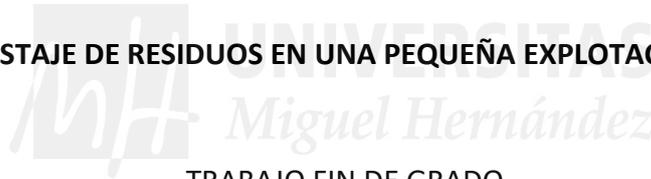


UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA
GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y AGROAMBIENTAL



“AGROCOMPOSTAJE DE RESIDUOS EN UNA PEQUEÑA EXPLOTACIÓN ECOLÓGICA”



TRABAJO FIN DE GRADO

Enero-2020

Autor: Rubén Párraga Riquelme

Tutor/es: Raúl Moral Herrero

María Dolores Pérez Murcia



AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de investigación fue realizado bajo la supervisión de los profesores María Dolores Pérez Murcia y Raúl Moral Herrero, a quienes me gustaría expresar mi agradecimiento, por su paciencia, tiempo y dedicación a lo largo de todo el proceso.

A los técnicos de laboratorio de la universidad, en especial a Borja, por haberme ayudado durante todo el proceso, tanto en los trabajos de campo como en los de laboratorio.

A mis padres y hermanos, por haberme apoyado siempre en todo lo que he hecho y por estar ahí siempre que los necesito. Haciendo mención especial a mi madre, por no haber dejado nunca de confiar en mí.

A mi primo Fran por acceder desde el primer momento en que le propuse realizar el proyecto en su finca y por ayudarme en todo lo que pudo.

Al resto de mi familia y amigos por estar siempre ahí aguantándome y ayudándome en todo lo que pueden. Haciendo aquí mención especial también a mi tío Javi, por no haber dejado nunca de recordarme lo que tenía que hacer.

REFERENCIAS DEL TRABAJO FIN DE GRADO

IDENTIFICACIONES

Autor: Rubén Párraga Riquelme

Título: Agrocompostaje de residuos en una pequeña explotación ecológica

Director: Raúl Moral Herrero

Co-Director: María Dolores Pérez Murcia

Año: 2.020

Titulación: Grado de Ingeniería Agroalimentaria y agroambiental

Tipo de proyecto: Trabajo experimental y descriptivo

Palabras clave: Compostaje, compost, valorización, residuo, agricultura ecológica, economía circular.

Nº de citas bibliográficas: 59

Nº de tablas: 27

Nº de figuras: 17

Nº de anexos: 0



RESUMEN

El compostaje es una alternativa a la gestión de los residuos vegetales agrícolas y además en el entorno de la agricultura ecológica permite la obtención de un material orgánico estabilizado que puede incorporarse a los suelos ecológicos ampliando la gama de productos que el agricultor puede disponer para su producción agrícola.

En este trabajo se desarrollan procesos de co-compostaje de estiércol de oveja y triturado de poda de cítricos con destríos hortícolas y plantas adventicias. Se analizan diversos parámetros que afectan al proceso de compostaje y al uso del compost final, así como los índices de madurez. Los resultados obtenidos nos muestran que el compostaje puede ser una buena alternativa a la gestión de los residuos siempre que los materiales sean los adecuados.

ABSTRACT



Composting is an alternative to the management of agricultural plant residues and also in the environment of organic farming allows obtaining a stabilized organic material that can be incorporated into organic soils by expanding the range of products that the farmer can have for production agricultural

In this work there are processes of co-composting of sheep manure and crushing of citrus pruning with horticultural remains and adventitious plants. Analyze various parameters that affect the composting process and the use of the final compost, as well as the maturity indexes. The results obtained show us that composting can be a good alternative to waste management as long as the materials are adequate.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Agricultura ecológica	9
1.2. Insumos autorizados en la agricultura ecológica	10
1.2.1. Reglamento insumos autorizados en la agricultura ecológica	11
1.2.2. Fertilizantes y fitosanitarios autorizados en la agricultura ecológica	14
1.3. Compostaje	19
1.3.1. Definición y etapas del proceso de compostaje	19
1.3.2. Condiciones del proceso	21
1.3.2.1. Parámetros de seguimiento	22
1.3.2.2. Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato	24
1.3.3. Utilización de compost en agricultura ecológica	25
2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	28
3. MATERIAL Y MÉTODOS	30
3.1. Diseño experimental	30
3.1.1. Características de los residuos utilizados	33
3.1.2. Dispositivo de compostaje utilizado	37
3.2. Desarrollo experimental	38
3.2.1. Cálculo y preparación de la mezcla	38
3.2.2. Seguimiento del proceso de compostaje	41
3.3. Métodos analíticos	43
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES	49
4.1. Evolución de los factores asociados al propio proceso de compostaje	49
4.1.1. Temperatura	49
4.2. Evolución de la fracción hidrosoluble: pH, conductividad eléctrica y polifenoles	53
4.2.1. pH	53
4.2.2. Conductividad eléctrica	54
4.2.3. Contenido en polifenoles	56
4.3. Evolución de la materia orgánica y de su fracción sólida	57
4.3.1. Materia orgánica	57
4.3.2. Pérdida de materia orgánica	58
4.3.3. Carbono orgánico total	60
4.3.4. Nitrógeno total	61

4.3.5. Relación C/N.....	63
4.3.6. Contenido en fósforo, potasio y sodio.....	64
4.4. Parámetros indicativos de la madurez del compost.....	68
4.4.1. Capacidad de cambio catiónico.....	68
4.4.2. Índice de germinación.....	69
4.4.3. Índices de humificación.....	70
4.5. Calidad agronómica de los compost obtenidos y dosificación.....	72
5. CONCLUSIONES.....	77
6. BIBLIOGRAFÍA.....	80



1. INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

1.1. Agricultura ecológica

En la sociedad actual se conoce la agricultura ecológica como un sistema de producción libre de productos químicos de síntesis, es decir, un tipo de agricultura en la que no se utilizan pesticidas, herbicidas ni abonos químicos, haciéndola más respetuosa con el medio ambiente y proporcionando unos alimentos saludables libres de tóxicos.

Esta definición, aunque es correcta, es insuficiente. La agricultura ecológica es algo más complejo que la simple sustitución de insumos químicos por insumos orgánicos.

A continuación, vamos a describir brevemente los puntos básicos en los que se basa la agricultura ecológica.

1. No utilizar ningún producto de síntesis química para el control de plagas y enfermedades, sino que se deberán utilizar métodos ecológicos preventivos.
2. No utilizar organismos genéticamente modificados (OGMs).
3. Mantenimiento de la biodiversidad en la explotación y en su entorno, mediante la rotación de cultivos, el uso de barreras vegetales, cubiertas vegetales, etc.
4. Evitar la degradación de la estructura del suelo y su erosión mediante la utilización de las técnicas de cultivo adecuadas para conseguir un suelo fértil.
 - 4.1. No utilizar fertilizantes de síntesis química.
 - 4.2. Incorporaciones de materia orgánica.
 - 4.3. Rotaciones de cultivos.
 - 4.4. Disminuir al mínimo las labores de suelo y realizarlas de forma correcta.
 - 4.5. Utilización de coberturas vegetales para la protección del suelo.
 - 4.6. Fomentar la biodiversidad del suelo.
5. Intentar conseguir un sistema cerrado en el grado de lo posible para lograr una autosuficiencia mediante la incorporación de animales, el aprovechamiento de residuos, compostaje, utilización de fuentes de energía renovables, abonos verdes, etc.

6. En las explotaciones ganaderas ecológicas se deberá garantizar el bienestar animal y adaptar las explotaciones a los hábitos de comportamiento de cada especie animal.
7. Producir alimentos de la máxima calidad, sanitaria y organoléptica.

En el presente trabajo nos centraremos principalmente en los puntos 4 y 5, ya que por un lado, con la aplicación del compost conseguiremos evitar la degradación del suelo mejorando su estructura y su fertilidad. Y por otro lado con la realización del compostaje, aunque el estiércol proceda de ganaderías externas, estamos reutilizando una gran cantidad de subproductos obtenidos durante el proceso de producción agrícola (restos de poda, restos de cosecha, etc.), que tras un proceso de compostaje, se convierten en un producto de calidad e interés para la producción agrícola. Por lo que estamos consiguiendo que el agricultor se acerque más a lo mencionado en el punto 5, alcanzar la autosuficiencia en la explotación, evitando en el máximo de lo posible la utilización de insumos externos, como dicta la filosofía de la agricultura ecológica.



1.2. Insumos autorizados en la agricultura ecológica

Cuando hablamos de agricultura ecológica, como hemos comentado en el apartado **1.1**, estamos hablando de un sistema de producción en el que mediante diferentes estrategias preventivas o métodos de producción, se debe intentar obtener en la medida de lo posible, un sistema de producción cerrado y autosuficiente. No obstante, esto no siempre es posible, por diferentes motivos (una presión descontrolada de plagas, carencias nutricionales en el cultivo, la imposibilidad de tener animales en la explotación, etc.).

Para suplir estas carencias, en el mercado existen diferentes insumos certificados para su uso en agricultura ecológica, a los que el agricultor puede tener acceso. En los siguientes apartados vamos a exponer las condiciones legislativas y las características de producción a las que deben estar sometidos los insumos utilizados en la producción

ecológica, centrándonos únicamente en la parte de la normativa que hace referencia a los fertilizantes, acondicionadores del suelo, nutrientes y productos fitosanitarios.

1.2.1. Reglamento insumos autorizados en la agricultura ecológica

El uso de fertilizantes, acondicionadores del suelo, nutrientes y productos fitosanitarios para el control de plagas y enfermedades solo estará permitido cuando su proceso de fabricación y etiquetado haya cumplido con el REGLAMENTO (UE) 2018/848 que entrará en vigor el 1 de enero de 2021 y por el que se deroga el Reglamento (CE) n.º 834/2007 del Consejo. No obstante, según enuncia dicho reglamento *“esa autorización solo debe ser válida mientras el uso de esos insumos externos en la producción no ecológica no esté prohibido por el Derecho de la Unión o la legislación nacional basada en el Derecho de la Unión. Se debe permitir en la producción ecológica el uso de productos o sustancias que contienen los productos fitosanitarios o que son ingredientes de los mismos, con excepción de las sustancias activas, siempre que su uso esté autorizado de conformidad con el Reglamento (CE) n.º 1107/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo y siempre que la comercialización o el uso de esos productos fitosanitarios no estén prohibidos por los Estados miembros de conformidad con dicho Reglamento”*.

Los insumos autorizados en la agricultura ecológica deberán cumplir lo enunciado en los apartados presentes en los artículos 9 (Normas generales de producción) y 24 (Autorización de productos y sustancias para su uso en la producción ecológica) del capítulo III (Normas de producción) del Reglamento (UE) 2018/848.

Los apartados a los que se hace referencia a dichos insumos en el **artículo 9** son los siguientes:

Apartado 1. Los operadores cumplirán las normas generales de producción establecidas en el presente artículo.

Apartado 2. Solamente podrán utilizarse los productos y sustancias autorizados en la producción ecológica, siempre que su utilización en la producción no ecológica también haya sido autorizada de conformidad con las disposiciones pertinentes de la

normativa de la Unión y, cuando proceda, de conformidad con disposiciones nacionales basadas en la normativa de la Unión.

Se permitirán los siguientes productos y sustancias a las que se refiere el artículo 2, apartado 3, del Reglamento (CE) nº 1107/2009 para su uso en la producción ecológica, siempre que estén autorizados de conformidad con dicho Reglamento:

- a) protectores, sinergistas y coformulantes como componentes de los productos fitosanitarios.
- b) adyuvantes para su mezcla con productos fitosanitarios.

Se permitirá el uso en la producción ecológica de productos y sustancias para fines distintos de los comprendidos en el ámbito del presente Reglamento, siempre que su uso respete los principios de la agricultura ecológica.

Apartado 6. Se adoptarán medidas preventivas y precautorias, cuando proceda, en cada etapa de producción, preparación y distribución.

Los apartados a los que se hace referencia a dichos insumos en el **artículo 24** son los siguientes:

Apartado 1. La Comisión podrá autorizar determinados productos y sustancias para su uso en la producción ecológica, e incluirá tales productos y sustancias autorizados en listas restringidas, con los siguientes fines:

- a) como sustancias activas para su utilización en productos fitosanitarios.
- b) como fertilizantes, acondicionadores del suelo y nutrientes.

Apartado 3. La autorización de los productos y sustancias a que se refiere el apartado 1, para su uso en la producción ecológica estará supeditada a los principios establecidos en el capítulo II (Objetivos y principios de la producción ecológica) y a los siguientes criterios, que se evaluarán en su conjunto:

- a) son esenciales para una producción sostenida y para el uso previsto.
- b) todos los productos y sustancias de que se trate son de origen vegetal, animal, microbiano, mineral o de algas, salvo en los casos en que no se disponga de cantidades o calidades suficientes de productos o sustancias de esas fuentes, o en los que no existan alternativas.

c) en el caso de los productos mencionados en el apartado 1, letra a) sustancias activas para su utilización en productos fitosanitarios:

- su empleo es esencial para el control de plagas para las que no existen otras alternativas biológicas, físicas o de selección, prácticas de cultivo u otras prácticas de gestión eficaces.

- si dichos productos no son de origen vegetal, animal, microbiano, mineral o de algas y no son idénticos a los que se dan en la naturaleza, sus condiciones de uso impiden todo contacto directo con las partes comestibles del cultivo.

d) en el caso de los productos mencionados en el apartado 1, letra b) fertilizantes, acondicionadores de suelo y nutrientes. Su uso es esencial para lograr o mantener la fertilidad del suelo o para satisfacer necesidades nutricionales específicas de los cultivos, o para fines específicos de acondicionamiento del suelo.

Apartado 5. La autorización del uso de productos o sustancias de síntesis química, de conformidad con los apartados 1 y 2 del presente artículo, se limitará exclusivamente a los casos en los que la utilización de los medios externos indicados en el artículo 5, letra g) del capítulo III del Reglamento (UE) 2018/848, contribuiría a efectos inaceptables en el medio ambiente.

Apartado 6. La Comisión estará facultada para adoptar actos delegados con arreglo al artículo 54 que modifiquen los apartados 3 y 4 del presente artículo añadiendo nuevos criterios para la autorización de los productos y sustancias indicados en los apartados 1 y 2 del presente artículo para su uso en la producción ecológica en general, y en la producción de alimentos ecológicos transformados en particular, así como nuevos criterios para la retirada de la autorización, o modificando dichos nuevos criterios.

Apartado 7. Cuando un Estado miembro considere que un producto o sustancia debe añadirse a las listas de productos y sustancias autorizados indicadas en los apartados 1 y 2 o ser retirado de ellas, o que deben modificarse las especificaciones de uso indicadas en las normas de producción, velará por que se envíe oficialmente a la Comisión y a los demás Estados miembros y se haga público, con sujeción a la legislación

de la Unión y nacional en materia de protección de datos, un expediente en que se expongan los motivos de la inclusión, retirada u otras modificaciones.

La Comisión publicará cualquier solicitud descrita en el presente apartado.

Apartado 9. La Comisión adoptará actos de ejecución relativos a la autorización o la retirada de la autorización de los productos y sustancias de conformidad con los apartados 1 y 2 que pueden utilizarse en la producción ecológica en general y en la producción de alimentos ecológicos transformados en particular, y que establezcan los procedimientos que han de seguirse para dicha autorización y la elaboración de listas de dichos productos y sustancias y, en su caso, su descripción, requisitos de composición y condiciones de uso.

Dichos actos de ejecución se adoptarán de conformidad con el procedimiento de examen a que se refiere el artículo 55, apartado 2 del capítulo III del Reglamento (UE) 2018/848, contribuiría a efectos inaceptables en el medio ambiente.

1.2.2. Fertilizantes y fitosanitarios autorizados en la agricultura ecológica

Las Materias primas autorizadas para la producción de fertilizantes y fitosanitarios en la agricultura ecológica están recogidas en el Reglamento (UE)2018/1584 .

En la tabla **1.1** se recogen los fertilizantes, acondicionadores del suelo y nutrientes permitidos en la agricultura ecológica.

En la tabla **1.2** se recogen los fitosanitarios autorizados para su uso en agricultura ecológica.

Tabla 1.1. Fertilizantes, acondicionadores del suelo y nutrientes permitidos en la agricultura ecológica (REGLAMENTO DE EJECUCIÓN UE 2018/1584).

Denominación Productos en cuya composición entren o que contengan únicamente las materias enumeradas en la lista siguiente:	Descripción, requisitos de composición y condiciones de utilización
Estiércol de granja	Producto constituido mediante la mezcla de excrementos de animales y de materia vegetal (cama) Prohibida la procedencia de ganaderías intensivas
Estiércol desecado y gallinaza deshidratada	Prohibida la procedencia de ganaderías intensivas
Mantillo de excrementos sólidos, incluidos la gallinaza y el estiércol compostado	Prohibida la procedencia de ganaderías intensivas
Excrementos líquidos de animales	Utilización tras una fermentación controlada o dilución adecuada Prohibida la procedencia de ganaderías intensivas
Mezclas de residuos domésticos compostados o fermentados	Producto obtenido a partir de residuos domésticos separados en función de su origen, sometido a un proceso de compostaje o a una fermentación anaeróbica para la producción de biogás Únicamente residuos domésticos vegetales y animales Únicamente cuando se produzcan en un sistema de recogida cerrado y vigilado, aceptado por el Estado miembro. Concentraciones máximas en mg/kg de materia seca: cadmio: 0,7; cobre: 70; níquel: 25; plomo: 45; zinc: 200; mercurio: 0,4; cromo (total): 70; cromo (VI): no detectable
Turba	Utilización limitada a la horticultura (cultivo de hortalizas, floricultura, arboricultura, viveros)
Mantillo procedente de cultivos de setas	La composición inicial del sustrato debe limitarse a productos del presente anexo.
Deyecciones de lombrices (humus de lombriz) e insectos	
Guano	
Mezclas de materias vegetales compostadas o fermentadas	Producto obtenido a partir de mezclas de materias vegetales, sometido a un proceso de compostaje o a una fermentación anaeróbica para la producción de biogás
Digerido de biogás, con subproductos animales codigeridos con material de origen vegetal o animal recogido en el presente anexo	Los subproductos animales (incluidos los subproductos de animales salvajes) de la categoría 3 y el contenido del tubo digestivo de la categoría 2 [las categorías 2 y 3 son las definidas en el Reglamento (CE) n.o 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo] no deben proceder de ganaderías intensivas. Los procedimientos tienen que ajustarse a lo dispuesto en el Reglamento (UE) n.o 142/2011 de la Comisión.

Denominación Productos en cuya composición entren o que contengan únicamente las materias enumeradas en la lista siguiente:	Descripción, requisitos de composición y condiciones de utilización
	No debe aplicarse a las partes comestibles del cultivo.
Productos o subproductos de origen animal mencionados a continuación: harina de sangre polvo de pezuña polvo de cuerno polvo de huesos o polvo de huesos desgelatinizado harina de pescado harina de carne harina de pluma lana aglomerados de pelos y piel (1) pelos productos lácteos proteínas hidrolizadas (2)	1) Concentración máxima en mg/kg de materia seca de cromo (VI): no detectable 2) No debe aplicarse a las partes comestibles del cultivo.
Productos y subproductos de origen vegetal para abono	Ejemplos: harina de tortas oleaginosas, cáscara de cacao y raicillas de malta
Proteínas hidrolizadas de origen vegetal	
Algas y productos de algas	En la medida en que se obtengan directamente mediante: i) procedimientos físicos, incluidas la deshidratación, la congelación y la trituración. ii) extracción con agua o con soluciones acuosas ácidas y/o alcalinas. iii) fermentación.
Serrín y virutas de madera	Madera no tratada químicamente después de la tala
Mantillo de cortezas	Madera no tratada químicamente después de la tala
Cenizas de madera	A base de madera no tratada químicamente después de la tala
Fosfato natural blando	Producto especificado en el punto 7 del anexo IA.2. del Reglamento (CE) n.º 2003/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a los fertilizantes Contenido de cadmio inferior o igual a 90 mg/kg de P205
Fosfato aluminocálcico	Producto especificado en el punto 6 del anexo IA.2. del Reglamento (CE) n.º 2003/2003 Contenido de cadmio inferior o igual a 90 mg/kg de P205 Utilización limitada a los suelos básicos (pH > 7,5)
Escorias de defosforación	Producto especificado en el punto 1 del anexo IA.2. del Reglamento (CE) n.º 2003/2003
Sal potásica en bruto o kainita	Producto especificado en el punto 1 del anexo IA.3. del Reglamento (CE) n.º 2003/2003

Denominación Productos en cuya composición entren o que contengan únicamente las materias enumeradas en la lista siguiente:	Descripción, requisitos de composición y condiciones de utilización
Sulfato de potasio que puede contener sal de magnesio	Producto obtenido a partir de sal potásica en bruto mediante un proceso de extracción físico, y que también puede contener sales de magnesio
Vinaza y extractos de vinaza	Excluidas las vinazas amoniacaes
Carbonato de calcio (creta, marga, roca calcárea molida, arena calcárea, creta fosfatada)	Únicamente de origen natural
Magnesio y carbonato de calcio	Únicamente de origen natural Por ejemplo, creta de magnesio, roca de magnesio calcárea molida
Sulfato de magnesio (kieserita)	Únicamente de origen natural
Solución de cloruro de calcio	Tratamiento foliar de los manzanos, a raíz de una carencia de calcio
Sulfato de calcio (yeso)	Producto especificado en el punto 1 del anexo ID. del Reglamento (CE) n.o 2003/2003 Únicamente de origen natural
Cal industrial procedente de la producción de azúcar	Subproducto de la producción de azúcar a partir de remolacha azucarera y caña de azúcar
Cal industrial procedente de la producción de sal al vacío	Subproducto de la producción de sal al vacío a partir de la salmuera natural de las montañas
Azufre elemental	Productos especificados en el anexo ID.3 del Reglamento (CE) n.o 2003/2003
Oligoelementos	Micronutrientes inorgánicos enumerados en la parte E del anexo I del Reglamento (CE) n.o 2003/2003
Cloruro de sodio	Solamente sal gema
Polvo de roca y arcilla	
Leonardita (sedimento orgánico sin tratar rico en ácidos húmicos)	Únicamente si se obtiene como subproducto de actividades mineras
Xylitol	Únicamente si se obtiene de explotaciones sostenibles, tal como se definen en el artículo 3, letra e), del Reglamento (CE) n.o 2371/2002 del Consejo o de la acuicultura ecológica
Sedimento rico en materia orgánica procedente de masas de agua dulce y formado en ausencia de oxígeno (por ejemplo, sapropel)	Únicamente sedimentos orgánicos que sean subproductos de la gestión de masas de agua dulce o se hayan extraído de antiguas zonas de agua dulce En su caso, la extracción debe efectuarse de forma que sea mínimo el impacto causado al sistema acuático. Únicamente sedimentos procedentes de fuentes libres de contaminación por plaguicidas, contaminantes orgánicos persistentes y sustancias análogas de la gasolina Concentraciones máximas en mg/kg de materia seca: cadmio: 0,7; cobre: 70; níquel: 25; plomo: 45; zinc: 200; mercurio: 0,4; cromo (total): 70; cromo (VI): no detectable

Tabla1.2. Productos fitosanitarios permitidos en la agricultura ecológica (REGLAMENTO DE EJECUCIÓN UE 2018/1584).

Denominación	Descripción, requisitos de composición y condiciones de utilización
Sustancias de origen vegetal o animal	
<i>Allium sativum</i> (Extracto de ajo)	
Azadiractina extraída de <i>Azadirachta indica</i> (árbol del neem)	
Sustancias básicas (en particular: lecitinas, sacarosa, fructosa, vinagre, lactosuero, clorhidrato de quitosano (1) y <i>Equisetum arvense</i> , etc.)	Únicamente las sustancias básicas a tenor del artículo 23 del Reglamento (CE) n.º 1107/2009(2) que sean alimentos, tal como se definen en el artículo 2 del Reglamento (CE) n.º 178/2002, y tengan origen vegetal o animal. Sustancias que no deben utilizarse como herbicidas, sino únicamente para el control de plagas y enfermedades.
Cera de abejas	Solo como agente para la poda/protector de madera.
Sustancia activa COS-OGA	
Proteínas hidrolizadas salvo la gelatina	
Laminarina	Las laminarias se cultivarán de forma ecológica de acuerdo con el artículo 6 <i>quinquies</i> o se recolectarán de forma sostenible de acuerdo con el artículo 6 <i>quater</i> .
Feromonas	Únicamente en trampas y dispersores.
Aceites vegetales	Todas las utilizaciones autorizadas, salvo como herbicida.
Piretrinas extraídas de <i>Chrysanthemum cinerariaefolium</i>	
Piretroides (solo deltametrina o lambdacihalotrina)	Únicamente en trampas con atrayentes específicos; únicamente contra <i>Bactrocera oleae</i> y <i>Ceratitis capitata</i> Wied.
Cuasia extraída de <i>Quassia amara</i>	Únicamente como insecticida y repelente.
Repelentes (por el olor) de origen animal o vegetal/grasa de ovino	Solo para las partes no comestibles del cultivo y cuando el material del cultivo no sea ingerido por ovejas ni cabras.
<i>Salix spp.</i> Cortex (también denominado extracto de corteza de sauce)	
Microorganismos o sustancias producidas por microorganismos	
Microorganismos	No procedentes de OMG.
Espinosad	
Sustancias distintas de las de origen vegetal o animal y de los microorganismos o sustancias producidas por microorganismos	
Silicato de aluminio (caolín)	
Hidróxido de calcio	Cuando se utilice como fungicida, solo para árboles frutales (incluso en viveros), para el control de <i>Nectria galligena</i> .
Compuestos de cobre en forma de: hidróxido de cobre, oxiclorigenato de cobre, óxido de cobre, caldo bordelés y sulfato tribásico de cobre	Hasta 6 kg de cobre por ha y año. No obstante lo dispuesto en el párrafo anterior, en el caso de los cultivos perennes, los Estados miembros podrán disponer que el límite de 6 kg de cobre pueda excederse durante un año determinado, siempre que la cantidad media empleada efectivamente durante un período de 5 años que abarque este

Denominación	Descripción, requisitos de composición y condiciones de utilización
	año más los cuatro años anteriores no supere los 6 kg.
Fosfato diamónico	Únicamente como atrayente en trampas
Etileno	Solo podrán autorizarse los usos en interiores como regulador del crecimiento vegetal. Las autorizaciones deberán limitarse a los usuarios profesionales.
Ácidos grasos	Todas las utilizaciones autorizadas, salvo como herbicida.
Fosfato férrico [ortofosfato de hierro (III)]	Preparados para su dispersión en la superficie entre las plantas cultivadas
Kieselgur (tierra de diatomeas)	
Polisulfuro de calcio	
Aceite de parafina	
Hidrogenocarbonato de potasio y sodio (también denominado bicarbonato de potasio y sodio)	
Arena de cuarzo	
Azufre	

1.3. Compostaje

1.3.1. Definición y etapas del proceso de compostaje

El compostaje es un proceso dinámico, biológico, aerobio y en consecuencia termófilo (Saña y Soliva, 1987), que para llevarse a cabo necesita: materia orgánica, población microbiana inicial y las condiciones óptimas para que ésta se desarrolle con multiplicidad de funciones y actividades sinérgicas (figura 1.1); para ello y para que la población microbiana sea lo más variada posible debe mantener una serie de equilibrios: aire/agua, biopolímeros y nutrientes y, en el caso de aplicarse a elevadas cantidades de RO, un control muy estricto para conseguir:

- Eficiencia en el proceso.
- Reducción al mínimo de las emisiones y de las pérdidas de nutrientes.
- Un producto final de características conocidas y adecuadas para su destino.

Las condiciones ambientales (físicas y químicas) en las que se desarrolla la actividad microbiana (afectando a su supervivencia, metabolismo y crecimiento) están

constantemente cambiando, como resultado de la acumulación de subproductos de su misma actividad (incluida la energía calorífica).

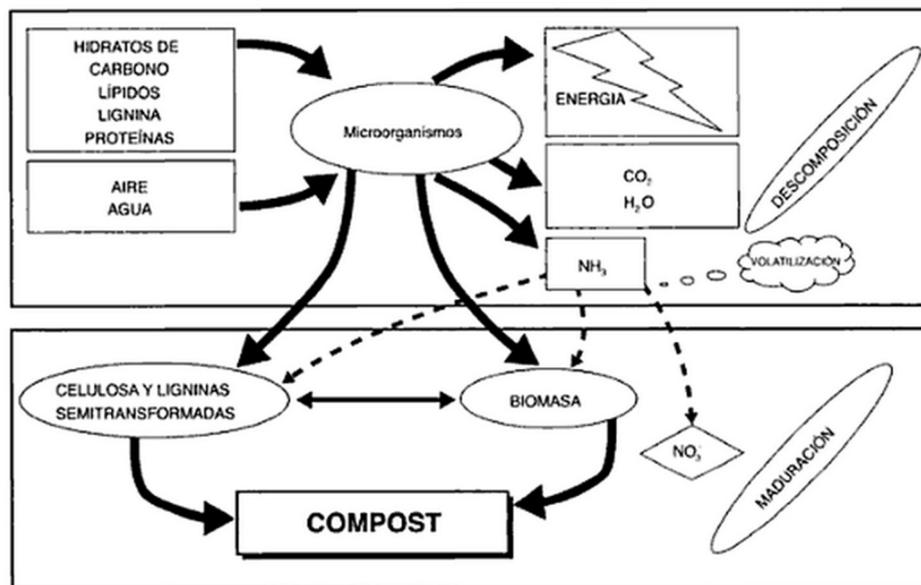


Figura 1.1. Esquema del proceso de compostaje. Fuente: (Compostaje, 2008).

Cuando hablamos de etapas o fases del proceso de compostaje, podemos decir que estas fases vendrá delimitadas por la temperatura, distinguiendo así cuatro fases características:

- Fase mesófila
- Fase termófila
- Fase de enfriamiento
- Fase de Maduración

Fase mesófila: durante la fase mesófila se produce el primer incremento de la temperatura, quedando la temperatura de esta fase comprendida entre los 10 °C y los 40 °C. La duración de la fase mesófila va desde menos de un día a varias semanas. La temperatura comienza a aumentar cuando empiezan a actuar las bacterias y los hongos mesófilos y termotolerantes que utilizan rápidamente sustancias carbonadas solubles y de fácil degradación (azúcares y aminoácidos). Durante esta etapa se produce una disminución del pH que puede llegar a descender hasta valores de 5,5, como consecuencia de la formación de ácidos orgánicos.

Fase termófila: cuando la temperatura alcanza valores de 40 °C, comienzan a aparecer microorganismos termotolerantes y termófilos, como actinomicetos (*Thermoactinomyces* sp.), diversos *Bacillus* spp termófilos y bacterias gram negativas como *Thermus* e *Hydrogenobacter*, dando lugar a la fase termófila que puede durar desde unos pocos días hasta varias semanas. Durante esta fase se produce la pasteurización del medio destruyéndose los microorganismos patógenos e inhibiendo la germinación de semillas de plantas adventicias. Ciertos microorganismos característicos de esta fase comienzan a metabolizar proteínas, incrementando la liberación de amoníaco dando lugar a una subida del pH pudiendo llegar a valores de 8. En esta fase se produce una gran demanda de oxígeno y se produce una gran mineralización de la materia orgánica.

Fase de enfriamiento: cuando la materia orgánica presente en los compost ha sido prácticamente transformada en su totalidad, la temperatura comienza a descender dando lugar a la aparición de organismos mesófilos diferentes a los de etapa inicial. En esta comunidad de organismos mesófilos predominan hongos y actinomicetos capaces de degradar compuestos complejos, como la lignina y la celulosa, dando lugar a sustancias húmicas. El pH se estabiliza y la demanda de oxígeno se reduce.

Fase de maduración: durante la fase final la actividad de los microorganismos se ve ralentizada, ya que la gran mayoría del material biodegradable se ha mineralizado durante la fase anterior. Esta fase puede llegar a durar meses a diferencia de las etapas anteriores. Aparecen otros microorganismos como protozoos, nematodos, miriápodos, etc. La temperatura disminuye hasta valores cercanos a los ambientales y el pH toma valores cercanos a la neutralidad.

1.3.2. Condiciones del proceso

Las variables más importantes que afectan a los sistemas de compostaje pueden ser clasificadas en dos tipos: parámetros de seguimiento (aquellos que han de ser medidos, seguidos durante todo el proceso y adecuados, en caso de ser necesario, para que sus valores se encuentren en los intervalos considerados correctos para cada fase

del proceso (Jeris y Regan, 1973) y parámetros relativos a la naturaleza del sustrato (aquellos que han de ser medidos y adecuados a sus valores correctos fundamentalmente al inicio del proceso) (Madejón y col., 2001).

1.3.2.1. Parámetros de seguimiento

Los parámetros más importantes para los microorganismos son la temperatura, oxígeno, humedad, pH y composición del sustrato (Miller, 1993). A continuación, procedemos a describir la influencia de cada uno de estos parámetros en el proceso de compostaje.

Temperatura: La temperatura a lo largo del proceso de compostaje, junto con el oxígeno es uno de los parámetros de control más importantes, por su evolución se puede conocer si el proceso de compostaje se está dando de una forma correcta y realizar un seguimiento del mismo.

Al inicio del proceso de compostaje toda la mezcla se encuentra a la misma temperatura, pero al proliferar los microorganismos se genera calor y se produce un aumento de la temperatura. Cada especie de microorganismos tiene un óptimo de temperatura a la que operará efectivamente, 15-40 °C para los microorganismos mesófilos y 40-70 °C para los microorganismos termófilos (Suler y col., 1977).

Humedad: El contenido de humedad de un compost es un factor crítico para conseguir un óptimo compostaje (Wiley, 1957), ya que el agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos, ya que es el medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células y de los productos de desecho de las reacciones que tienen lugar durante dicho proceso.

Los valores de humedad ideales pueden variar según el tipo de materiales y el sistema de compostaje utilizado, pero parece que contenidos de humedad entre el 50% y el 60% son los más adecuados (Hamoda et al., 1998)

Un exceso de humedad puede provocar una pérdida de oxígeno en la pila, algo que ralentizaría el proceso ya que se trata de un proceso aeróbico, por lo que según

(Miyatake y col.,2006) la humedad de la masa de compostaje debe ser tal que el agua no llegue a ocupar totalmente los poros de dicha masa. Una humedad excesiva también puede provocar la lixiviación de los nutrientes más móviles.

pH: el pH inicial variará según el tipo de ingredientes de la mezcla y de sus proporciones, siendo normal un rango inicial de pH de entre 6-7. El pH tiene una gran influencia sobre el proceso de compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos. Del pH también dependerá la solubilidad y la disponibilidad de los nutrientes utilizados por los microorganismos, así como la capacidad para solubilizarse de los metales pesados presentes en el sustrato.

A lo largo del proceso de compostaje se producen variaciones en el pH divididas en tres fases:

- **Fase mesófila:** el pH disminuye por debajo de la neutralidad debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica más lábil dando lugar a la liberación de ácidos orgánicos.
- **Fase termófila:** durante la fase termófila el pH asciende por encima de la neutralidad debido a la pérdida de los ácidos orgánicos y a la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas (Sánchez-Monedero,2001).
- **Fase de enfriamiento y madurez:** el pH vuelve a la neutralidad debido a la formación de compuestos húmicos con propiedades tampón.

Aireación: el compostaje es un proceso aerobio, por lo tanto, una buena aireación que aporte oxígeno es fundamental para el correcto desarrollo del proceso.

El tipo de aireación variará según la naturaleza y disposición de los componentes (material bien triturado, espacio entre materiales, humedad de la pila, etc) y según el sistema de compostaje utilizado, ya que según el sistema elegido la aireación se podrá llevar a cabo mediante volteo tradicional o mediante sistema de aireación forzada.

Una aireación insuficiente provoca una sustitución de los microorganismos aerobios por anaerobios, con el consiguiente retardo en la descomposición, la aparición del sulfuro de hidrógeno y la producción de malos olores (Bidlingmaier, 1996). Por otro lado, un

exceso de ventilación podría provocar el enfriamiento de la masa y una alta desecación con la consiguiente reducción de la actividad metabólica de los microorganismos (Zhu, 2006).

1.3.2.2. Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato

Los parámetros relativos a la naturaleza del sustrato son el tamaño de partícula, Relaciones C/N, Nutrientes, Materia orgánica y conductividad eléctrica.

Tamaño de las partículas: Otra de las propiedades físicas importantes en el compostaje es el tamaño de las partículas, que no afecta solamente a la retención de la humedad sino también al espacio para el aire libre (Jeris y Regan, 1973), y a la porosidad del compost (Naylor, 1996).

Al realizarse el triturado de los materiales se aumenta la superficie expuesta al ataque microbiano por unidad de masa, pero también hay que tener en cuenta que se reduce la aireación, ya que cualquier forma de compactación que limite el espacio del aire reducirá la permeabilidad de éste e incrementará la resistencia al flujo del aire (Singley et al., 1982).

Las dimensiones consideradas óptimas son distintas según los criterios de distintos autores, variando entre 1 y 5 cm (Haug, 1993) o entre 2,5 y 2,7 cm (Tchobanogolus y col., 1994). En cuanto al espacio entre materiales se estima que el espacio ideal para el aire libre de un compost sea entre el 32% y el 36% (Epstein, 1997).

Relaciones C/N: la relación carbono-nitrógeno es un parámetro fundamental para un correcto aprovechamiento en el proceso de compostaje y una buena retención del carbono y del nitrógeno. Teóricamente se considera que una relación C/N óptima para un correcto proceso de compostaje se encuentre en un rango de 25-35 (Jhorar y col, 1991).

Cuando la relación C/N es superior a 35, el proceso de compostaje se ralentiza hasta que el exceso de carbono es oxidado y la relación C/N desciende a valores adecuados para

el metabolismo, en cambio si la relación C/N es inferior a 25 se producen pérdidas considerables de nitrógeno en forma de amonio.

En la práctica se considera que un compost está maduro cuando su relación C/N es inferior a 20.

Nutrientes: Los microorganismos encargados de llevar a cabo el proceso de compostaje necesitan de diferentes nutrientes esenciales para llevar a cabo su nutrición, desarrollo y reproducción. De los diferentes elementos que componen el sustrato los más importantes son el C, N y el P, ya que se trata de macronutrientes fundamentales para el correcto desarrollo de los microorganismos. Además de estos existen otros nutrientes presentes en menor cantidad (micronutrientes).

Se comprueba que, en general, entre el inicio y el final de la incubación se produce un aumento de las concentraciones de los distintos nutrientes, debido a la pérdida de materia orgánica de la masa a compostar (Díaz y col., 2004, Michel y col., 2004).

Materia orgánica: El conocimiento del contenido de los compost en materia orgánica es fundamental, pues se considera como el principal factor para determinar su calidad agronómica (Kiehl, 1985). Durante el compostaje la materia orgánica tiende a descender debido a su mineralización y a la consiguiente pérdida de carbono en forma de anhídrido carbónico; estas pérdidas pueden llegar a representar casi el 20% de la masa compostada (Zuconni y col., 1987).

Conductividad eléctrica: La CE de un compost está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones amonio o nitratos formados durante el proceso (Sánchez-Monedero, 2001).

1.3.3. Utilización de compost en agricultura ecológica

En la práctica el compost no debe estar considerado como un fertilizante, ya que el nitrógeno presente en este tipo de mezclas es de liberación lenta, por lo que no cubrirá las necesidades reales de nitrógeno de los cultivos, especialmente en los

periodos de máxima demanda. El uso más frecuente del compost en la agricultura ecológica debido a sus características es el de enmienda orgánica.

La materia orgánica del suelo desempeña una función esencial en el mantenimiento de las funciones del suelo y la prevención de la degradación de este. Al realizar aplicaciones de compost en los suelos podemos incrementar su contenido en materia orgánica y mejorar de las diferentes propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

A continuación, se enuncian brevemente las diferentes mejoras que podemos conseguir con la aplicación frecuente de compost en los sistemas de producción agrícola.

- Evitar la compactación de los suelos aumentando la porosidad y facilitando el desarrollo radicular de las plantas.
- Mejora de las propiedades hidrofísicas de los suelos, aumentando la retención hídrica y evitando el sellamiento del suelo y con ello las escorrentías y su erosión
- Mejora de la capacidad de intercambio catiónico de los suelos.
- Efectos positivos sobre el pH del suelo, en suelos ácidos elevando ligeramente el pH y en suelos básicos actuando como amortiguador.
- Mejoran la fertilidad de los suelos.
- Mejora de la microbiota edáfica aumentando su población.
- Mejora del desarrollo vegetal.
- Ejerce un control biológico debido a la presencia en los compost de especies microbianas capaces de ejercer un control sobre determinados fitopatógenos.

Además de todas las ventajas citadas anteriormente no debemos olvidar que el compostaje está considerado como una herramienta de lucha contra el cambio climático, ya que el aporte de materia orgánica a los suelos está considerado como unas de las mejores acciones de mitigación de cambio climático, según se recoge en la publicación del IPCC de 2019. Los suelos del área mediterránea tienen escasos niveles de materia orgánica, luego tienen un alto potencial para la mitigación del cambio climático, a través del secuestro de carbono.

2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS



2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

Como hemos comentado anteriormente, la agricultura ecológica, se define como un sistema de producción agrícola cerrado en el que se persigue conseguir un sistema autosuficiente. Con la presente investigación se pretende ayudar a que un pequeño agricultor con sus propios residuos, generados en su explotación de cítricos y hortícolas, sea capaz de darles un nuevo uso mediante el co-compostaje, acercándolo al principio de autosuficiencia que defiende la economía circular.

Con el compostaje el agricultor tiene una nueva alternativa a la gestión de sus residuos, que hasta ahora simplemente incorporaba al terreno, convirtiendo estos restos agrícolas en un fertilizante estabilizado y rico en materia orgánica, que le ayudará a reducir la entrada de fertilizantes externos a su finca y a mejorar las propiedades físico-químicas de su suelo, aprovechándose de todos los beneficios del compost, comentados en el apartado anterior.

Por tanto, en el presente trabajo de investigación el objetivo perseguido será el siguiente:

*Con el **objetivo** de dar un nuevo valor a sus residuos y, aprovechando que el agricultor anualmente compra estiércol ovino maduro de ganadería extensiva y ecológica para su uso como enmienda orgánica, la presente investigación se centrará en la realización de un proceso de co-compostaje del estiércol y los destríos hortícolas empleando como estructurante el triturado de poda de cítricos, los restos de hortícolas y plantas adventicias, mediante el montaje de tres pilas con diferente composición, volteos periódicos y riego localizado.*

Para llevar a cabo dicho objetivo, se establecen los siguientes procesos a realizar:

- Caracterización inicial de los residuos a compostar.
- Diseño de un sistema de compostaje.
- Seguimiento de los parámetros indicadores del proceso de compostaje, a nivel de temperatura y aireación.
- Estudio de la evolución de características físicoquímicas y químicas de la mezcla de residuos a lo largo del proceso de compostaje, así como del producto final obtenido (compost).

3. MATERIAL Y MÉTODOS



3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Diseño experimental

Este ensayo se realizó en una finca agrícola de la Aparecida perteneciente a un agricultor ecológico. Se planteó valorizar los residuos de cultivos hortícolas, las plantas adventicias y la poda de cítricos que disponía en la finca mediante co-compostaje con estiércol. Para llevar cabo el proyecto, en un primer momento se plantearon tres pilas experimentales colocadas al aire libre, en una de las parcelas de la finca, mediante el uso de un tractor con pala culona. El material en las pilas fue dispuesto en tres capas tipo sándwich. En la primera capa se colocaron los restos de poda de cítricos, en la segunda capa el estiércol ovino de ganadería ecológica, y en la última capa los diferentes restos vegetales empleados. Tras la colocación de los diferentes materiales se procedió a la realización de un volteado para que se produzca una mezcla homogénea de los diferentes materiales. Finalmente se instaló el sistema de fertirrigación encima de las pilas mediante el uso de gomas laterales portagoteros, con goteros de 4 litros. Durante 4 semanas se mantuvo el sistema de un proceso de compostaje en sistema abierto, con volteo semanal de tipo manual, controlando diariamente temperatura y humedad, pero no se consiguió un aumento de las temperaturas a fase termófila, a pesar de incrementar la proporción de estiércol a la tercera semana desde el inicio, por lo que se procedió a introducir las mezclas en composteras con el fin de que genera una atmósfera estable capaz de retener el calor generado necesario para el proceso.

El diseño experimental que se estableció, dividido en 4 fases, fue el siguiente:

Fase 1: Caracterización inicial de los residuos a compostar.

Fase 2: Configuración de la mezcla a compostar.

Fase 3: Desarrollo del sistema de compostaje.

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 5: Dosificación y calidad agronómica de los compost obtenidos.

Fase1: Caracterización de las materias primas utilizadas en el proceso de compostaje

Se realizó una caracterización inicial de los residuos a compostar con el fin de establecer con posterioridad las estrategias de compostaje más adecuada en función de la tipología de estos materiales. Esto nos permite establecer una buena relación de C/N en la mezcla inicial para la obtención de composts con buenas características para su posterior uso.

Las materias primas de las que se disponía inicialmente son las siguientes:

- Destrío de cebolla.
- Destrío de calabaza.
- Destrío de lechuga.
- Poda de cítricos.
- Plantas adventicias.
- Estiércol de oveja maduro.

Los parámetros analizados en las muestras de materiales iniciales fueron:

- Humedad
- Densidad
- pH
- Conductividad eléctrica
- Materia orgánica
- COT
- Nitrógeno total
- Fósforo
- Potasio y sodio
- Polifenoles.

Fase 2: Configuración de la mezcla a compostar

Para configurar mezclas de compostaje hay que analizar las diferentes propiedades físico-químicas de las diferentes materias primas para poder elegir la mezcla más adecuada, teniendo en cuenta su relación C/N, para que el proceso se

desarrolle de la forma que esperamos. Para el montaje de nuestras tres pilas también se tuvo en cuenta la humedad y la densidad aparente de las diferentes materias primas.

Fase 3: Desarrollo del sistema de compostaje mediante compostera

Tras analizar las propiedades de las diferentes materias primas se establecieron 3 mezclas de residuos para tratar en sistemas de compostaje al aire libre mediante volteos periódicos, controlando diariamente temperatura y humedad. Tal y como se ha comentado anteriormente este sistema se mantuvo durante 4 semanas con volteo semanal de tipo manual, pero al no conseguirse un aumento de las temperaturas a fase termófila, a pesar de incrementar la proporción de estiércol a la tercera semana desde el inicio, se procedió a introducir las mezclas en composteras con el fin de que genera una atmosfera estable capaz de retener el calor generado necesario para el proceso.

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

Tras el análisis de las propiedades físico-químicas de las diferentes materias primas se obtuvieron todos los datos expuestos en la fase 1. Después de este análisis inicial durante el proceso de co-compostaje, desde el inicio hasta la obtención del compost finalizado se llevarán a cabo diferentes medidas para ir controlando que el proceso se va desarrollando con normalidad y que el producto final cumple con los requisitos agronómicos necesarios para su aplicación. Las medidas a realizar son las siguientes:

- Asociados al propio proceso de compostaje: temperatura, humedad y densidad.
- Asociados a la evolución de la fracción hidrosoluble: pH, conductividad eléctrica y polifenoles.
- Asociados a la evolución de la materia orgánica y de su fracción sólida: contenido en materia orgánica, carbono orgánico, pérdida de la materia

orgánica y relación entre el carbono orgánico total y el nitrógeno total, contenidos de macronutrientes NPK y de Na.

- Asociados a la madurez del compost: capacidad de intercambio catiónico, índice de germinación e índices de humificación.

Fase 5: Dosificación y calidad agronómica del compost

Se analizarán todos los resultados obtenidos para poder establecer la calidad agronómica de los diferentes compost y si son interesantes para el uso agrícola.

Seguidamente se realizará el cálculo de la cantidad de nitrógeno aportada por cada tonelada de compost aplicada por hectárea y año. También se indicará el límite de aportación de compost para no superar los 170 kg/ha y año que limita la legislación para prevenir la contaminación por nitratos (RD 261/1996, de 16 de febrero, sobre la protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias).



3.1.1. Características de los residuos utilizados

En este apartado vamos a describir las diferentes características físico-químicas (tabla **3.1.**) y la procedencia, de las materias primas de las que se disponía al comienzo de la investigación y las cuales nos permitieron tomar la decisión de cuáles eran las mezclas más adecuadas para configurar las pilas de la forma más conveniente.

Diversas imágenes de los materiales utilizados para elaborar las mezclas de las pilas de compostaje se muestran en la figura **3.1** así como de su manejo y acondicionamiento para el análisis de propiedades en la figura **3.2**.

Tabla 3.1. Características de los materiales utilizados para elaborar la pila.

Propiedades	Destrío lechuga (MP-166)	Destrío cebolla (MP-167)	Destrío calabaza (MP-168)	Estiércol oveja (MP-169)	Hierbas Adventicias (MP-175)	Poda de cítrico (MP-176)
Humedad (%)	90,5	90,7	82,8	51,2	85,4	11,1
Materia seca (%)	9,5	9,3	17,2	48,8	14,6	88,9
Densidad aparente(kg/L)	0,138	0,349	0,358	0,348	0,106	0,074
pH(unidad pH)	6,4	4,7	5,8	8,2	6,2	5,7
Conductividad eléctrica (dS/m)	2,1	2,1	2,1	2,0	13,1	1,6
Materia orgánica total, MOT (%)	72,6	91,5	84,4	57,4	85,2	69,4
Nitrógeno total, NT (%)	2,93	2,25	3,30	2,91	2,95	0,86
Carbono total, CT (%)	35,3	41,7	42,4	30,4	42,1	45,5
Relación CT/NT	12,1	18,6	12,8	10,5	14,3	53,0
Fósforo total, P total (g/kg)	3,2	6,6	6,0	2,01	3,56	0,54
Potasio total, K total (g/kg)	58,8	33,5	55,1	49,9	37,6	3,9
Sodio total, Na total (g/kg)	16,3	6,0	3,4	14,9	26,2	0,5
Polifenoles mg/kg	8.057	26.630	9.563	3.700	10.478	8.178

Analizando los resultados obtenidos estas son las características de las diferentes materias primas utilizadas en el estudio:

- **Estiércol ovino:** esta materia prima es adquirida por el agricultor, y procede de ganadería ecológica extensiva de la provincia de Cuenca. El estiércol adquirido es un estiércol maduro o degradado. No presenta malos olores y presenta una baja actividad térmica de 35 °C a 45 °C. Su relación Carbono/Nitrógeno es de 10, se trata de una relación C/N baja que nos indica que el estiércol está muy maduro. De todos los valores destacan el potasio total de 49,9 g/kg y su elevado pH de 8,2.
- **Poda de cítrico:** los restos de poda de cítrico no tienen origen externo, si no que se generan todos los años en la propia finca tras la realización de la poda anual, que normalmente es triturada e incorporada al terreno. Este año una parte fue triturada y amontonada para ser usada en la investigación. Destaca su baja densidad aparente y una relación C/N alta por su bajo contenido en nitrógeno, lo que la convierte en un perfecto estructurante para su uso en procesos de co-compostaje.

- **Plantas adventicias:** las hierbas adventicias emergen de forma espontánea en las diferentes parcelas de la explotación, en este caso fueron recolectadas de una de las parcelas destinada al cultivo de hortícolas. El conjunto de plantas adventicias utilizado en el proyecto está formado principalmente por *Senecio vulgaris*, *Hordeum murinum*, *Malva sylvestris* y *Beta maritima*. Su relación C/N es baja y su CE elevada debido a que presentan una concentración elevada de potasio y sodio.
- **Destrío de calabaza:** en la finca se llevan a cabo plantaciones de calabaza en la temporada de primavera-otoño, de las cuales no todas son aptas para su venta en fresco, por lo que son destriadas. Este destrío es el que aprovecharemos como materia prima para co-compostar. La materia prima destaca por su elevada humedad y su elevado contenido de nitrógeno, ya que su relación C/N es baja.
- **Destrío de cebolla:** en la finca se cultivan cebollas en la temporada de primavera-otoño, y no todas las cebollas son aptas para su venta en fresco por lo que se destrian. Este destrío también será utilizado como materia prima del proceso de co-compostaje. Como materia prima destaca su composición rica en carbohidratos, su elevada humedad y su elevado contenido en polifenoles. Esto es debido a que las cebollas pertenecen al género *Allium*, y presenta un elevado poder antimicrobiano. Debido a esta característica es posible que en las primeras etapas del compostaje ejerza un efecto inhibitor del proceso. Su pH es el más ácido de todas las materias primas.
- **Destrío de lechuga:** en la explotación se cultivan lechugas en el periodo de otoño-invierno. No todas las lechugas son aptas para su venta en fresco, además de que a la hora de la recolección se retiran muchas hojas exteriores estropeadas que aprovecharemos junto a las piezas completas no aptas para nuestra investigación. Como materia prima destaca por su elevada humedad, por una relación C/N baja y por su elevada concentración en sodio y potasio.



Estiércol ovejo extensivo



Plantas adventicias



Poda de cítricos



Destrío de cebolla



Destrío de calabaza



Destrío de lechuga

Figura 3.1. Materiales utilizados para elaborar las mezclas de las pilas de compostaje.



Figura 3.2. Manejo de las materias primas para su acondicionamiento.

3.1.2. Dispositivo de compostaje utilizado

El proceso de compostaje objeto de este estudio se ha desarrollado en una de las parcelas de una finca ecológica de la localidad de La Apareciada, municipio de Orihuela.

El sistema de compostaje planteado inicialmente es el de 3 pilas mediante sistema abierto, con volteos periódicos de tipo manual, controlando periódicamente la temperatura y la humedad de las diferentes pilas. La humectación se realiza mediante manguera portagoteros para garantizar la humedad de las pilas durante todo el proceso

de compostaje, pudiendo controlar el caudal irrigado.

Tras no conseguir los resultados esperados con el sistema de compostaje en abierto se procedió a cambiar el sistema de compostaje al uso de composteras, dos de ellas de 400 litros y una de 800 litros. El riego se realizó de forma manual mediante una manguera, la aireación mediante vaciado y volteado manual y la toma de temperaturas se realizó mediante una sonda térmica en 6 puntos diferentes de las composteras.

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 las 3 mezclas a compostar.
2. Seguimiento del proceso de compostaje.
3. Métodos analíticos

3.2.1. Cálculo y preparación de la mezcla

Para llevar a cabo la realización de este proyecto, se diseñaron 3 mezclas diferentes con los ingredientes disponibles. Para elegir la mejor opción de ingredientes para cada pila y la proporción adecuada de los ingredientes a compostar de poda de cítricos, hierbas adventicias, destrío de cebolla, destrío de calabaza, destrío de lechuga y estiércol de oveja extensiva, que permitieran que el proceso de compostaje se diera de forma adecuada y que el producto obtenido fuera de interés agronómico, se analizó la relación de C/N de cada ingrediente y se configuraron las pilas de tal manera que la relación C/N quedará dentro del rango óptimo, entre 25 y 35. Este proceso se realizó

utilizando las siguientes expresiones:

**Expresión para pila de 3 ingredientes*

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

Ecuación (2)

$$CN = \frac{(A \times \%C_A \times \%MS_A) + (B \times \%C_B \times \%MS_B) + (C \times \%C_C \times \%MS_C)}{(A \times \%N_A \times \%MS_A) + (B \times \%N_B \times \%MS_B) + (C \times \%N_C \times \%MS_C)}$$

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

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

MS = Materia seca.

Con el programa gratuito que ofrece el “Cornell Waste Management Institute” se puede estimar una relación C/N inicial para un compost ternario, introduciendo los datos de humedad, peso fresco, y los porcentajes de C/N de los diferentes ingredientes.

Tras la realización de los análisis de carbono, nitrógeno y humedad de las diferentes materias primas se utilizó el programa para obtener las mejores mezclas con los diferentes tipos de ingredientes y que su relación C/N fuera lo más cercana posible al rango óptimo de 25-35.

En la tabla **3.2** se exponen los ingredientes finales de cada pila y su relación C/N inicial estimada, y en la tabla **3.3**, **3.4** y **3.5** la proporción de cada componente en la mezcla, en peso fresco, en materia seca y en volumen.

Tabla 3.2. Materias primas empleadas en cada una de las pilas y relación C/N inicial estimada.

Pila	Ingredientes	Relación C/N
GVA 49	Estiércol de oveja, hierbas adventicias y poda de cítrico.	27
GVA 50	Estiércol de oveja, destrío de lechuga y poda de cítrico.	29,8
GVA 51	Estiércol de oveja, destrío de calabaza, destrío de cebolla y poda de cítrico.	22,5

Tabla 3.3. % de peso en fresco de los diferentes materiales añadidos a las pilas.

Pila	Destrío lechuga (MP-166)	Destrío cebolla (MP-167)	Destrío calabaza (MP-168)	Estiércol oveja (MP-169)	Hierbas adventicias (MP-175)	Poda cítrico (MP-176)
GVA 49				62,7	17,7	19,6
GVA 50	16,6			58,8		24,6
GVA 51		10,7	33	42,8		13,5

Tabla 3.4. % de peso en seco de los diferentes materiales añadidos a las pilas.

Pila	Destrío lechuga (MP-166)	Destrío cebolla (MP-167)	Destrío calabaza (MP-168)	Estiércol oveja (MP-169)	Hierbas adventicias (MP-175)	Poda cítrico (MP-176)
GVA 49				60,5	5,1	34,4
GVA 50	4,6			54,2		41,2
GVA 51		2,5	14,4	53		30,2

Tabla 3.5. % volumen de materia fresca de los diferentes materiales añadidos a las pilas.

Pila	Destrío lechuga (MP-166)	Destrío cebolla (MP-167)	Destrío calabaza (MP-168)	Estiércol oveja (MP-169)	Hierbas adventicias (MP-175)	Poda cítrico (MP-176)
GVA 49				28,6	28,6	42,9
GVA 50	25			25		50
GVA 51		7,1	21,4	28,6		42,9

3.2.2. Seguimiento del proceso de compostaje

Para controlar el sistema de compostaje, es necesario llevar un control de la temperatura de la pila, esta nos indicará la actividad microbiana que se está produciendo en cada momento. También es necesario mantener la pila húmeda y aireada para que los procesos térmicos se realicen en correctas condiciones.

El proceso se monitoreo mediante la toma de temperaturas diarias en 6 puntos diferentes de las pilas de compostaje, al paso de un mes, se observó que el calor generado se dispersaba con mucha facilidad y la temperatura de las pilas no superaba temperaturas superiores a los 40 °C. Para intentar que se produjera un aumento de las temperaturas se realizó una incorporación extra de estiércol y se realizó un volteo de homogenización. Los riegos se realizaban de forma automática con el sistema de fertirrigación de la finca, controlando que la humedad fuese óptima en todo momento, colocando grifos en todos los extremos de las gomas para poder controlar el riego si en algún momento se excedía la humedad. Los volteos se realizaron mediante el uso de un tractor con pala culona.

Tras la incorporación extra de estiércol el proceso de compostaje seguía sin producirse de la forma deseada, por lo que se decidió introducir los compost en procesos en composteras, para mantener unas condiciones ambientales más controladas. Se emplearon 2 composteras de 400 litros y 1 de 800 litros. El riego se realizó de forma manual para mantener las condiciones de humectación óptimas. El proceso de toma de temperatura de las pilas se realizó de la misma forma, muestreos diarios en 6 puntos.

Tabla 3.6. Labores realizadas en das diferentes pilas a lo largo de todo el proceso de compostaje.

Labores	Pilas/Composteras			Observaciones
	GVA 49	GVA 50	GVA 51	
Toma inicial de muestras	27/03/2018	27/03/2018	27/03/2018	Muestra integrada de 4 submuestras
Inicio toma de temperatura	01/04/2018	01/04/2018	01/04/2018	Inicio toma de temperaturas
Volteo	04/04/2018	04/04/2018	04/04/2018	Volteo de homogeneización
Volteo	11/04/2018	11/04/2018	11/04/2018	Volteo de homogeneización
Volteo	20/04/2018	20/04/2018	20/04/2018	Volteo de homogeneización
Replanteo	20/04/2018	20/04/2018	20/04/2018	Incorporación de estiércol
Introducción compostera	03/05/2018	03/05/2018	03/05/2018	Introducción en compostera de plástico
Volteo	02/06/2018	02/06/2018	02/06/2018	Volteo de homogeneización, adición de melaza y polvo de almendra
Muestreo M2	02/06/2018	02/06/2018	02/06/2018	Muestra integrada de 4 submuestras
Muestreo M3	04/07/2018	04/07/2018	04/07/2018	Muestra integrada de 4 submuestras



Figura 3.3. Diferentes procesos de control.

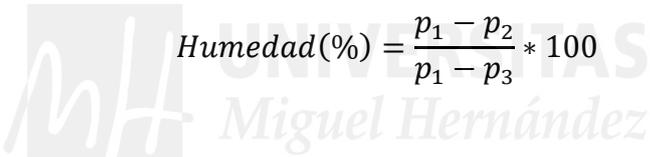
3.3. Métodos analíticos

- **Preparación de la muestra**

Recogidas las muestras del campo se llevan al laboratorio y se someten a secado en una estufa en una estufa de aire forzado a 60 °C. Una vez seca la muestra se procede al molido del material y se vuelve a secar a 105 °C, posteriormente se homogeneiza la muestra en un tamiz de 0.5mm de luz.

- **Humedad original**

Para la determinación de la humedad se utilizó el método gravimétrico. La humedad la determinamos por diferencia de peso entre la materia humedad y la seca una vez secado el material a 105°C quedándonos un porcentaje de humedad.


$$\text{Humedad}(\%) = \frac{p_1 - p_2}{p_1 - p_3} * 100$$

P₁= peso de la cápsula + peso de la muestra seca al aire

P₂=peso de la capsula + peso de la muestra se a 105°C

P₃=peso de la capsula.

- **Pérdida de peso por calcinación**

Se determina según el método de Navarro y col. (1993), se toma como cenizas el residuo fijo obtenido de la calcinación de la muestra a 430 °C.

- **Pérdida de materia orgánica**

Las pérdidas de materia orgánica (MO), se determina según el método Navarro y col. (1993). La pérdida de peso se expresa respecto de la muestra seca.

$$\% \text{ Cenizas} = 100 - \% \text{ MOT}$$

El contenido de materia orgánica total de una muestra se determina mediante la expresión:

$$\% \text{ MOT} = \frac{p_s - p_c}{p} \times 100$$

P_s = peso seco, en gramos, del crisol + el filtro con muestra.

P_c = peso calcinado, en gramos, del crisol con la muestra

P = peso en gramos de la 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 por duplicado.

- **Conductividad eléctrica**

Se determina sobre la suspensión acuosa anterior, previamente centrifugada y filtrada, con un conductímetro y también se realiza sobre las dos submuestras para evitar posibles errores.

- **Carbono orgánico total y nitrógeno total**

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

- **Mineralización de la muestra**

Digestión nítrico-perclórica de las muestras según el método recomendado por 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.

Una vez obtenida la lectura de nuestra muestra podemos obtener el fosforo total mediante el cálculo de la ecuación:

$$\text{g/kg P} = \frac{L \times V \times 5}{P}$$

$$P = (\text{g/ kg}): 10 = \quad P (\%)$$

$$P_2O_5 = \% P \times 2.29$$



L= Lectura obtenida en el espectrómetro visible-ultravioleta (mg/l)

V= Volumen de aforo de mineralización de la muestra.

P = Peso del material orgánico utilizado para la mineralización.

- **Sodio y potasio**

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

El contenido de sodio y potasio obtenido en la muestra se determina mediante la siguiente expresión:

$$C = \text{mg Na}^+ / l = \text{lectura} \times \text{disolución} \times 0.1$$

$$C = \text{mg K}^+ / l = \text{lectura} \times \text{disolución} \times 0.1$$

$$\text{Na o K g/kg} = \frac{C \times V}{P}$$

C = mg/l obtenidos para el Na y el K

V= volumen de aforo de la mineralización de la muestra (l)

P= peso de la muestra utilizada en la mineralización (g).

- **Índice de germinación (IG)**

Para el índice de germinación (IG) se siguió el método de Zucconi y col. (1985). El cual determina a partir de los porcentajes de semillas germinadas y longitud de las raíces de semillas *Lepidium sativum* L. (berro), incubadas durante 24h a 27°C en un extracto acuoso de compost. Y siempre teniendo una muestra testigo que nos sirve de control. Los resultados se obtienen al multiplicar el porcentaje de germinación (G) por el porcentaje de crecimiento de las raíces (L) y dividido por 100. Quedando esta ecuación:

$$\text{IG} = (\%G) \times (\%L) / 100$$

Donde:

%G: nº de semillas germinadas muestra/nº de semillas germinadas control*100.

%L: longitud suma raíces muestra/longitud suma raíces control*100.

- **Capacidad de intercambio catiónico**

El método de determinación de la CCC está basado en la saturación del complejo de cambio con bario y la posterior determinación gravimétrica del catión retenido por diferencia con un blanco o control (Lax y col., 1986).

- **Sustancias húmicas totales y ácidos fúlvicos**

La determinación de las sustancias húmicas y fúlvicas, mediante la técnica de precipitación con NaOH (Sánchez-Monedero y col., 1996) y posterior medida en un analizador de carbono orgánico total.

Se ha realiza una extracción con NaOH 0.1 M, en proporción 1:20 sólido y líquido. Agitamos durante 4 horas y posteriormente se centrifuga. Se hace la separación sólido líquido mediante una malla de fibra sintética. Los ácidos húmicos precipitan a pH 2 en el extracto hidróxido sódico (Cegarra, 1978), así que se adiciona H₂SO₄ hasta alcanzar el pH deseado y se deja reposar durante 24 horas a una temperatura de 4 °C

Los ácidos fúlvicos se separan por decantación. El líquido resultante se pasa a través de una malla de fibra sintética. En los ácidos fúlvicos determinamos el carbono como se hace con el carbono extraíble, sin la adicción de HCl. El carbono de los ácidos húmicos se calcula por la diferencia de carbono extraíble y el carbono de ácidos fúlvicos.

$$\% \text{Cex} = \% \text{Cah} + \% \text{Caf}$$



4. RESULTADOS Y DISCUSIONES



4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Evolución de los factores asociados al propio proceso de compostaje

4.1.1. Temperatura

El principal factor de control del proceso de compostaje es la temperatura. La temperatura nos sirve como parámetro indicativo de la evolución correcta del proceso de compostaje. El aumento de la temperatura se produce por la energía liberada por los diferentes microorganismos que se encargan de llevar a cabo la descomposición de la materia orgánica.

A lo largo del proceso de compostaje se observan tres fases en el proceso de descomposición aeróbica: fase mesófila inicial ($T < 40\text{ °C}$), fase termófila ($T > 40\text{ °C}$); y fase mesófila final, considerándose finalizado el proceso cuando se alcanza de nuevo la temperatura inicial.

En las figuras **4.1**, **4.2** y **4.3** se puede observar para cada una de las pilas elaboradas, la temperatura media y máxima de la pila, la temperatura media externa, los volteos realizados y el índice EXI2.

Agrocompostaje de residuos en una pequeña explotación ecológica

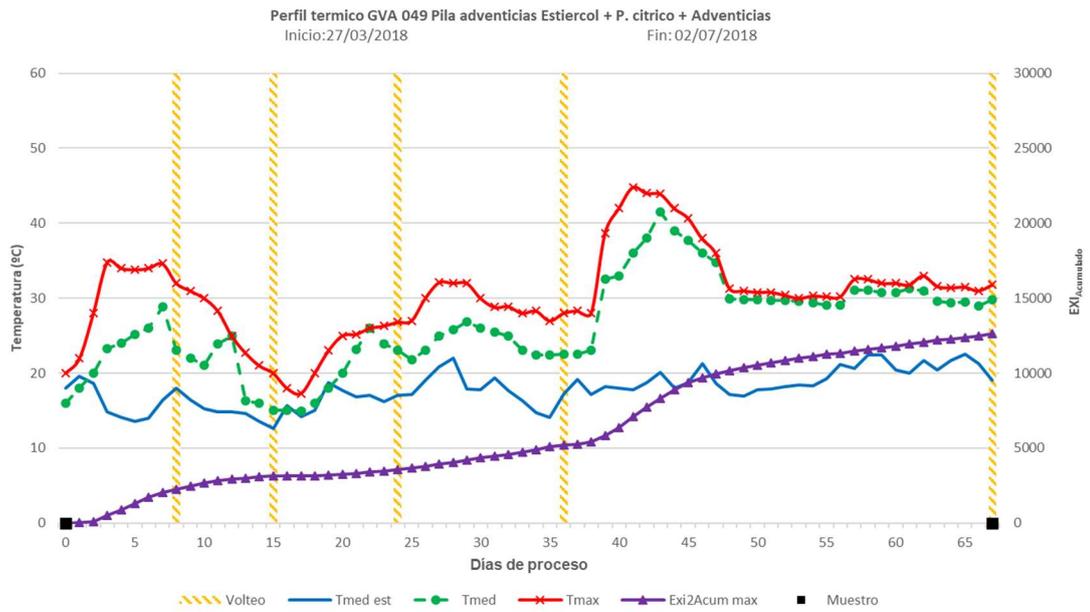


Figura 4.1. Perfil térmico pila GVA 49 de estiércol de oveja, poda de cítricos y plantas adventicias.

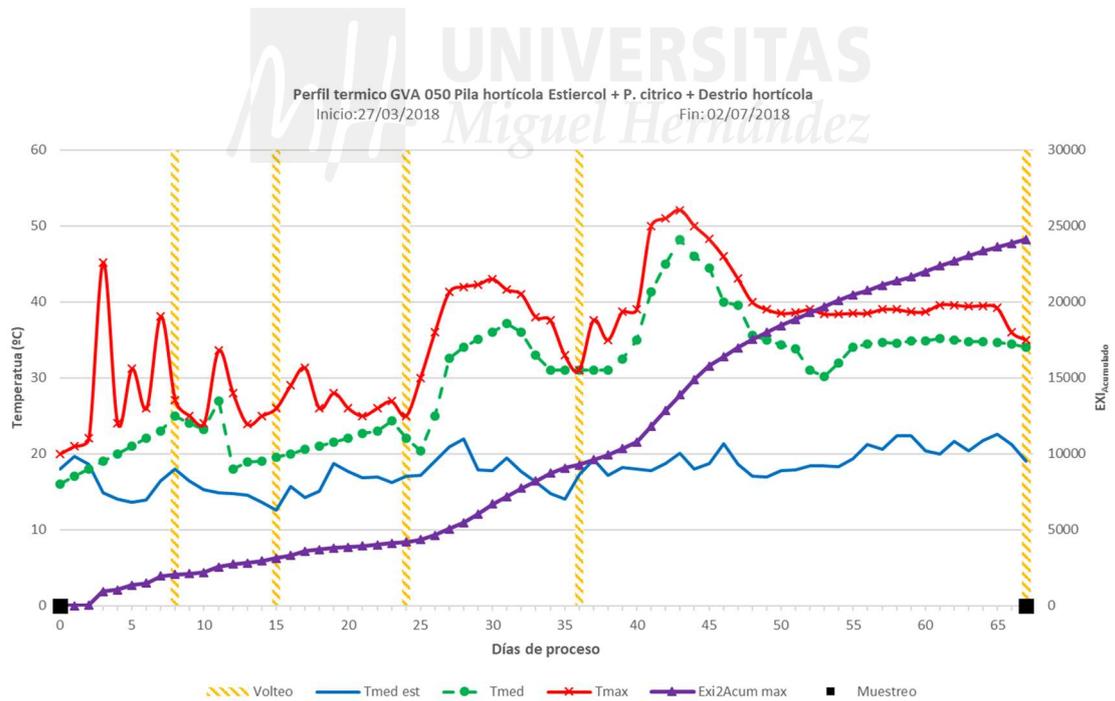


Figura 4.2. Perfil térmico pila GVA 50 de estiércol de oveja, poda de cítricos y destrío de lechuga.

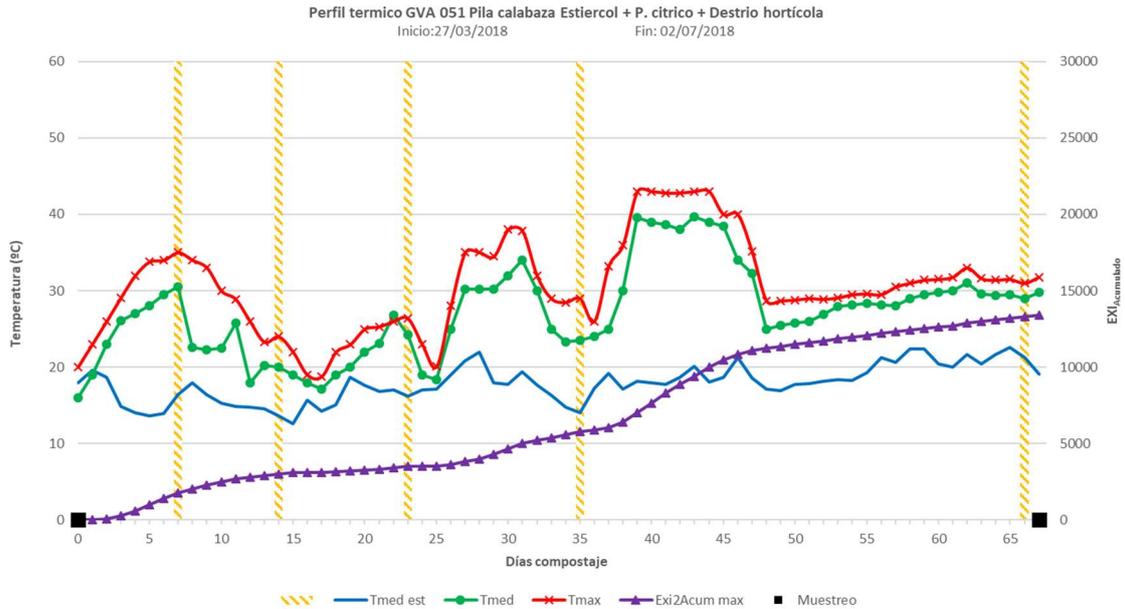


Figura 4.3. Perfil térmico pila GVA 51 de estiércol de oveja, poda de cítricos y destríos de cebolla y calabaza.

Como podemos observar en las figuras 4.1, 4.2 y 4.3, ninguna de las tres pilas paso de la fase mesófila inicial mientras se encontraban en sistema de compostaje en abierto, si no que se presentaron pequeños picos de temperatura que podrían haber supuesto el inicio de la fase termófila, pero no se siguió incrementando la temperatura en el tiempo, sino que descendió.

A los 35 días se procedió a introducir las pilas en composteras de plástico, lo que dio lugar a una reactivación del proceso comenzando la fase termófila en las tres pilas. Al cabo de 10 días se volvió a producir una disminución de las temperaturas.

Tras la adición de la melaza y el polvo de almendras no se produjo un incremento de la temperatura.

En la tabla 4.1 observamos los índices de seguimiento térmico del proceso, que nos permiten poder comparar los procesos de compostaje y conocer también si se han alcanzado las condiciones térmicas de higienización que establecen en el Reglamento (UE), 2019/1009 de más de dos semanas a temperaturas superiores a los 55 °C.

Tabla 4.1. Evolución de los índices de seguimiento térmico del proceso.

Índices	GVA 49	GVA 50	GVA 51
Días fase biooxidativa	56,0	66,0	56,0
Nº Días F.Bio-oxid/ >40°C	7,0	20,0	8,0
Nº Días F.Bio-oxid/ >50°C	0,0	4,0	0,0
Temperatura máxima pila	44,8	52,1	39,6
Temperatura promedio pila	27,2	30,6	31,3
Temperatura mínima pila	15,0	16,0	16,0
Nº Días >40°C/ Días fase bio-oxidativa	0,13	0,30	0,14
Índice EXI ² (°C ²)	14.504	27.527	15.443
Ratio EXI ² /días f. bio-oxid. (Tmax)	259	417	276

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) que nos sirve para obtener un valor absoluto que incluye la exotermia de la pila y nos permite comparar pilas, tratamientos y sistemas de compostaje en mismas condiciones (similar tamaño) y los datos más representativos de la evolución térmica que sufren los compost. El índice EXI²/días fase 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 del material, así como de su composición, el cual influirá en la actividad microbiana del compost, lo que repercutirá en la temperatura de la pila y su valor final EXI²/día.

Como se puede observar en la tabla 4.1, el GVA 50 con destrío de lechuga, poda de cítrico y estiércol de oveja es el que mayor índice EXI² presenta, siendo el proceso que mayor número de días estuvo en fase bio-oxidativa con temperaturas superiores a 40 °C (20 días). Esta pila tuvo un comportamiento con temperaturas altas alargadas en el tiempo, mientras que las otras pilas experimentaron aumentos bruscos de temperaturas, seguidos de fuertes disminuciones de calor en la pila, presentando la pila GVA 49 y la pila GVA 51, 7 y 10 días en fase bio-oxidativa con temperaturas superiores a 40 °C, respectivamente.

Esto nos indica que ninguna de las pilas cumplió los requisitos necesarios para su higienización, posiblemente debido a la madurez del estiércol utilizado ya que el

estiércol de ganadería ecológica del que se disponía en la finca se adquirió en un estado de madurez avanzado.

4.2. Evolución de la fracción hidrosoluble: pH, conductividad eléctrica y polifenoles

4.2.1. pH

Durante el proceso de compostaje se producen diferentes fenómenos o procesos que hacen variar este parámetro.

Al principio y como consecuencia del metabolismo fundamentalmente bacteriano que transforma los complejos carbonados fácilmente descomponibles, en ácidos orgánicos, el pH desciende; seguidamente, el pH aumenta como consecuencia de la formación de amoníaco, alcanzando el valor más alto, alrededor de 8,5, coincidiendo con el máximo de actividad de la fase termófila. Finalmente, el pH disminuye en la fase final o de maduración (pH entre 7 y 8) debido a las propiedades naturales de amortiguador o tampón de la materia orgánica (Negro y Col., 2000).

Tabla 4.2. Evolución del pH en los diferentes compost a lo largo del proceso de compostaje

Pila	Composición	Inicio	Final F. Bio-oxidativa	Madurez
GVA 49	Estiércol de oveja, hierbas adventicias y poda de cítrico.	7,3	8,4	8,6
GVA 50	Estiércol de oveja, destrío de lechuga y poda de cítrico.	7,8	8,6	8,8
GVA 51	Estiércol de oveja, destrío de calabaza, destrío de cebolla y poda de cítrico.	7,7	8,5	8,8

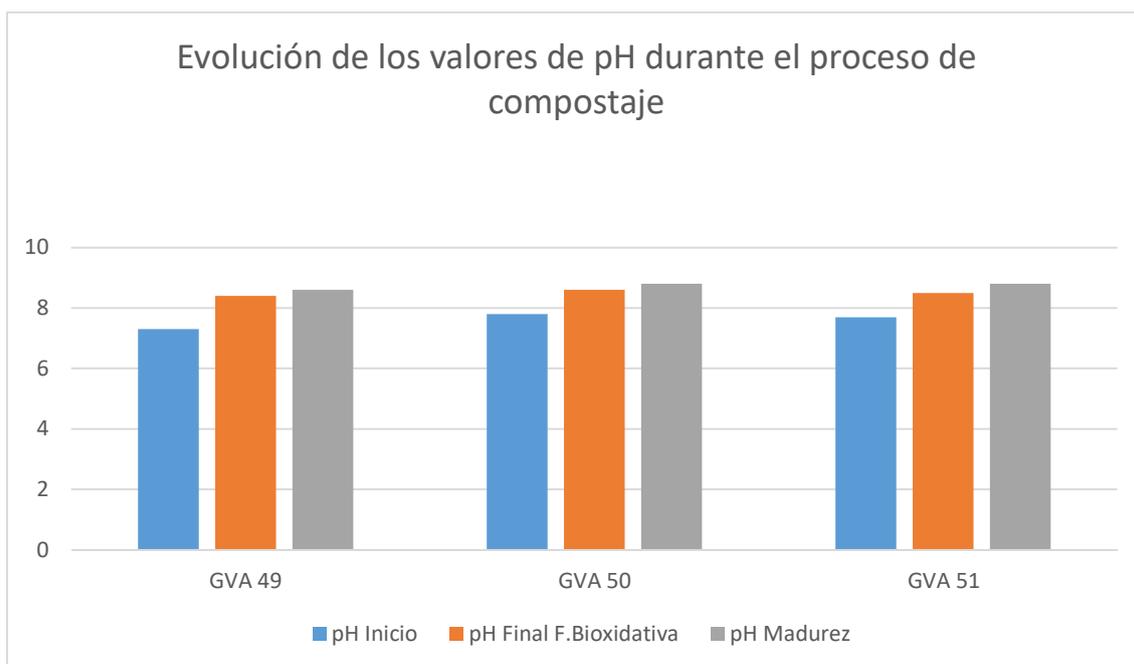


Figura 4.4. Evolución de los valores de pH durante el proceso de compostaje

Como podemos observar en la tabla 4.2 y en la figura 4.4 el pH de las pilas aumentó ligeramente manteniéndose durante todo el proceso de compostaje en el rango de basicidad. Esto puede ser debido a que el estiércol utilizado para la realización del proyecto estaba ya maduro y ya se había producido la subida del pH debido a la pérdida de ácidos orgánicos y la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas (Sánchez Monedero, 2001).

Este incremento del pH durante el proceso también fue observado en otros autores en procesos de compostaje de estiércoles usando diversos sistemas de compostaje. El pH en los composts maduros se sitúa ligeramente por encima del rango adecuado para su uso agrícola (6,0 – 8,5) (Hogg y col., 2002), por lo que se recomienda su uso como enmienda orgánica, pero no para sustrato.

4.2.2. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) tiende generalmente a aumentar durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, hecho que produce un aumento de la concentración de nutrientes. En ocasiones la CE puede

disminuir durante el proceso de compostaje por los riegos aplicados. Los riegos lavan la materia orgánica y producen pérdidas por lixiviación. Si los lixiviados son reutilizados para humedecer la pila, se puede producir un exceso de sales en el producto final.

Tabla 4.3 Evolución de la Conductividad Eléctrica CE (dS/m) en las diferentes pilas a lo largo del proceso de compostaje.

Pila	Composición	Inicio	Final F. Bio-oxidativa	Madurez
GVA 49	Estiércol de oveja, hierbas adventicias y poda de cítrico.	5,2	4,4	4,6
GVA 50	Estiércol de oveja, destrío de lechuga y poda de cítrico.	4,7	4,0	4,0
GVA 51	Estiércol de oveja, destrío de calabaza, destrío de cebolla y poda de cítrico.	4,2	4,5	4,0

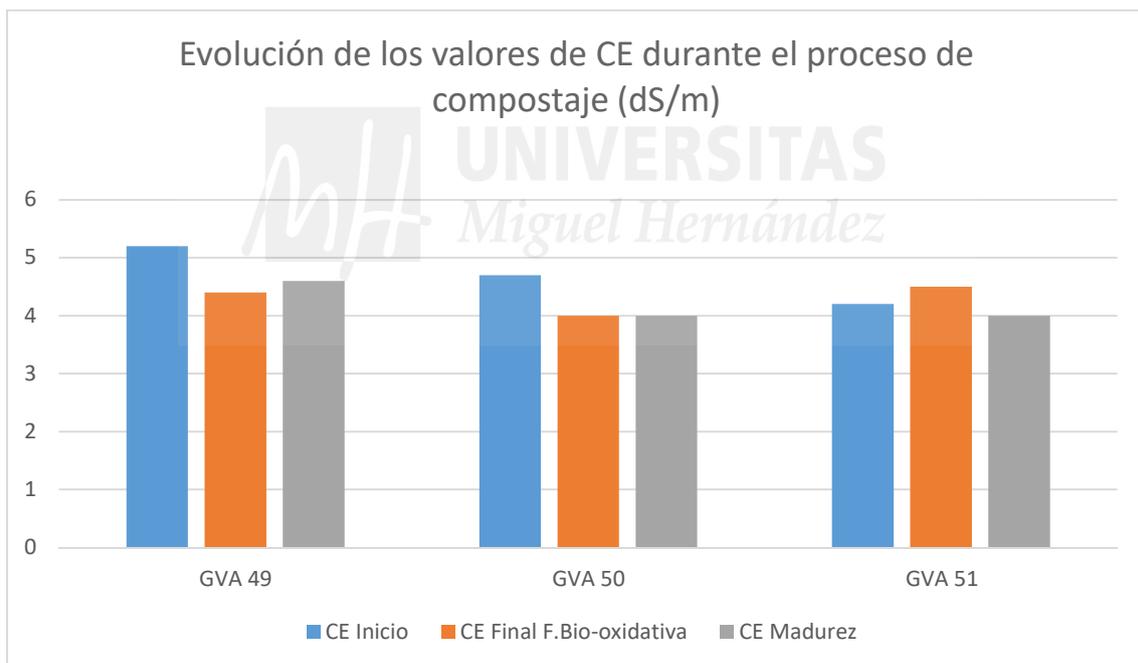


Figura 4.5. Evolución de la CE de las diferentes pilas a lo largo del proceso de compostaje.

La CE ideal al inicio del proceso de compostaje se sitúa entre 0,2 y 4 dS/m. Como podemos observar en la tabla 4.3 y en la figura 4.5 las pilas al inicio presentaban un valor ligeramente superior al ideal. Durante el proceso de compostaje los valores de conductividad eléctrica han disminuido ligeramente para todas las pilas con valores

finales cercanos a los 4 dS/m, posiblemente debido a los riegos aplicados que han inducido la pérdida de sales solubles.

4.2.3. Contenido en polifenoles

Los polifenoles se encuentran prácticamente en todos los materiales vegetales, se componen básicamente de ácido fenólicos que incluyen benzoato y derivados hidroxycinamato 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 debido a su efecto antimicrobiano puede inhibir la actividad de los microorganismos y ralentizar el proceso o incluso pararlo. El rango ideal que debe contener una mezcla debe ser inferior a 4000 mg/kg de materia seca, expresado en polifenoles hidrosolubles. Durante el compostaje el contenido de polifenoles solubles suele disminuir hasta valores en torno a 1000 mg/Kg.

En una pila de compostaje con niveles altos en polifenoles la temperatura puede no llegar a alcanzar niveles altos debido a la inhibición de la actividad microbiana.

Los contenidos finales de polifenoles en los compost obtenidos se muestran en la tabla **4.4.**, podemos observar que ha habido en todos los casos una reducción significativa respecto a los contenidos de polifenoles que presentaban los materiales iniciales (tabla **3.1**). En todos los compost se han obtenido valores finales de polifenoles en torno a 1000 mg/kg.

Tabla 4.4. Contenido en polifenoles (mg/kg) de los diferentes compost en su madurez.

Pila	Composición	Madurez
GVA 49	Estiércol de oveja, hierbas adventicias y poda de cítrico.	1.163
GVA 50	Estiércol de oveja, destrío de lechuga y poda de cítrico.	899
GVA 51	Estiércol de oveja, destrío de calabaza, destrío de cebolla y poda de cítrico.	820

4.3. Evolución de la materia orgánica y de su fracción sólida

4.3.1. Materia orgánica

El conocimiento del contenido de los compost en materia orgánica es fundamental, pues se considera como el principal factor para determinar su calidad agronómica (Kiehl,1985).

Durante el compostaje la materia orgánica tiende a descender debido a su mineralización y a la consiguiente pérdida de carbono en forma de anhídrido carbónico; estas pérdidas pueden llegar a representar casi el 20% menos en peso de la masa compostada (Zucconi y col., 1987).

Tabla 4.5. Evolución del contenido en materia orgánica (%) a lo largo del proceso del compostaje.

Pila	Composición	Inicio	Final F. Bio-oxidativa	Madurez
GVA 49	Estiércol de oveja, hierbas adventicias y poda de cítrico.	77,5	52,2	50,8
GVA 50	Estiércol de oveja, destrío de lechuga y poda de cítrico.	58,7	43,5	37,1
GVA 51	Estiércol de oveja, destrío de calabaza, destrío de cebolla y poda de cítrico.	80,3	48,8	41,8

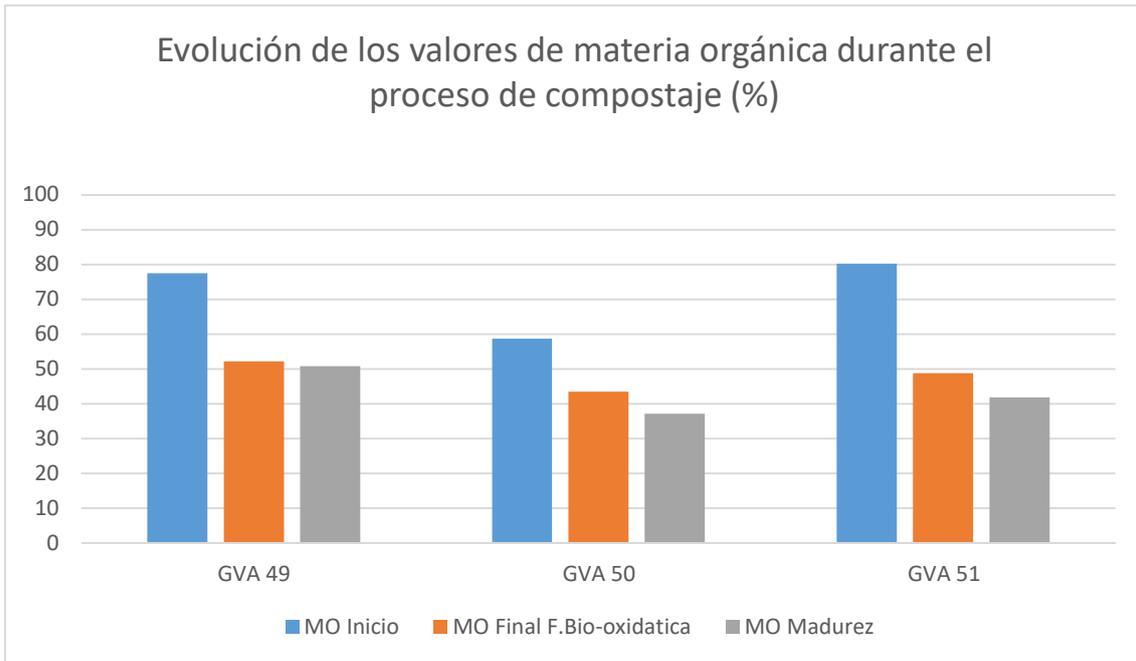


Figura 4.6. Evolución de los valores de materia orgánica (%) a lo largo del proceso de compostaje.

Al final del proceso de compostaje como podemos observar en la tabla 4.5 y en la figura 4.6 los valores de materia orgánica habían descendido considerablemente, pasando en la pila GVA 49 de un 77,5 % al inicio a un 50,8% en la fase final. En la pila GVA 50 el contenido en materia orgánica descendió de un 58,7% inicial a un 37,1% en la madurez. Finalmente, en la pila GVA 51 el contenido en materia orgánica pasó de un 80,3% a un 41,8% en la fase de maduración. Como podemos observar todos los compost cumplen con el contenido mínimo de materia orgánica que establece la legislación de un 35% (RD506/2013).

4.3.2. Pérdida de materia orgánica

Las pérdidas de MO reflejan la evolución sufrida por los diferentes compost. El cálculo de las pérdidas de materia orgánica se realizó a partir del contenido de cenizas inicial (X1) y en el punto de estudio (Xn), según la ecuación de Viel y col (1987).

$$\text{Pérdidas MO (\%)} = 100 - 100 \left[\frac{X1 (100 - Xn)}{Xn (100 - X1)} \right]$$

La 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.

Tabla 4.6. Pérdidas de materia orgánica (%) a lo largo del proceso de compostaje.

Pila	Composición	Inicio	Final F. Bio-oxidativa	Madurez
GVA 49	Estiércol de oveja, hierbas adventicias y poda de cítrico.	0,0	68,2	70,0
GVA 50	Estiércol de oveja, destrío de lechuga y poda de cítrico.	0,0	45,8	58,4
GVA 51	Estiércol de oveja, destrío de calabaza, destrío de cebolla y poda de cítrico.	0,0	76,6	82,4

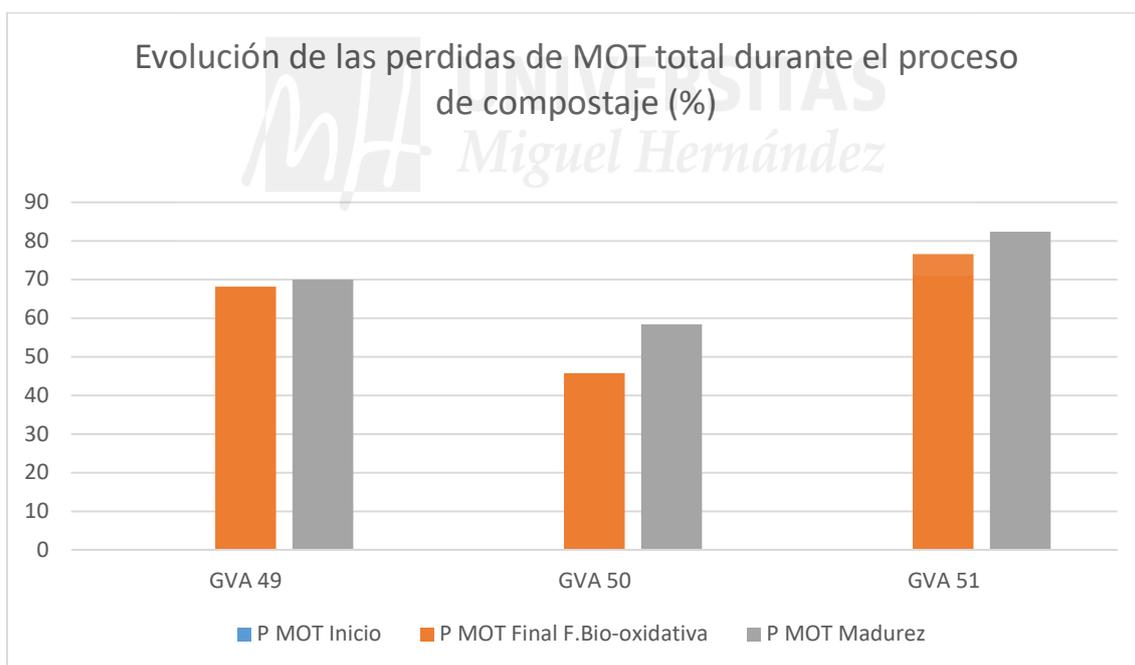


Figura 4.7. Pérdidas de materia orgánica (%) a lo largo del proceso de compostaje.

La velocidad de transformación de materia orgánica depende de su naturaleza física y química, de los microorganismos que intervienen y de las condiciones físico-químicas del proceso (humedad, aireación, temperatura y pH) (Michel y col.,2004).

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. Como podemos observar en la tabla 4.6 y en la figura 4.7, las mayores pérdidas de materia orgánica se dieron en la Fase Bio-oxidativa.

Al final de proceso, se alcanzaron pérdidas de MO del 70 % para el compost GVA 49, del 58,4% para el compost GVA 50 y del 82,4% para el compost GVA 51. La mayor proporción de materia orgánica lábil (procedente de los restos de cebolla y calabaza) de la pila GVA 51, respecto a las otras mezclas, pudo haber influido en una mayor pérdida de MO en dicha pila.

4.3.3. Carbono orgánico total

Como ocurre con la materia orgánica, el contenido de carbono orgánico va disminuyendo a lo largo del proceso de compostaje debido a la mineralización que se produce en las mezclas realizada por los diferentes microorganismos.

Tabla 4.7. Evolución del contenido en Carbono Orgánico Total (%) a lo largo del proceso de compostaje.

Pila	Composición	Inicio	Final F. Bio-oxidativa	Madurez
GVA 49	Estiércol de oveja, hierbas adventicias y poda de cítrico.	43,5	30,3	28,8
GVA 50	Estiércol de oveja, destrío de lechuga y poda de cítrico.	30,2	28,4	19,4
GVA 51	Estiércol de oveja, destrío de calabaza, destrío de cebolla y poda de cítrico.	47,0	33,6	28,0

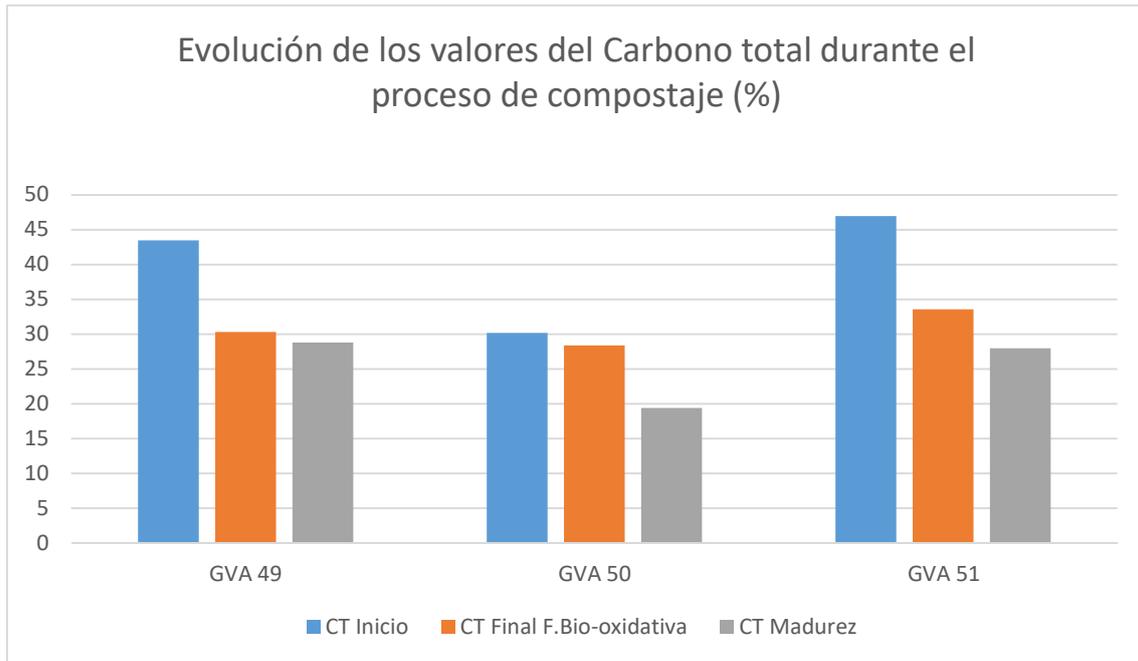


Figura 4.8. Evolución de los valores del Carbono total (%) durante el proceso de compostaje.

Como podemos observar en la tabla 4.7 y en la figura 4.8, la cantidad de carbono total fue disminuyendo en todas las pilas progresivamente desde la fase inicial hasta la maduración como consecuencia de la actividad de los microorganismos.

4.3.4. Nitrógeno total

El nitrógeno es uno de los macronutrientes esenciales para el correcto desarrollo de las plantas, ya que lo requieren para un correcto crecimiento. El nitrógeno es uno de los constituyentes principales de la molécula de clorofila, ácidos nucleicos y de las proteínas.

Debido a la importancia del nitrógeno a nivel fisiológico en las plantas, la calidad de un compost estará ligada a su contenido en nitrógeno.

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 la materia orgánica, además de la posible fijación biológica de nitrógeno (Paredes y col., 2002).

Tabla 4.8. Evolución del contenido en Nitrógeno N (%) a lo largo del proceso de compostaje.

Pila	Composición	Inicio	Final F. Bio-oxidativa	Madurez
GVA 49	Estiércol de oveja, hierbas adventicias y poda de cítrico.	1,75	1,65	2,26
GVA 50	Estiércol de oveja, destrío de lechuga y poda de cítrico.	1,65	1,81	1,42
GVA 51	Estiércol de oveja, destrío de calabaza, destrío de cebolla y poda de cítrico.	1,90	1,80	1,70

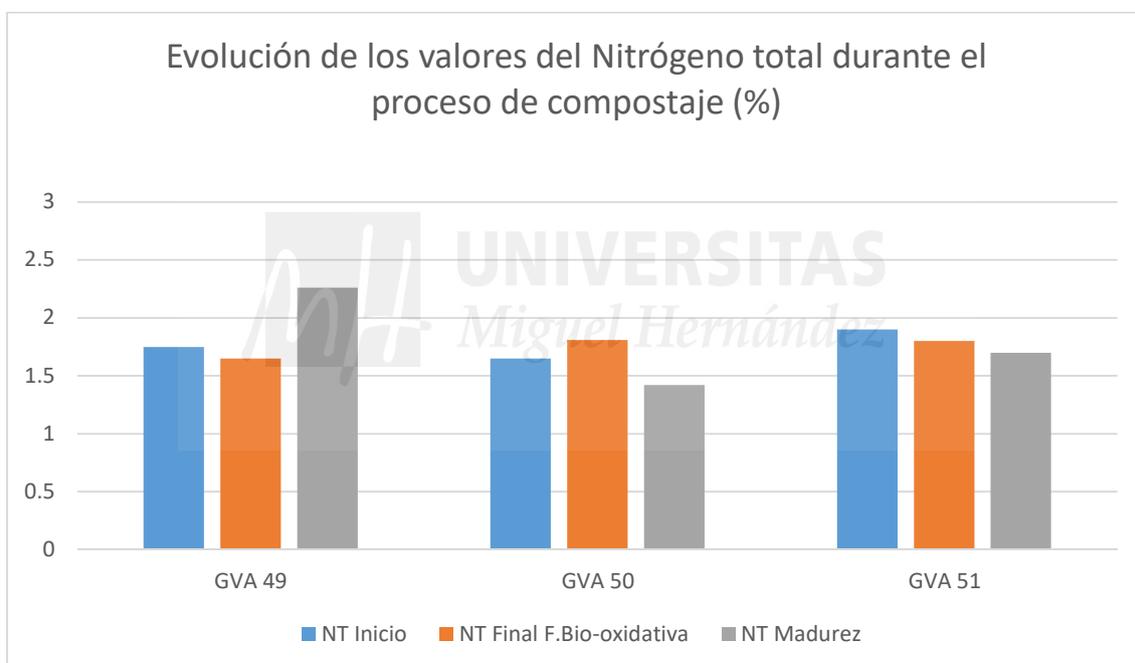


Figura 4.9. Evolución del contenido en Nitrógeno N (%) a lo largo del proceso de compostaje.

En la tabla 4.8 y en la figura 4.9 podemos observar la evolución de la concentración de nitrógeno a lo largo de todo el proceso. En la pila GVA 49 observamos un aumento de la concentración de nitrógeno total con respecto a la concentración inicial, esto puede producirse como consecuencia de la reducción de la masa de la pila. En la pila GVA 50 se produjo un aumento de la concentración de NT en la fase bio-oxidativa, en cambio al final del proceso se observa como la concentración disminuye

con respecto a la inicial. En la pila GVA 51 se observa como la concentración de NT desciende levemente a lo largo del proceso. Estas reducciones en la concentración de Nitrógeno en la fase de madurez pueden ser debidas a procesos biológicos de desnitrificación (Hao y col,2001).

4.3.5. Relación C/N

La relación C/N de la masa a compostar es un factor importante que controlar para obtener una fermentación correcta y, por tanto, un producto final, de características adecuadas. A medida que transcurre el compostaje, esta relación se hace cada vez menor (Negro y Col, 2000).

La relación COT/NT evoluciona durante el compostaje debido a la pérdida de carbono orgánico y al incremento del contenido de NT derivado de la pérdida de peso de la pila (Bustamante y col. 2008). El valor máximo de relación COT/NT encontrado en la bibliografía para establecer que un compost está maduro es de 20 (Golueke,1981). En la legislación española (RD 506/2013 sobre productos fertilizantes) se sugieren valores de dicha relación inferiores a 20 en las enmiendas orgánicas compost.

Tabla 2.9. Evolución de la relación Carbono total / Nitrógeno total (CN/NT) a lo largo del proceso de compostaje.

Pila	Composición	Inicio	Final F. Bio-oxidativa	Madurez
GVA 49	Estiércol de oveja, hierbas adventicias y poda de cítrico.	25,3	18,5	12,8
GVA 50	Estiércol de oveja, destrío de lechuga y poda de cítrico.	19,4	15,7	13,7
GVA 51	Estiércol de oveja, destrío de calabaza, destrío de cebolla y poda de cítrico.	25,2	18,7	16,4

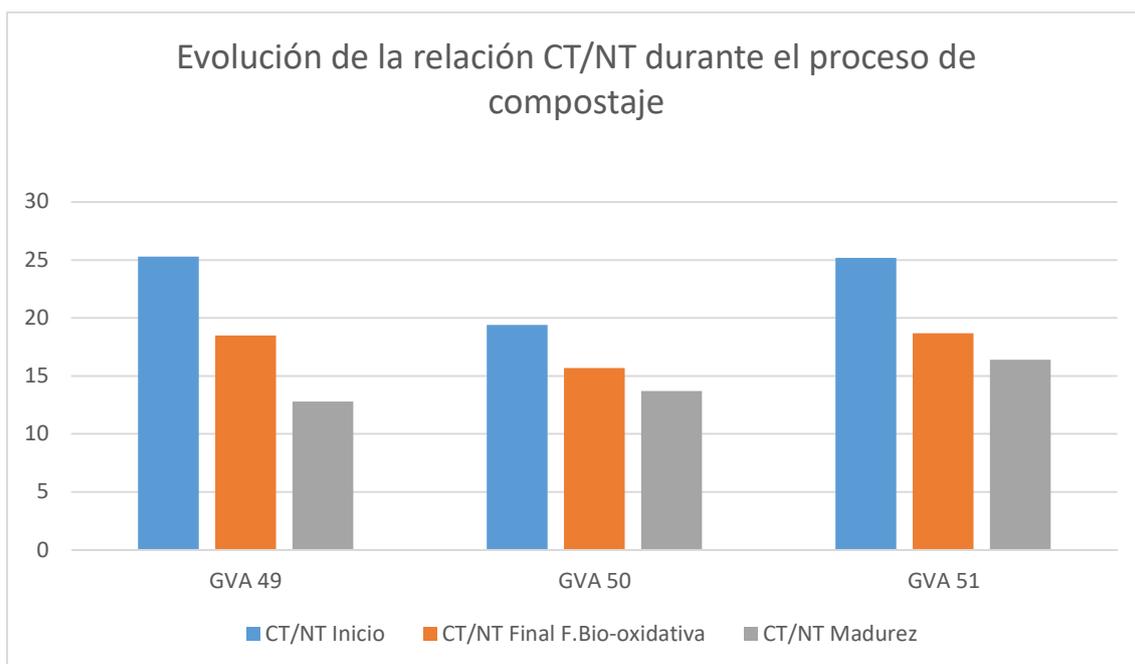


Figura 4.10. Evolución de la relación Carbono total / Nitrógeno total CT/NT a lo largo del proceso de compostaje.

En la tabla 4.9 y en la figura 4.10, comprobamos como la relación C/N va disminuyendo progresivamente en todas las pilas a lo largo de todo el proceso. Aunque la concentración de nitrógeno solo ha aumentado en la pila GVA 49 con respecto a la concentración inicial, en todas las pilas se ha producido una disminución del carbono total, mientras que el nitrógeno ha variado levemente. A nivel legislativo todos los compost cumplen con el límite de C/N de 20.

4.3.6. Contenido en fósforo, potasio y sodio

El P y el K al igual que el nitrógeno son macronutrientes esenciales para el correcto desarrollo de las plantas. El P desempeña un papel fundamental en la formación de compuestos celulares ricos en energía, siendo necesario para el metabolismo microbiano.

El potasio desencadena la activación de enzimas y es esencial para la producción de adenosina trifosfato (ATP). El potasio también desempeña un rol importante en la regulación del agua en las plantas (osmo-regulación). Tanto la absorción de agua a través

de raíces de las plantas y su pérdida a través de las estomas, se ven afectados por el potasio (Sela, s.f.).

En cambio, 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 catión en las propiedades físicas del suelo potencialmente enmendado.

Tabla 4.10. Evolución de la concentración de Fósforo P (g/kg) a lo largo del proceso de compostaje.

Pila	Composición	Inicio	Final F. Bio-oxidativa	Madurez
GVA 49	Estiércol de oveja, hierbas adventicias y poda de cítrico.	3,12	7,03	6,99
GVA 50	Estiércol de oveja, destrío de lechuga y poda de cítrico.	2,78	5,63	6,88
GVA 51	Estiércol de oveja, destrío de calabaza, destrío de cebolla y poda de cítrico.	3,98	5,56	6,72

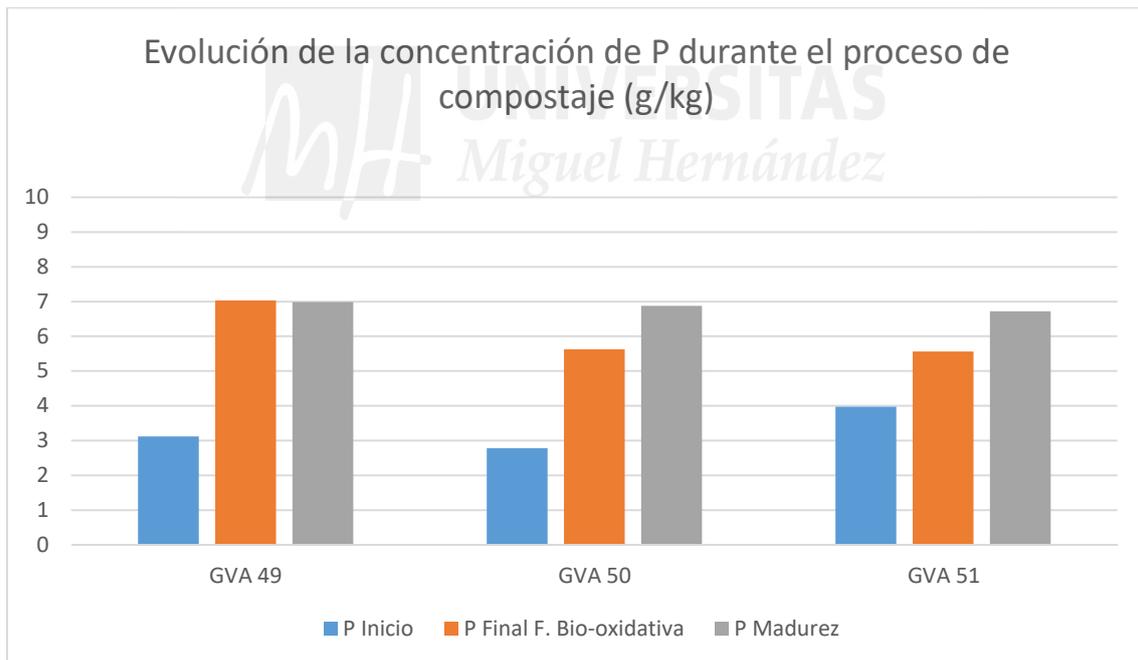


Figura 4.11. Evolución de la concentración de Fósforo P (g/kg) a lo largo del proceso de compostaje.

Tabla 4.11. Evolución de la concentración de Potasio K (g/kg) a lo largo del proceso de compostaje.

Pila	Composición	Inicio	Final F. Bio-oxidativa	Madurez
GVA 49	Estiércol de oveja, hierbas adventicias y poda de cítrico.	26,8	23,0	25,4
GVA 50	Estiércol de oveja, destrío de lechuga y poda de cítrico.	24,7	20,3	21,3
GVA 51	Estiércol de oveja, destrío de calabaza, destrío de cebolla y poda de cítrico.	24,9	20,6	21,2

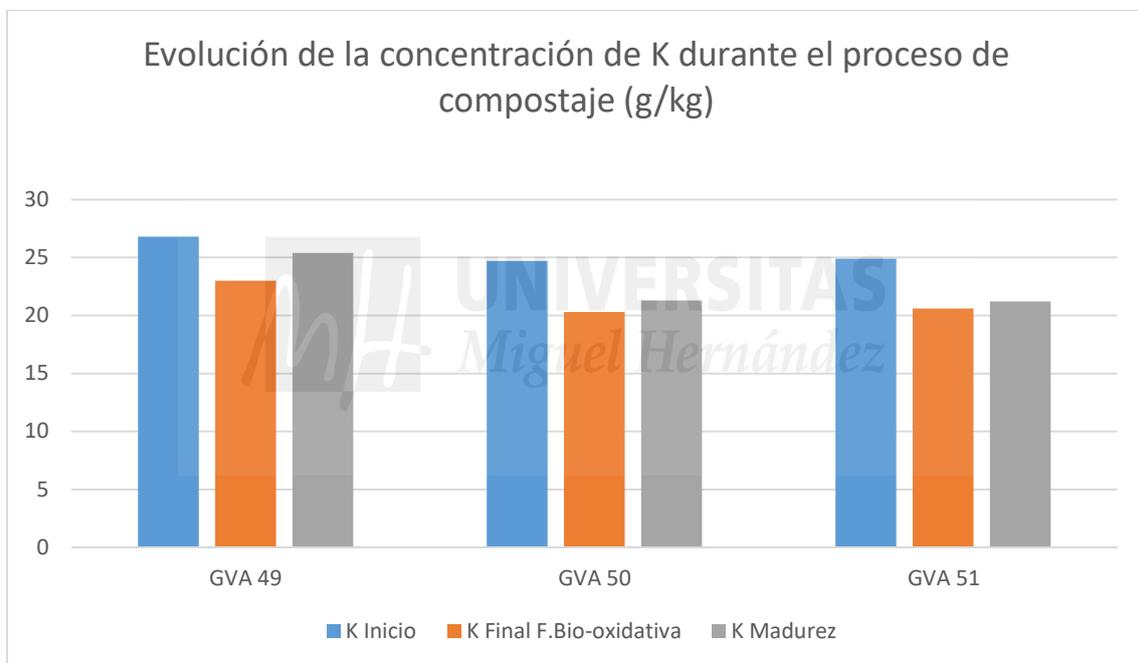


Figura 4.12. Evolución de la concentración de Potasio K (g/kg) a lo largo del proceso de compostaje.

Tabla 4.12. Evolución de la concentración de Sodio Na (g/kg) a lo largo del proceso de compostaje.

Pila	Composición	Inicio	Final F. Bio-oxidativa	Madurez
GVA 49	Estiércol de oveja, hierbas adventicias y poda de cítrico.	7,96	6,93	7,42
GVA 50	Estiércol de oveja, destrío de lechuga y poda de cítrico.	8,02	6,34	6,86
GVA 51	Estiércol de oveja, destrío de calabaza, destrío de cebolla y poda de cítrico.	5,48	6,07	6,70

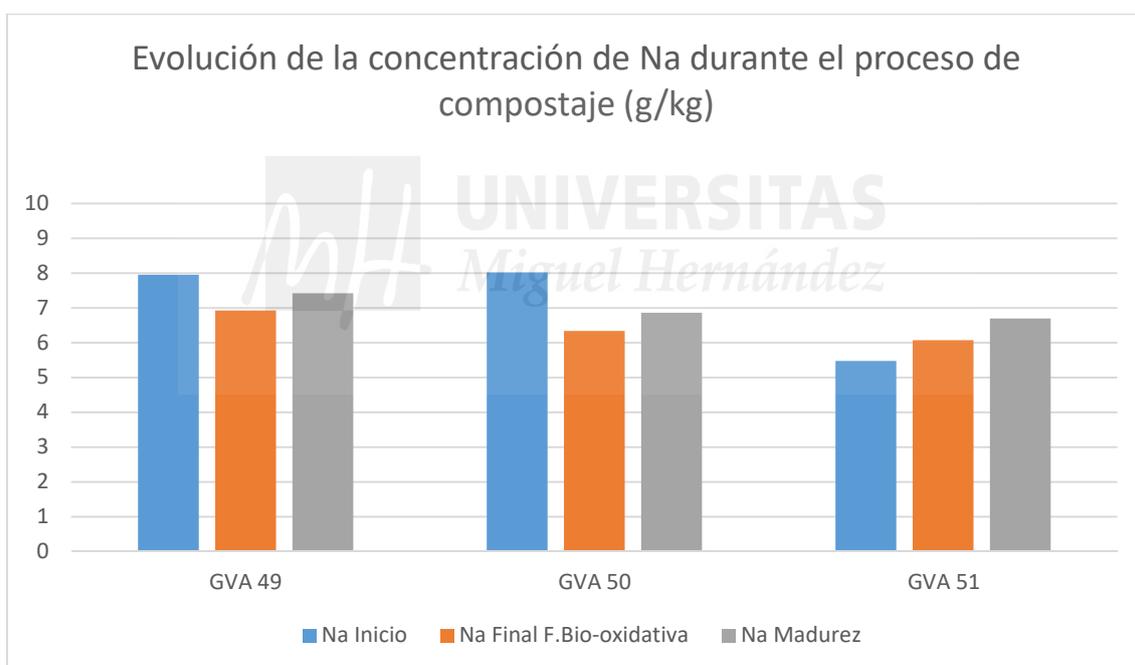


Figura 4.13. Evolución de la concentración de Sodio Na (g/kg) a lo largo del proceso de compostaje.

El contenido en P de las tres pilas aumento a lo largo del proceso, en cambio, el K y al igual que el N vio disminuida ligeramente su concentración. Esto puede ser debido a una humectación excesiva, y al ser el K un elemento muy móvil, como consecuencia disminuyó su concentración al lixiviarse.

En cuanto al Na, en todas las pilas excepto en la GVA 51, se produjo una disminución de la concentración, debida también a la lixiviación.

4.4. Parámetros indicativos de la madurez del compost

4.4.1. Capacidad de cambio catiónico

La capacidad catiónica de cambio (CEC) es una medida de la capacidad de un compost para retener cationes intercambiables como el potasio (K), el calcio (Ca), el magnesio (Mg) y el sodio (Na) sobre superficies cargada es negativamente (Stofella y Kahn, 2004).

Este parámetro muestra la evolución de la humificación debido a la formación de grupos carboxilo e hidroxifenilos (Bustamante y col., 2008).

La capacidad de intercambio catiónico normalmente aumenta conforme lo hace el proceso de compostaje, debido no sólo a la acumulación de materiales que aportan carga negativa, como los derivados de la lignina, sino también por el aumento de grupos fenólicos y carboxílicos (Lax y col.,1986). Por ese motivo, ha sido ampliamente estudiada como potencial indicador de la maduración de un compost (Iglesias-Jiménez y Pérez-García,1989; Inbar y col., 1993; Bernal y col.,1996; Butler y col.,2001).

Tabla 4.13. Capacidad de intercambio catiónico CCC (meq/100 g MOT) al inicio y al final del proceso.

Pila	Composición	Inicio	Madurez
GVA 49	Estiércol de oveja, hierbas adventicias y poda de cítrico.	43,8	75,9
GVA 50	Estiércol de oveja, destrío de lechuga y poda de cítrico.	23,8	66,8
GVA 51	Estiércol de oveja, destrío de calabaza, destrío de cebolla y poda de cítrico.	12,6	48,2

Para conocer la madurez de un compost se establece un valor mínimo de 60 meq/g MOT (Harada e Inoko, 1980). Por otro lado, Iglesias Jiménez y Pérez García (1992)

establecen un valor mínimo de 67 meq/g. Teniendo en cuenta estos valores y observando los resultados de la tabla 4.13 podríamos decir que el compost GVA 49 y el GVA 50 presentan un grado óptimo de maduración, mientras que la pila GVA 51 no cumple dichos valores. No obstante, en todos los compost se produjo un aumento de dicho parámetro lo que indica una evolución de la materia orgánica durante el proceso.

Tabla 4.14. Capacidad de intercambio catiónico CCC (meq/g COT) al inicio y al final del proceso.

Pila	Composición	Inicio	Madurez
GVA 49	Estiércol de oveja, hierbas adventicias y poda de cítrico.	0,8	1,2
GVA 50	Estiércol de oveja, destrío de lechuga y poda de cítrico.	0,5	1,3
GVA 51	Estiércol de oveja, destrío de calabaza, destrío de cebolla y poda de cítrico.	0,2	0,7

Por otro lado, se realizaron las mediciones de la CIC en meq/g COT como podemos observar en la tabla 4.14. Para esta unidad Iglesias Jiménez y Pérez y García (1992), establecen un mínimo de 1,9 meq/g COT y García y col. (1992) valores por encima de los 3,5 meq/g COT. Teniendo en cuenta estos valores mínimos, ninguno de los compost en su estado de maduración cumpliría con los mínimos, aunque si se produjo un incremento de la CCC con respecto a los valores iniciales.

4.4.2. 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, amoniaco, etc, resultantes de los procesos de mineralización de la materia orgánica).

Tabla 4.15. Índice de germinación GI (%) de los diferentes compostos obtenidos.

Pila	Composición	Madurez
GVA 49	Estiércol de oveja, hierbas adventicias y poda de cítrico.	52,9
GVA 50	Estiércol de oveja, destrío de lechuga y poda de cítrico.	71,2
GVA 51	Estiércol de oveja, destrío de calabaza, destrío de cebolla y poda de cítrico.	70,8

Como podemos observar en la tabla 4.15, todos los compostos presentaron un IG superior a 50 %, por lo que son aptos para su aplicación en agricultura, aunque podrían estar limitado su uso en cultivos sensibles, sobre todo en el caso del compost GVA 49.

4.4.3. Índices de humificación

La evaluación del grado de humificación de la materia orgánica durante el compostaje es un criterio agronómico de calidad de compost, porque la fracción humificada de la materia orgánica del suelo tiene un papel esencial en la fertilidad orgánica. El valor agrícola de un compost se incrementa cuando la MO presenta un nivel alto de humificación (Bernal y col., 2009). La humificación de la materia orgánica durante el proceso de compostaje supone la formación de compuestos de peso molecular creciente con características aromáticas, concentraciones de oxígeno y nitrógeno y grupos funcionales, similares a las sustancias húmicas del suelo (Senesi 1989).

Los principales índices para evaluar el grado de humificación de la materia orgánica de los compostos, 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 4.16** se resumen diferentes índices utilizados para evaluar los compost y en las **tablas 4.17, 4.18 y 4.19** se muestran los resultados de dichos índices para los compost obtenidos.

Tabla 4.16. Índices de madurez y humificación 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} x 100	> 7	Roletto y col. (1985) BioCycle, 26 (2), 46-47.
Índice de humificación, IH (%), C _{ah} /C _{OT} x 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} x100	> 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 4.17. Resultados de los índices de madurez y humificación obtenidos en el proceso de compostaje de la mezcla GVA 49.

Pila	Composición	Parámetro	Valor
GVA 49	Estiércol de oveja, hierbas adventicias y poda de cítrico.	Carbono extraíble (%)	5,8
		Carbono de ácidos fúlvicos (%)	1,7
		Carbono de ácidos húmicos (%)	4,1
		Relación de humificación (RH)	20,0
		Índice de humificación (IH)	14,3
		Porcentaje de ácidos húmicos (PAH)	71,3
		Relación de polimerización	2,5

Tabla 4.18. Resultados de los índices de madurez y humificación obtenidos en el proceso de compostaje de la mezcla GVA 50.

Pila	Composición	Parámetro	Valor
GVA 50	Estiércol de oveja, destrío de lechuga y poda de cítrico.	Carbono extraíble (%)	5,8
		Carbono de ácidos fúlvicos (%)	1,1
		Carbono de ácidos húmicos (%)	4,8
		Relación de humificación (RH)	29,9
		Índice de humificación (IH)	24,5
		Porcentaje de ácidos húmicos (PAH)	81,8
		Relación de polimerización	4,5

Tabla 4.19. Resultados de los índices de madurez y humificación obtenidos en el proceso de compostaje de la mezcla GVA 51.

Pila	Composición	Parámetro	Valor
GVA 51	Estiércol de oveja, destrío de calabaza, destrío de cebolla y poda de cítrico.	Carbono extraíble (%)	5,8
		Carbono de ácidos fúlvicos (%)	1,2
		Carbono de ácidos húmicos (%)	4,5
		Relación de humificación (RH)	20,7
		Índice de humificación (IH)	16,3
		Porcentaje de ácidos húmicos (PAH)	78,5
		Relación de polimerización	3,6

La concentración de sustancias húmicas fue de 5,8 % s.m.s. para todos los compost, siendo mayor la concentración de ácido húmicos frente a los ácidos fúlvicos. Los valores de los índices de humificación han sido superiores a los propuestos por diversos autores (tabla 4.16), indicando cierta madurez y humificación de los compost evaluados.

4.5. Calidad agronómica de los compost obtenidos y dosificación

Calidad agronómica del compost

En la tabla 4.20 se muestran diversos parámetros que indican la calidad agronómica de los compost.

Podemos observar que, todos los compost presentan un nivel de pH ligeramente superior al ideal de rango 6-8,5, adecuado para el crecimiento vegetal (Hogg y col.2002).

La conductividad eléctrica muestra niveles medios, siendo los valores cercanos a los límites establecidos (2-4 d S/m) como favorables para la aplicación en suelo.

Todos los compost presentaron niveles medios de densidad aparente siendo adecuada para su uso agrícola. En cuanto al contenido en materia orgánica todos los compost presentan valores superiores al 35% establecido por el reglamento (RD506/2013 sobre fertilizantes).

A nivel fertilizante, los compost GVA 49 y 51 presentaron niveles de N medios, siendo bajo para el compost GVA 50. Respecto a unidades fertilizantes de fósforo todos los compost presentaron niveles bajos. En cuanto a las unidades fertilizantes de potasio el compost GVA 49 y el GVA 50 presentaron niveles altos y el compost GVA 51 niveles medios.

Aunque los niveles de IG no indicaron fitotoxicidad en el compost los valores de polifenoles cercanos a 1000 mg/kg podría limitar su uso para la germinación de semillas.

Los compost presentaron valores de ácidos húmicos por encima del 4%, niveles significativos en este tipo de materiales orgánicos.

Tabla 4.20. Principales parámetros de los compost obtenidos (GVA 49: estiércol de oveja, hierbas adventicias y poda de cítrico, GVA 50: estiércol de oveja, destrío de lechuga y poda de cítrico y GVA 51 estiércol de oveja, destrío de calabaza, destrío de cebolla y poda de cítrico).

Parámetro	GVA-49	GVA-50	GVA-51
pH	8,6	8,8	8,8
CE (dS/m)	4,6	4,0	4,0
MOT (%)	50,8	37,1	41,8
NT (%)	2,26	1,42	1,70
P ₂ O ₅ (%)	1,60	1,58	1,54
K ₂ O (%)	3,07	5,58	2,55
Polifenoles (mg/Kg)	1163	899	820
IG (%)	53	71	71
Densidad aparente (g/cm ³)	0,405	0,429	0,401
Carbono extraíble (%)	5,8	5,8	5,8
Ácidos fúlvicos (%)	1,7	1,1	1,2
Ácidos húmicos (%)	4,1	4,8	4,5

Dosificación de los compost

Se procede a continuación a calcular la cantidad de kilogramos de nitrógeno por hectárea que obtendríamos con la aplicación de los diferentes compost para una dosificación de 1000kg de compost/ha.

Teniendo en cuenta la humedad del compost y su contenido en NT podemos calcular los kg N/ha año mediante la siguiente fórmula:

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

Podemos observar los resultados obtenidos para los diferentes composts aplicando la fórmula con sus respectivos contenidos en humedad y en Nitrógeno total en la tabla 4.21 para una cantidad de 1000 kilogramos de compost por hectárea y año.

Tabla 4.21. Kilogramos de nitrógeno por hectárea y año obtenidos con la aplicación de 1000 kg de compost por hectárea y año.

Pila	Composición	Humedad (%)	NT (%)	Kg N/ha año
GVA 49	Estiércol de oveja, hierbas adventicias y poda de cítrico.	36	2,26	14,5
GVA 50	Estiércol de oveja, destrío de lechuga y poda de cítrico.	42,4	1,42	8,2
GVA 51	Estiércol de oveja, destrío de calabaza, destrío de cebolla y poda de cítrico.	36,1	1,70	10,9

Según la legislación vigente de agricultura ecológica no se pueden superar los 170 kg N/ ha año, por lo que el límite de kilos que se podrían aplicar con cada uno de los compost viene detallado en la tabla 4.22.

Tabla 4.22. Kilogramos de compost aplicables por hectárea y año para cumplir el límite de 170 kg N/ha y año.

Pila	Composición	Humedad (%)	NT (%)	kg Compost/ha año
GVA 49	Estiércol de oveja, hierbas adventicias y poda de cítrico.	36	2,26	11.753
GVA 50	Estiércol de oveja, destrío de lechuga y poda de cítrico.	42,4	1,42	20.784
GVA 51	Estiércol de oveja, destrío de calabaza, destrío de cebolla y poda de cítrico.	36,1	1,70	15.649

5. CONCLUSIONES



5. CONCLUSIONES

En este experimento, se ha ensayado el co-compostaje de estiércol de oveja extensivo, con poda de cítricos y diversos materiales hortícolas procedentes de una explotación ecológica con el fin obtener un producto fertilizante utilizable en agricultura ecológica, fomentando así la economía circular en la explotación. Los resultados obtenidos nos han permitido debatir sobre el desarrollo térmico del proceso, sobre la idoneidad de las materias primas y sobre la calidad agronómica de los compost finales obtenidos.

- En cuanto a la **exotermia** de los procesos, la pila conformada por estiércol de oveja extensiva, poda de cítrico y destrío de lechuga (GVA 50) fue la que presentó más días en fase bio-oxidativa, 20 días, y mayores valores del índice exotérmico EXI² (sumatorio cuadrático de la diferencia diaria entre la temperatura promedio de la pila y la temperatura ambiente durante la fase bio-oxidativa) y el índice EXI²/días fase bio-oxidativa, indicándonos una mejor compostabilidad de los materiales y mejores condiciones del sistema operacional, con un mayor desarrollo de la actividad microbiana.
- Ninguna de las pilas cumplió con los requisitos mínimos de **higienización** según establece el Reglamento (UE), 2019/1009. Este comportamiento anormal pudo ser debido a que el estiércol utilizado para las diferentes pilas se encontraba en un proceso avanzado de maduración.
- Los tres compost elaborados presentaron valores de **pH** finales elevados de 8,6 para el compost de estiércol de oveja extensiva, poda de cítrico y hierbas adventicias, y de 8,8 para los dos compost restantes. Esto podría limitar el uso de estos compost en sistemas de cultivo en contenedor y en etapas tempranas del cultivo, sugiriéndose su uso como enmendante. Respecto a la **conductividad eléctrica** el compost presento valores adecuados para su uso como enmendante agrícola.
- Aunque podemos considerar que los compost no mostraron **fitotoxicidad** según deduce de los valores de índice de germinación (> 50%), su contenido en

polifenoles cercanos a 1000 mg/kg podría limitar su uso para la germinación de semillas.

- En cuanto a los **contenidos en materia orgánica**, todos los compost cumplen con el contenido mínimo en materia orgánica que establece la legislación de un 35% (RD506/2013). Además, la evolución en los valores de la relación C/N, de la capacidad de intercambio catiónico y de la pérdida de materia orgánica indican una cierta evolución y **estabilización** de la materia orgánica.
- A nivel de **riqueza fertilizante NPK**, el compost con estiércol de oveja extensiva, poda de cítrico y restos de hortícolas (GVA 50) presentó niveles bajos de N y el resto niveles medios. Respecto a unidades fertilizantes de fósforo todos los compost presentaron niveles bajos. En cuanto a las unidades fertilizantes de potasio, el compost con estiércol de oveja extensiva, poda de cítrico y restos de cebolla y calabaza (GVA 51) presentó niveles medios, siendo altos para el resto.
- Los compost presentaron valores de **ácidos húmicos** por encima del 4%, niveles significativos en este tipo de materiales orgánicos. Además, todos los compost superaron los valores de índices de humificación propuestos por diversos autores.

Como conclusión final, indicar que el compostaje de podas y restos hortícolas generados en las explotaciones ecológicas es una forma adecuada de gestión y tratamiento, que permite ampliar la gama de recurso fertilizantes para aplicar como enmendante en los suelos, contribuyendo así al ahorro en materias primas fertilizantes, a la conservación de los recursos naturales y, en definitiva, a una mayor sostenibilidad de la finca. En nuestro caso concreto el uso del estiércol maduro creemos que ha sido factor limitante para alcanzar unos procesos más intensos respecto a la evolución térmica de las pilas.

6. BIBLIOGRAFÍA



6. BIBLIOGRAFÍA

- Bernal, M.P., A.F., Roig, A., Cegarra, J. y García, C. 1996. Carbon and nitrogen transformations during composting of sweet sorghum bagasse. *Biology and Fertility of Soils*, 22: 141-148.
- Bernal, M., Albuquerque, J., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. *A review. Bioresource Technology*, 100,5444-5453, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>.
- Bidlingmaier, W. 1996. Odour emissions from composting plants. En: De Bertoldi, M.; Sequi, P.; Lemmes, B. y Papi, T. (Eds.). *The Science of Composting*, vol. I, pp. 71-79. Blackie Academic & Professional, London.
- Bustamante, M.A., Paredes, C., Moral, R., Moreno-Caselles, J., Perez-Murcia, M.D., Perez-Espinosa, A., Bernal, M.P., 2007. Co-composting of distillery and winery wastes with sewage sludge. *Water Sci. Technol.* 56 (2), 187e192.
- Bustamante, M.A., Paredes, C., Marhuenda- Egea, F.C., Pérez- Espinosa, A., Bernal, M.P., Moral, R.2008. Co-composting distillery wastes with animal manure: Carbon and nitrogen transformations and evaluation of compost stability. *Chemosphere* 72, 551-557.
- Butler, T. A., Sikora, L. J., Steinhilber, P.M. y Douglass, L. W. 2001. Compost age and sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost. *Journal of Environmental Quality*; 30:2141-2148.
- Cegarra, J., J. A. Albuquerque, J. González, G. Tortosa, and D. Chaw. 2006. Effects of the forced ventilation on composting of a solid olive-mill by-product (“alperujo”) managed by mechanical turning. *Waste Management* 26: 1377–83. doi:10.1016/j.wasman.2005.11.021
- Díaz, M.J., Jiménez, L., Cabrera, F. y De Bertoldi, M.2004. Using a second order polynomials model to determine the optimum vinasse/grape marc ratio for in vessel composting. *Compost Sci. Util.*, 12 (3): 273-279.

- Epstein, E. 1997. *The Science of Composting*. Thechnomic Publishing Inc., Lancaster, Pennsylvania, p.83.
- Flórez Serrano, J. (2009). *Agricultura Ecológica*. 1st ed. Madrid: Mundi-Prensa Libros, s.a., pp.21-23.
- García, C., T. Hemández, F. Costa, y J.A. Pascual. 1992. Phytotoxicity due to the agricultural use of urban wastes. Germination experiments. *Journal of the Science of food and Agriculture*, 59:313-319.
- Guendez R, Kallithraka S, Makris DP, Kefalas P. 2005. Determination of low molecular weight polyphenolic constituents in grape (*Vitis vinifera* sp.) seed extracts: correlation with antiradical activity. *Food Chem*; 89: 1±9.
- Golueke C.G. 1981. Principles of biological resource recovery. *BioCycle*, 22, 36-40.
- Hamoda, M.F., H.A. Abu Qdais, y J. Newham. 1998. Evaluation of municipal solid waste composting kinetics. *Resources, Conservation and Recycling*, 23:209-223.
- Harada, Y. e Inoko, A. 1980. The measurement of the cation-exchange capacity of composts for estimation of degree of maturity. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 26, 127-134.
- Hao X., Chang C., Larney F.J., Travis R. (2001). Greenhouse Gas Emissions during cattle feedlot manure Composting. *Journal Enviromental Quality* 30, 376-386.
- Haug, R.T. 1993. *The Practical Handbook of composting Engineering*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Hogg D., Barth, J., Favoino, E., Centemero, M., Caimi, V., Amlinger, F., Devliegher, W., Brinton, W., and Antler, S. (2002). Comparison of compost standards within the EU, North America, and Australasia: Main report. Banbury, Uk: Waste and Resources Action Programme.
- Iglesias Jiménez, E. y Pérez García, V. 1989. Evaluation of city refuse compost maturity: A review. *Biological wastes*, 27:115-142.

- Inbar, Y., Chen, Y. y Hoitink, H.A.J. 1993. Properties for establishing standards for utilization of composts in container media. En: H.M. Keener and H.A.J. Hoitink (ed). Science and engineering of composting. Renaissance Publ. Worthington. OH, pp. 668-694.
- IPCC, 2019. Summary for policymakers. A. Arneth et al. (Eds.), Climate change and land. An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Available at: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/4.-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf. Accessed 1/10/2019
- Jeris, J. S. y Regan, R. W. 1973. Controlling Environmental Parameters for Optimum Composting. Part II, Compost Sci., 14 (March-April): 8-15.
- Jiménez, E.I. y VP. García. 1989. Evaluation of city refuse compost maturity: a review. Biological Wastes 27:115-142.
- Jhorar, B. S., Phogat, V. y Malik, E. 1991. Kinetics of composting rice Straw with glue waste at different C/N ratios in a semiarid environment. Arid Soil Rest. Rehabil., 5: 297-306.
- Kitson, R.E. y Mellon, M.G. 1944. Colorimetric determination of P as a molybdovanadato phosphoric acid. Ind. Eng. Chem. Anal. Ed., 16, 379-383.
- Kiehl, F.J. 1985. Fertilizantes orgánicos. Editora Agronómica Ceres Ltda, Sao Paulo.
- Lax, A., Roig, A. y Costa, F. 1986. A method for determining the cation-exchange capacity of organic materials. Plant and Soil, 94:349-355.
- Madejón, E., Díaz, M. J., López, R. y Cabrera, F. 2001. Co-composting of sugarbeet vinasse: Influence of the organic matter nature of the bulking agents used. Biores. Technol., 76:275-278.
- Manios, V.I.; Tsikalas, P.E y Siminis, H.I 1987. Phytotoxicity of olive tree leaf compost. En: Compost: Production, Quality and Use. Ed: M, de Bertoldi, MP., Ferranti, P., L'Hermite y F., Zucconi. Elsevier. Barking. Pp. 296- 301

- Michel, F.C., Pecchia, J.A., Rigot, J. 2004. Mass and nutrient losses during the composting of dairy manure amended with sawdust or straw. *Compost Sci. Util*, 12(4): 323-334.
- Miller, F.C. 1993. Minimizing odor generation”, en Hoitink, H.A.J. and Keener, H.M., *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*, 1993, pp.219-241.
- Miyatake, F., Iwabuchi, K. (2006). Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure, *Bioresource Technology*,97: 961-965.
- Moreno, C. y Moral, Herrero, R. 2008. *Compostaje*. –Mundi- Prensa. Madrid.
- Navarro, A.F.,Cegarra, J. Roig, A. García, D. 1993. Relationships between organicmatter and carbón contents of organic wastes. *Biosource Technology*, 44:203-207.
- Naylor, L.M. 1996. *Composting*. Environmental and Science and Pollution Series, 18(69): 193-269.
- Negro, M.J.,Villa, F., Alarcon,R. 2000. *Producción y Gestión del compost*.
- Paredes, C., Bernal, M.P., Cegarra, J. y Roig, A. 2002. Bio-degradation of olive mill wastewatersludge by its co-composting with agricultural wastes. *Bioresource Technology* 85, 1-8.
- Real decreto 261/1996, Boletín oficial del estado, España, 11 de Marzo de 1996.
- Real decreto 506/2013. Boletín oficial del estado, España, 28 de Junio de 2013.
- Reglamento (UE) 2018/848 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de mayo de 2018, sobre producción ecológica y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 834/2007 del Consejo (DO L150/1 de 14.06.2018,p.1).
- Reglamento (UE) 2018/1584 de la comisión de 22 de octubre de 2018, que modifica el Reglamento (CE) n.º889/2008, por el que se establecen en disposición del Reglamento (CE) n.º 834/2007 del Consejo sobre producción y etiquetado de los

productos ecológicos, con respecto a la producción ecológica, su etiquetado y su control (DO L264/1 de 23.10.2018,p.1).

Reglamento (CE) n. o 1107/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, relativo a la comercialización de productos fitosanitarios y por el que se derogan las Directivas 79/117/CEE y 91/414/CEE del Consejo (DO L 309 de 24.11.2009, p. 1).

Roletto E., Barberis, R. Consignlid M., and Jodice R. 1985. Chemical parameters for evaluation compost maturity. *Biocycle March*, 46–48.

Sánchez-Monedero, M.A., Roig, A., Paredes, C. y Bernal, M.P. (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Biores. Technol.*, 78(3): 301-308.

Sánchez-Monedero, M.A., Roig, A., Martínez-Pardo, C., Cegarra, J., Paredes, C., 1996. A microanalysis methods for determining total organic carbon in extracts of humic substances. Relationships between total organic carbon and oxidable carbon. *Bioresour. Technol.* 57, 291–295.

Saña, J. y Soliva, M. 1987. El compostatge: procés, sistemes i aplicacions. *Quaderns d'Ecologia Aplicada*, nº 111. Servei del Medi Ambient de la Diputació de Barcelona. 98 pp.

Sela,g.(s.f.). Potasio en las plantas. www.smart-fertilizer.com. <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/potassium-in-plants>.

Scalbert, A. (1991). Antimicrobial properties of tannis. *Phytochemistry*, 30: 3875- 3883.

Senesi, N. (1989). Composted materias as organic fertilizers. *Sci. Total Environ.* 81/82:521-542.

Singley, M.E., A.J. Higgins, y M. Frumkin-Rosengau. 1982. *Sludge Composting and Utilization – A Design and Operating Manual*. New Jersey Agricultural Experimental Station, Rutgers University, New Brunswick, New Jersey.

- Stoffella P.J. y Kahn B.A. 2004. Utilización de Compost en los Sistemas de Cultivo Hortícola. Mundi-Prensa Libros, Madrid, España, 414 pp.
- Suler, D.J. y Finstein, S. 1977. Effect of Temperature, Aeration, and Moisture on CO₂ Formation in Bench-Scale, continuously Thermophilic Composting of Solid Waste. *Appl. Environ. Microbiol.*, 33(2):345-350.
- Tchobanoglous, G., H. Theisen, Vigil, S. 1994. Gestión integral de residuos sólidos. Ed. McGraw-Hill, Madrid. 1. 107 págs.
- Viel, M. Sayag, D. Peyre, A. y André, L. 1987. Optimization of in-vessel co-composting through heat recovery. *Biol. Wastes*, 20, 167-185.
- Wiley, J.S. 1957. High rate composting. American Society of Civil Engineering Transcripts, 2895.
- Zucconi, F. , Pera, A., Forte, M., de Bertoldi, M. (1981). Evaluating toxicity of immature compost. *BioCycle*. 22: 54-57.
- Zucconi, F., Monaco, A. y Forte, M. 1985. Phytotoxins during the stabilization of organic matter. *Composting of Agricultural and other Wastes*. Ed.: J.K.R. Gasser. Elsevier. Barking. Pp. 73-85.
- Zucconi, F. y De Bertoldi, M. 1987. Specifications for solid waste compost. *Biocycle*, 28 (5/6): 56-61.
- Zhu, N. W. 2006. Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system. *Biores. Technol.*, 97(15): 319-326.