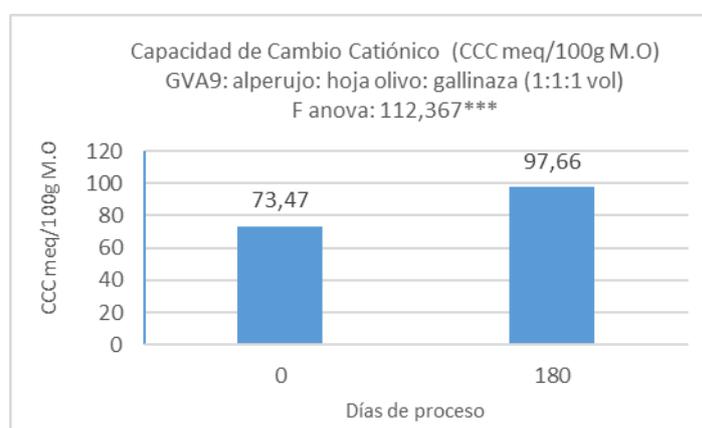


Figura 4 12 Influencia del tiempo de compostaje la Capacidad de Cambio Catiónico (CCC)

Índice de germinación

El índice de germinación (IG) de semillas es un método biológico que proporciona información precisa y real sobre el grado de madurez alcanzado por un compost. En este estudio, se ha utilizado el IG, propuesto por Zucconi y col. (1981), que consiste en la incubación de semillas de *Lepidium sativum* L., durante 24 horas a 27° C, sobre extracto acuoso del compost. Según este método el compost está maduro cuando $IG > 50$. Se trata de un bioensayo muy sensible a los efectos inhibidores de las fitotoxinas (fenoles, ácidos grasos, amoníaco, etc, resultantes de los procesos de mineralización de la materia orgánica).

El compost no mostró valores aceptables de IG, inferiores al 50%, valor mínimo establecido en la bibliografía que indica que un compost está maduro y que no va a producir daños sobre las plantas una vez que se les aplique como fertilizante, lo cual indica una reducción significativa de la fitotoxicidad en el caso de dicho compost. Por lo que este compost debido a su fitotoxicidad no es apropiado para su empleo como sustrato o enmienda para hortícolas, debido al potencial inhibidor del desarrollo vegetativo, pero para el uso en olivos en producción con sistema radicular desarrollado, una correcta aplicación no causa daños a este cultivo leñoso.

Índices de humificación

Los principales índices para evaluar el grado de humificación de la materia orgánica de los composts, a partir de los porcentajes de carbono extraíble (C_{ex}), carbono de ácidos húmicos (C_{ah}) y de ácidos fúlvicos (C_{af}), son los siguientes:

- Relación de humificación (RH): $C_{ex}/C_{OT} \times 100$
- Índice de humificación (IH): $C_{ah}/C_{OT} \times 100$
- Porcentaje de ácidos húmicos (Pah) $C_{ah}/C_{ex} \times 100$
- Relación de polimerización (RP): C_{ah}/C_{af}

El incremento de estos parámetros durante el compostaje es indicativo de la humificación de la materia orgánica. Roletto et al. (1985) usan estos parámetros para establecer el nivel de humificación de la materia orgánica en diferentes compost de diferentes orígenes. En la **tabla 4.3** se resumen diferentes índices utilizados para evaluar los compost.

Tabla 4 3 Evaluación de índices de estabilización de compost maduro.

Parámetro	Valor límite	Fuente
Carbono extraíble, C_{EX} (g/kg)	<60	Bernal et al (1998)
Relación de humificación, RH (%), $C_{ex}/C_{OT} \times 100$	> 7	Roletto y col. (1985) BioCycle, 26 (2), 46-47.
Índice de humificación, IH (%), $C_{ah}/C_{OT} \times 100$	> 3,5	Roletto y col. (1985) BioCycle, 26 (2), 46-47.
	> 13	Iglesias Jiménez y Pérez García (1992) Agr. Ecosyst. Environ., 38, 331-343.
Porcentaje de ácidos húmicos, Pah (%), $C_{ah}/C_{ex} \times 100$	> 62	Iglesias Jiménez y Pérez García (1992) Agr. Ecosyst. Environ., 38, 331-343.
Relación de polimerización, RP (%), ah/Caf,	> 1	Roletto y col. (1985) BioCycle, 26 (2), 46-47.
	> 1,6	Iglesias Jiménez y Pérez García (1992) Agr. Ecosyst. Environ., 38, 331-343.

Tabla 4 4 Índices de estabilización en el compost maduro.

Parámetro	GVA 9 *Alperujo (65%) + hoja de olivo (7%) + Gallinaza (28%)
Carbono extraíble (%)	9,33
Ácidos fúlvicos (%)	1,47
Ácidos húmicos (%)	7,87
Relación de humificación (HR) (%)	43,8
Índice de humificación (HI)(%)	36,9
Porcentaje de ácidos húmicos (PHA) (%)	84,3
Índice de polimerización (RP) (%)	5,36

* porcentajes de materias primas sobre materia fresca

La concentración en sustancias húmicas fue de 9,33 % s.m.s, siendo mayoritarios los ácidos húmicos frente a los fúlvicos. Los valores de los índices de humificación, en el compost final fueron superior al valor límite establecido por diferentes autores (**tabla 4.3**) verificándose los criterios de calidad-madurez-estabilidad estructural.

4.5 Cálculo de la dosis de enmienda recomendada para el cultivo

En la **tabla 4.5** se muestran la recomendación extraída de la *ORDEN 10/2018, de 27 de febrero, de la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural, sobre la utilización de materias fertilizantes nitrogenadas en las explotaciones agrarias de la Comunitat Valenciana*. [2018/2319].

Tabla 4 5 Necesidades de Nitrógeno Orden 10/2018 Valenciana 2018

NECESIDADES DE NITRÓGENO DE LOS CULTIVOS LEÑOSOS (kg N/ha y año)			
CULTIVO	SECANO	RIEGO INUNDACIÓN	RIEGO LOCALIZADO
Algarrobo	50 - 60	-	-
Almendro	50 - 80	-	80 - 100
Cítricos (1)	-	200 - 250	180 - 220
Frutales extensivos (2)	-	120 - 160	100-130
Frutales semi-intensivos (2)	-	160 - 200	130 - 160
Frutales intensivos (2)	-	200 - 240	160 - 190
Olivar	50 - 80	110 - 150	75 - 100
Olivar intensivo (3)	-	-	150 - 200
Viñedo vinificación	30 - 50	-	80 - 100

Tabla 4 6 Analítica del compost ensayado

	Humedad (%)	pH	CE (dS/m)	MOT (%)	CT/TN	CT (%)	NT (%)	P (g/kg)	K (g/kg)
GVA 9 M3	23,7	8,6	4,8	42,61	10,50	21,31	2,03	18,0	28,4

En base a la analítica del compost final y a las recomendaciones citadas anteriormente y a la limitación de la directiva de nitratos, Directiva 91/676/CEE del consejo de 12 de diciembre de 1991 y del Código de buenas prácticas C.V. Orden 10/2018 de limitar la aportación de nitrógeno en los cultivos a 170 kg N/ha se realiza el cálculo de la dosificación del compost elaborado a base de alperujo, hoja de olivo y gallinaza.

La fórmula aplicada para calcular los kg N/ha año, es la siguiente:

$$X \text{ kilos compost} \times (100 - \text{humedad \%})/100 \times \text{Nitrógeno Total \%}/100 \\ = \text{kg N/ha año}$$

A modo de ejemplo, aplicando dicha fórmula podemos establecer según los kilos de compost aportado la cantidad de N/ha año aplicada, como se muestra a continuación:

$$3.000 \times \frac{(100 - 23,7)}{100} \times \frac{2,03}{100} = 46,46 \text{ kg N/ha año}$$

- 3.000 kilos compost/ha: 46,46 kg N/ha año
- 5.000 kilos compost/ha: 77,45 kg N/ha año
- 8.000 kilos compost/ha: 123,91 kg N/ha año

El límite de este tipo de fertilizante compost para alcanzar los 170 kg N /ha año sería de 11.038 kg de compost:

$$\frac{170}{\left(\frac{(100 - 23,7)}{100}\right) \times \left(\frac{2,03}{100}\right)} = 11.038 \text{ kg compost}$$

Las necesidades de nitrógeno para el cultivo del olivo en seco, con riego dependiente de la pluviometría, son entre 50-80 kg N/ha año. El agricultor dispone de 60 hectáreas con 10.000 olivos, con unas 170 plantas por hectárea, por lo que la enmienda de compost por árbol siguiendo las dosis anteriores es de:

Los kilos de compost por hectárea y año propuestos se quedan cerca de lo permitido o recomendado por el código de buenas prácticas de la C.V. Orden 10/2018 y por la Unión Europea Directiva 91/676/CEE.

- 3.198 kilos compost/ha: 50 kg N/ha año: 18,8 kg compost/árbol
- 5.118 kilos compost/ha: 80 kg N/ha año: 30,1 Kg compost/árbol
- 10.875 kilos compost/ha: 170 kg N/ha año: 64 Kg compost/árbol

5. CONCLUSIONES



5. CONCLUSIONES

El compostaje de residuos de la industria agroalimentaria, en concreto, del alperujo obtenidos por centrifugación en 2 fases en la industria oleícola, en el propio entorno donde se produce es una práctica de gestión viable que requiere de estudios previos para la estandarización optimizada del proceso, para su adecuado start-up.

Los tres materiales residuales utilizados en el co-compostaje mostraron propiedades complementarias así, el alperujo presenta alto contenido en materia orgánica, nutrientes K y como factores limitantes alta relación C/N, humedad y concentración de polifenoles y Na. La hoja de olivo actuó como estructurante por su baja humedad, densidad y su relación C/N similar al alperujo, como limitante la elevada concentración de polifenoles, la gallinaza de presenta alto contenido NPK y una baja relación C/N, como limitante la alta conductividad eléctrica de los tres residuos.

Los resultados obtenidos nos han permitido debatir sobre el desarrollo térmico del proceso, sobre la consecución de la higienización del compost y sobre la calidad agronómica del compost final obtenido.

- ✓ La **exotermia** del proceso evaluada a través del índice exotérmico EXI2 (sumatorio del incremento diario de temperatura de la pila respecto a la temperatura ambiente durante el periodo de fase biooxidativa) fue intensa y prolongada en el tiempo.
- ✓ Durante el desarrollo del proceso de compostaje se alcanzó el incremento de temperatura necesario para asegurar la **higienización** del compost que se establecen en más de dos semanas a $T^a > 55^{\circ}\text{C}$ (Comisión Europea 2014) o mantener durante 15 días, o al menos durante 5 días consecutivos, una temperatura superior a 55°C (EPA, 2003). También se han cumplido los requisitos para composts que incluyen residuos y subproductos animales recogidos en "Study report on End-of-waste criteria for Biodegradable waste subjected to biological treatment (Draft Final Report, July 2013)" de al menos 70°C al menos una hora.

- ✓ Los valores de los índices de humificación y de la capacidad de cambio catiónico (CCC) y de su relación con el COT (CCC/COT) indicaron que el compost alcanzó un **grado de madurez y estabilidad** adecuado.
- ✓ El índice de germinación (IG) obtenido, empleando berro (*Lepidium sativum*), indicó que el compost final presenta **fitotoxicidad** posiblemente asociada al alto nivel de polifenoles, por lo que habría que limitar su uso en semillero y en plantaciones jóvenes.
- ✓ El contenido de **materia orgánica** fue alto de 42,6 y el valor de la **relación C_{ot}/N_T** estuvo por encima de los límites establecidos por la legislación para compost maduro.
- ✓ El contenido de NPK se incrementó durante el proceso de compostaje. El compost maduro mostró una buena **riqueza fertilizante NPK** con valores de unidades fertilizantes (N-P₂O₅-K₂O) de 2,0-4,1-3,4. Dosis entre 3 y 5 toneladas de compost por hectárea aportarían las necesidades de N del cultivo del olivo.
- ✓ El **pH** del compost fue ligeramente superior al rango de pH compatible con el crecimiento vegetal, aunque similar al obtenido para compost de alperujo.
- ✓ La **conductividad eléctrica** y contenido en **Na**, permiten el uso del compost en aplicaciones agrícolas, aunque su uso como ingrediente único de sustratos de cultivo estaría limitado.

Los resultados obtenidos permiten concluir que el compost producido en la Almazara Travadell bajo el seguimiento del Convenio GVA-UMH Agrocomposta puede usarse como enmendante en el cultivo del olivo siguiendo la guía de buenas prácticas agrícolas de C.V., siendo necesario un mejor ajuste de los ingredientes y control del proceso para poder alcanzar mejores resultados respecto a fitotoxicidad.

6. BIBLIOGRAFÍA



Bibliografía:

- AAO, 2009, Web de la Agencia para el Aceite de Oliva (AAO) Dirección URL: <https://www.mapama.gob.es/es/ministerio/funciones-estructura/organizacion-organismos/organismos-publicos/aao/> . (consulta 14/04/2018)
- Abrisqueta, C., and M. Romero. 1969. Digestión húmeda rápida de suelos y materiales orgánicos. *Anales de Edafología y Agrobiología*. 27:855-867.
- AECOSAN, 2015, Ministerio de Sanidad y Bien Social.: http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subdetailed/metales_pesados.htm
- Alba Mendoza, J., Hidalgo Casado, F., Martínez Roman. F., Ruiz Gomez, M^a. A. y Moyano Perez , M. J. 1993. Procesos de elaboración: nuevas técnicas de centrifugación. *Actas VI Simposium Científico-Técnico Expoliva 93*. Jaen. Dossier Oleo, 2:40-59.
- Albuquerque, J. A., Gozávez, J., García. D., y Cegarra. J. 2004 *Agrochemical Characterisation of “alperujo”, a solid by-product of the two phase centrifugation method for olive oil extraction*. *Biores Technol.*
- Albuquerque, J.A., Gonzalez J., García, D., Cegarra, J. (2006). *Effects of bulking agent on the composting of “alperujo”, the solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction*. *Process Biochemistry* 41(1): 127-132.
- Amlinger, F., Pollak, M. y Favoino, E. 2004. *Heavy metals and organic compounds from wastes used as organic fertilisers*. Final Report. ENV.A 2./ ETU/2001/0024.
- Ali M, Bhatia A, Kazmi AA, Ahmed N. *Characterization of high rate composting of vegetable market waste using Fourier transform-infrared (FT-IR) and thermal studies in three different seasons*. *Biodegradation* 2012; 23: 231–242.
- Ansorena, J., Batalla E., y Merino, D. (2013) *Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos, enmiendas y abonos*

orgánicos. Laboratorio Agroambiental Fraisoro. Fraisoro Etxaldea.
20159 Zizurkil Gipuzkoa

- Beata Hall, I., Céu Sàágua, M., Lourdes Bartolomeu, M.; Anselmo, A. Fernanda Rosa, m. (2005). Biodegradation of olive oil husks in composting earated piles. *Bioresoure Technology*, 96:69-78.
- Beloso, M.C. 1991 Estudio de la gallinaza como fertilizante agrícola, Tesis doctoral, Universidad de Santiago, Santiago
- Beltran-Heredia, A.J.; Torregroasa A.J., Dominguez-Vargas, J.R., García Rodríguez, J., 2000. Treatment of black olive wastewaters by ozonation and aerobic biological degradation. *Water Res.* 34 (14), 3515-3522.
- Bernal, M. P., Paredes, C., Sánchez-Monedero, M.A. Cegarra, J. (1998). Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresour. Technol.* 63:91:99.
- Biddlestone, A.J. y Gray, K.R. 1991. Aerobic processing of solid organic wastes for the production of a peat alternative: a review. *Process. Biochem.*, 26, 275-279.
- Boldrin A (2009) Environmental assessment of garden waste management. PhD Thesis, Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark, 2800 Kgs. Lyngby, Denmark.
- Borja, R., B. Rincón, F. Raposo, E. Sánchez, and A. Martín. 2004. Assessment of kinetic parameters for the mesophilic anaerobic biodegradation of two-phase olive pomace. *International Biodeterioration & Biodegradation* 53:71-78.
- Bustamante MA, Paredes C, Marhuenda-Egea FC, Pérez-Espinosa A, Bernal MP, Moral R. Co-composting distillery wastes with animal manure: carbon and nitrogen transformations and evaluation of compost stability. *Chemosphere* 2008; 72: 551–557.
- Chica, A., García, J. L. Aspectos técnicos en el desarrollo y control del proceso de compostaje. En: Moreno Casco, J., Moral Herrero, R., (Ed). *Compostaje* Madrid: Editorial Mundi-Prensa, 2008. p. 141-164.
- Chen, Y. e 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.
- Costa, G., García C., Fernandez, T. y Polo A. 1991. Residuos Orgánicos Urbanos Manejo y Utilización. Ed.: CSIC-CEBAS. Murcia
 - De Bertoldi, M., Vallini, G., Pera, A., 1983. The biology of composting: a review. *Waste Manage. Res.* 1, 157–176.
 - Ecology, Applications in Agricultural and Environmental Management. Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 515–544.
 - Epstein E. *The Science of Composting*, 1997. Technomic Publishing Inc., Lancaster, Pennsylvania, p.83.
 - Favoino, E. y Hogg, D. The potential role of compost in reducing greenhouse gases. *Waste Management Research*. 2008. vol. 26, p. 61-69.
 - Fermor, T.R.(1993). Applied aspects of composting and bioconversion of linocellulosic materials: an overview. *International Biodeterioration & Biodegradation* 31, 87-106.
 - Filippi, C., Bedini, S., Levi-Minzi, R., Cardelli, R., Saviozzi, A. (2002). Co-composting of olive mil by-products: chemical and microbiological evaluations. *Compost Science and Utilization*, 10 (1): 63-71
 - Gavilanes-Terán I, Jara-Samaniego J, Idrovo-Novillo J, Bustamante MA, Moral R, Paredes C. Windrow composting as horticultural waste management strategy – A case study in Ecuador. *Waste Management* 2016; 48: 127–134.
 - Giráldez, J.V., De Luna, E., Venceslá, A. (1999). Análisis de la eficacia del alperujo en la protección del suelo contra la erosión. *Foro Olivar y Medio Ambiente. Actas IX Simposium Científico Técnico Expoliva '99*. Jaen España.
 - Günther Laufenberg, Benno Kunz, Marianne Nystroem, 2003, Transformation of vegetable waste into value added products:: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations, *Bioresource Technology*, Volume 87, Issue 2, 2003, ages 167-198, ISSN 0960-8524
 - Huerta, O., López, M., Soliva, M. 2010. *Procés de compostatge: Caracterizació de mostres*. Diputació de Barcelona. 431 pp.

- Hermoso M., Gonzalez J., Uceda M., Garcia-Ortiz A., Morales J., Frías L., Fernandez A., 1996. Elaboración de aceite de oliva de calidad. Obtención por el sistema de dos fases.
- Iglesias Jiménez., E. y Pérez García, V. (1992). Determination of maturity indices for city refuse composts. *Agric. Ecosystems Environ.*, 38: 331-343.
- Iglesias Jiménez E, Barral Silva MT & Marhuenda Egea FC. 2008. Indicadores de la estabilidad y madurez del compost. P 245- 283 En: Moreno Casco J & Moral Herrero R (ed,) *Compostaje*. Mundi - Prensa, Madrid, España
- Kitson, R.E., and M.G. Mellon. 1944. Colorimetric determination of P as a molybdovanadato phosphoric acid. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry (Analytical Section)*. 16:379-383
- La Directiva de nitratos de la UE, Enero 2010 (<http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/nitrates/es.pdf>)
- Labrador , J., García, A., Fernández, P., Palos, E. (2001). Compost y vermicompost de orujos grasos húmedos para su uso como fertilizante orgánico en agricultura ecológica. *Actas I Encuentro Internacional. Gestión de Residuos orgánicos en el Ambito Rural Mediterraneo*. Pamplona, España.
- Lax, A., A. Roig, and F. Costa. 1986. A method for determining the cationexchange capacity of organic materials. *Plant and Soil* 94:349–355.
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2011-13046>
- Masaguer, Alberto & Benito, Marta. (2008). Evaluación de la calidad del compost. *Compostaje*. Mundi-Prensa. 285-304.
- Mathava K, Yan-Liang O, Jih-Gaw L. Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio. *Waste Management* 2010; 30: 602-609.
- Mathur, S.P., Oen, G., Dinel, H., Schnitzer, M. (1993). Dertermination of compost biomaturity. I. Literature review. *Biol. Agric. Horticult.*, 10:65-85.
- Miller, F.C., 1992. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. In: Metting, F.B., Jr. (Ed.), *Soil Microbial*

- Molina Alcaide. M., Nefzaoui, A., 1996, Recycling of olive oil by-products: Possibilities of utilization in animal nutrition, International Biodeterioration & Biodegradation, Volume 38, Issues 3–4.
- Molina, E., Nogales, R., Martín, A.I.; Yáñez, D.R., Moumen, A. (2001). Reutilización de kis irujos procedentes de las nuevas tecnologías de extracción en dos fases del aceite de oliva de aceituna en alimentación de rumiantes. Actas I Encuentro Internacional. Gestión de Residuos orgánicos en el Ámbito Rural Mediterraneo. Pamplona, España.
- Moral, R.; Muro, J. 2008 Manejo, dosificación y gestión agronómica del compost. En: Moreno, J y Moral, R. (eds. Científicos) Compostaje, pp. 351-378. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- Moreno, C. y Moral, Herrero, R. 2008. Compostaje. -Mundi- Prensa. Madrid.
- Navarro, A.F., Cegarra, J., Roig, A., Bernal, M.P. 1991. An automatic microanalysis method for the determination of organic carbon in wastes. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 22, 2137-2144.
- 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.
- Navarro Pedreño, J., Moral, R., Gomez, I. y Mataix, J. 1995. Residuos orgánicos y Agricultura. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Alicante. Alicante.
- Orden de 18 de noviembre de 2008, por la que se aprueba el programa de actuación aplicable en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias designadas en Andalucía.
- ORDEN 7/2010, de 10 de febrero, de la Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación, por la que se aprueba el Código Valenciano de Buenas Prácticas Agrarias. [2010/1874]
- ORDEN 10/2018, de 27 de febrero, de la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural, sobre la utilización de materias fertilizantes nitrogenadas en las explotaciones agrarias de la Comunitat Valenciana. [2018/2319] (DOGV núm. 8249 de 07.03.2018) Ref. Base Datos 002406/2018

- Pardo Nuñez, J., Lopez Mondejar, C. (2001). Aprovechamiento del aloperujo de la industria del aceite de oliva para la producción de hongos comestibles. Actas III Jornadas Técnicas del champiñón y otros hongos comestibles en Castilla-La Mancha. Iniesta (Cuenca), España.
- Paredes C, Roig A, Bernal MP, Sánchez-Monedero MA, Cegarra J. Evolution of organic matter and nitrogen during co-composting of olive mill wastewater with solid organic wastes. Biol. Fert. Soils 2000; 32: 222–227.
- Paredes. C referencia bibliográfica por la unidad temática 2 de la asignatura 2.2 RES ORG de origen agroindustrial
- Pérez-Murcia, Aurelia Pérez-Espinosa, Xavier Barber, Enrique Agulló, Alberto Vico, Jose Antonio Saez-Tovar, Concepción Paredes, Maria Angeles Bustamante, Raul Moral. 2016. Gestión de la biomasa e Phoenix dactilifera; I. Compostaje de tronco de palmera con lodos de depuradora de aguas residuales urbanas y agroindustriales I. Rec2016 página 103 a 106
- Ramos –Cormenzana, A., Aguilera , M.A Monteoliva-Sanchez, M. (2001) Peanibacillus jamilae una solución para la biorremediación de los residuos de la molturación de la aceituna. En: Improlive 2000. Presente y futuro del apearujo. Editorial Complutense S.A.
- Ranalli y Martinelli, 1995. Integral centrifuges for olive oil extraction at the third millenium threshold. Transformtion yields. Grasas y aceites, 46(4-5), 255-263.
- Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2005-895>
- Roletto, E., Barberis, R., Consiglio, M. y Jodice, R. (1985). Chemical parameters for evaluating compost maturity. BioCycle, 26 (2): 46-47.
- Rynk, R., M. Van de Kamp, G.B. Willson, M.E. Singley, T.L. Richard, J.J. Kolega, F.R. Gouin, L. Laliberty, Jr., D. Kay, D. W. Murphy, H.A.J. Hointink y W.F. Brinton (1992). Onfarm composting handbook. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, N.Y.

- Saña, J. y Soliva, M. 1987. El Compostatge. Procés, Sistemes i Aplicacions. Ed.: Diputació de Barcelona. Servei del Medi Ambient. Barcelona.
- Soliva, M., 2001a. Anàlisi global de la estratègia de la fracció orgànica dels residus. pp 97-136. En "Primera Jornada Tècnica sobre la Gestió de Residus Municipals". UPC.
- Soliva, M., 2001b. Compostatge i Gestió de Residus Orgànics. Estudis i monografies nº 21. 111 pp. Diputació de Barcelona. Àrea de Medi Ambient. Barcelona.
- Stentiford, E.I. (1996). Composting control: principles and practice. En: M. de Bertoldi (Ed.). The Science of Composting. Part I. Blakie Academic and Professional, Glasgow, UK.
- Stickelberger, D. 1975. Survey of city refuse composting. En: Organic Matters as Fertilizers. Swedish International Development Authority. FAO. Soils Bulletin. 27. Rome. pp. 185-209.
- Tejada, M., Ruiz, J. L., Dobao, M., Benitez, C. y Gonzalez J. L., 1997, Evolución de parámetros físicos de un suelo tras la adición de distintos tipos de orujos de aceituna. Actas de Horticultura.
- Van-Camp, Lieve; Benilde Bujarrabal; Anna Rita Gentile; Robert J. A. Jones; Luca Montanarella, Claudia Olazabal; Senthil-Kumar Selvaradjou (eds.), 2004. Reports of the technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. Volume I Introduction and Executive Summary.. EUR 21319 EN/1
- Vico, A. Pérez-Murcia, M.D., Bustamante, M.A., Agulló, E., Marhuenda-Egea, F.C., Sáez, J.A., Paredes, C., Pérez- Espinosa, A. and Moral, R. 2018. Valorization of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) pruning biomass by co-composting with urban and agri-food sludge. Journal of Environmental Management 226: 408-415.
- Zucconi, F., Monaco, A. y Forte, M. 1985. Phytotoxins during the stabilization of organic matter. En: Composting of Agricultural and Other Wastes. Ed.: J.K.R. Gasser. Elsevier. Barking. pp. 73-85.

7. ANEXOS



Anexos: Figuras

- Figura 1 1 Zonas productoras de aceite de oliva en el mundo15
- Figura 1 2 Principales países productores de aceite en la U.E.....15
- Figura 1 3 Procesos tras la recolección de la oliva. Fuente Junta de Andalucía Consejería de Agricultura (2015).....17
- Figura 3 1 Tamaño, volumen y dimensiones de la pila.....40
- Figura 3 2 Material usado en la determinación del índice de germinación., semillas de *Lepidium Sativum*.....54
- Figura 4 1. Evolución de la temperatura de las pilas (en °C), durante el proceso de compostaje.....58
- Figura 4 2 Índice exotérmico (EXI), T máxima y mínima promedio del proceso y nº de días con fase termófila ($T > 40^{\circ}\text{C}$).....60
- Figura 4 3 Influencia del tiempo de compostaje en el pH.....65
- Figura 4 4 Influencia del tiempo de compostaje en la CE.....67
- Figura 4 5 Evolución de la concentración de polifenoles de las pilas durante el proceso de compostaje.....68
- Figura 4 6 Influencia del tiempo de compostaje en la concentración de MO.....71
- Figura 4 7 Influencia del tiempo de compostaje en la pérdida de MO..72
- Figura 4 8 Evolución del carbono orgánico total (COT) de las pilas durante el proceso de compostaje.....73
- Figura 4 9 Influencia del tiempo de compostaje en la concentración de NT.....74
- Figura 4 10 Influencia del tiempo de compostaje en la relación Corg/NT.....76
- Figura 4 11 Influencia del tiempo de compostaje en el contenido de K, P y Na.77
- Figura 4 12 Influencia del tiempo de compostaje la Capacidad de Cambio Catiónico (CCC).....78

Anexos: Tablas

- Tabla 1 1 Fuente: Lista Europea de Residuos (Decisión 2000/532/CE de la Comisión, de 3 de mayo, modificada posteriormente por otras Decisiones, transpuestas por la Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero) 10
- Tabla 1 2 Riesgos que debemos cuestionar relacionados con los residuos orgánicos (Navarro y col., 1995).....12
- Tabla 1 3 Conductividad eléctrica de diferentes residuos (Navarro y col., 1995).....14
- Tabla 1 4 Métodos de valorización y reciclado del alperujo Fuentes: (Paredes. C referencia bibliográfica por la unidad temática 2 de la asignatura 2.2 RES ORG de origen agroindustrial).....20
- Tabla 1 5 Condiciones deseables durante el proceso de compostaje (Fermor,1993; Rynk et al., 1992)27
- Tabla 1 6 Ventajas y desventajas de los sistemas de compostaje (FAO, Stickelberger, D. 1975)29
- Tabla 1 7 Tabla VII orden 10/2018 Comunidad Valencia, que indica las enmiendas mínimas y máximas recomendadas para diferentes leñosos.....33
- Tabla 3 1 Materiales iniciales: alperujo y hoja de olivo42
- Tabla 3.2. Desarrollo del ensayo44
- Tabla 3 3 caracterización de las materias primas a ensayar.46
- Tabla 3 4 Cálculo de la relación C/N mediante el programa del instituto Cornell.....50
- Tabla 3 5 Relación en materia fresca, materia seca y volumen del compost propuesto51
- Tabla 3 6 Calendario de seguimiento del proceso de compostaje52
- Tabla 4 1 Parámetros térmicos del proceso de compostaje GVA 9....60
- Tabla 4 2 Evolución de la densidad aparente durante el proceso de compostaje.....63

- Tabla 4 3 Evaluación de índices de estabilización de compost maduro.....80
- Tabla 4 4 Índices de estabilización en el compost maduro.....80
- Tabla 4 5 Necesidades de Nitrógeno Orden 10/2018 Valenciana 2018.....81
- Tabla 4 7 Analítica del compost ensayado.....81

