



Miguel Hernández

ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE ORIHUELA



CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura

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



DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE TEMPERATURA DE MEZCLAS DE RESTOS DE PODA DE JARDINERÍA PÚBLICA Y ESTIÉRCOL DE VACA PARA SU COMPOSTAJE



FRANCISCA TOVAR MARTÍNEZ

2013



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

Se autoriza a la alumna **D.^a Francisca Tovar Martínez** a realizar el Trabajo Fin de Máster titulado: “Determinación de las curvas de temperaturas de mezclas de restos de poda de jardinería pública y estiércol de vaca para su compostaje”, bajo la dirección de D. Raúl Moral Herrero y la codirección de D. Rafael Clemente Carrillo, debiendo cumplir las directrices para la redacción del mismo que están a su disposición en el Centro de Gestión de Campus y en la página Web de la misma.

Orihuela, 4 de julio de 2013

La Directora del Master de Investigación en Gestión, Tratamiento y Valoración de Residuos Orgánicos.

Fdo.: Concepción Paredes Gil



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



**ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE ORIHUELA**

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



**DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE TEMPERATURA
DE MEZCLAS DE RESTOS DE PODA DE JARDINERÍA
PÚBLICA Y ESTIÉRCOL DE VACA PARA SU COMPOSTAJE**

Vº Bº DIRECTOR

Vº Bº CODIRECTOR

Raúl Moral Herrero

Rafael Clemente Carrillo



MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD



CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
CENTRO DE EDAFOLOGÍA Y BIOLOGÍA
APLICADA DEL SEGURA (CEBAS)

D. Rafael Clemente Carrillo, Doctor en Química e Investigador Ramón y Cajal en el Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, CEBAS-CSIC,

CERTIFICA:

Que el Trabajo Fin de Master titulado "...", presentado por **D^a. Francisca Tovar Martínez** ha sido realizado bajo mi inmediata dirección y supervisión en el Departamento de Conservación de Suelos y Agua y Manejo de Residuos Orgánicos del CEBAS-CSIC

Murcia, a 13 de septiembre de 2013

Fdo. Rafael Clemente Carrillo

Campus Universitario de
Espinardo
30100 Espinardo, Murcia.
ESPAÑA – Spain
Telf. (34) 968 396200
Fax.: (34) 968 396213

REFERENCIAS DEL TRABAJO FIN DE MASTER

IDENTIFICACIONES:

Autor: Francisca Tovar Martínez.

Título: Determinación de las curvas de temperatura de mezclas de restos de poda de jardinería pública y estiércol de vaca para su compostaje.

Directores: Raúl Moral Herrero / Rafael Clemente Carrillo.

Año: 2013

Titulación: Máster Universitario en Investigación en Gestión, Tratamientos y Valorización de Residuos Orgánicos.

Tipo de trabajo: Experimental

Palabras clave: restos vegetales, restos de poda, caracterización, autocalentamiento, compostaje

Keywords: garden pruning wastes, characterization, self-heating, composting

Nº citas bibliográficas: 65 publicaciones, 4 páginas webs, 8 normativas.

Nº de tablas: 18

Nº de figuras: 19 figuras, 2 imágenes

Resumen:

El objeto del presente trabajo es caracterizar químicamente una selección de distintos restos vegetales de poda generados en la conservación y mantenimiento de espacios verdes públicos. Así, se ha estudiado el comportamiento de los citados restos en cuanto a su potencial degradación tanto con la realización de distintas mezclas entre ellos, como con la adición de estiércol de origen vacuno. Se pretende así conocer si el proceso de compostaje se produciría de forma natural o si precisaría de la incorporación de un activador que permitiera alcanzar las condiciones necesarias para que tenga lugar. Para ello se han determinado los perfiles térmicos alcanzados durante el periodo de desarrollo de la fase termófila en un experimento de simulación en recipientes cilíndricos de 6 litros.

Abstract:

The aim of this study is to characterise chemically a selection of different pruning plant wastes generated in the preservation and maintenance of public green spaces. Thus, we studied the behaviour of these wastes regarding their potential degradation, performing both different mixtures of these materials, and mixtures of pruning wastes and cow manure at different rates. The intention was to know if the composting process occurs naturally or if it would require the addition of an activator to achieve the required conditions to take place. To do this we have determined the thermal profiles obtained during the development of the thermophilic phase in a simulation experiment carried out in six litres cylindrical vessels.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento al Dr. Raúl Moral Herrero por su dedicación e interés en la dirección de este trabajo.

Agradecer de manera especial al codirector Dr. Rafael Clemente Carrillo, quien con su ayuda permanente, conocimientos, interés y apoyo ha contribuido directamente en la conformación tanto teórica como empírica del presente trabajo, representando un modelo a seguir.

Agradezco igualmente a la Dra. M^a Pilar Bernal Calderón el permitirme colaborar con el Grupo de Sostenibilidad de Sistemas Suelo-Planta del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC), además de su supervisión y orientación durante el desarrollo de este trabajo de investigación, en el que también me han ayudado André Simoes Do Santos, José Antonio Sáez Tovar, Tania Pardo Iglesias, Elena Arco Lázaro y Antonia García Carrasco.

Mi más sincero reconocimiento a la Dra. M^a Ángeles Bustamante Muñoz por su colaboración desinteresada, proporcionándome información de gran utilidad.

Finalmente, a todas aquellas personas que de un modo u otro me han ayudado a lo largo de este tiempo.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 Descripción de residuos de restos vegetales	8
1.2 Generación y problemática de los residuos de restos de poda en el mantenimiento de zonas verdes públicas	15
1.2.1 Generación de residuos	17
1.2.2 Estrategias para la estimación de restos verdes.....	20
1.2.3 Problemática de los residuos	25
1.3 Opciones de gestión de residuos de restos de poda más utilizadas en España	28
1.3.1 Tratamientos para la eliminación	32
1.3.2 Tratamientos para el aprovechamiento	33
1.4 Compostaje como alternativa de gestión	43
1.4.1 Requisitos de los materiales a utilizar	46
1.4.2 Fases del proceso de compostaje e importancia de la temperatura	50
1.4.3 Ventajas y limitaciones del proceso de compostaje	52
1.5 Revisión bibliográfica.....	55
2. OBJETIVOS.....	59
3. MATERIALES Y MÉTODOS	61
3.1 Materiales	61
3.1.1 Restos de especies vegetales	61

3.1.2	Estiércol de vaca	65
3.2	Diseño experimental	66
3.2.1	Selección de la mezcla de materiales	66
3.2.2	Preparación de la muestra	67
3.2.3	Determinación de las curvas de temperatura en las distintas mezclas.....	69
3.2.4	Tratamiento de datos	72
3.3	Parámetros controlados.....	73
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	77
4.1	Caracterización de los restos de poda recogidos	77
4.1.1	Caracterización de los materiales por especie vegetal.....	77
4.1.2	Caracterización de las mezclas propuestas	81
4.2	Evolución de la temperatura en las mezclas seleccionadas.....	83
4.2.1	Efecto de la adición de estiércol	85
4.2.2	Velocidad de calentamiento	86
4.2.3	Capacidad de autocalentamiento.....	87
4.2.4	Potencial energético producido durante el autocalentamiento	89
4.3	Optimización de la proporción de materiales vegetales-estiércol para su compostaje	90
5.	CONCLUSIONES.....	95
6.	BIBLIOGRAFÍA	101

**ANEXO I. Inventario de arbolado y palmáceas del término municipal de
alcantarilla año 2013..... I**

ANEXO II. Métodos analíticos III

INDICE DE IMÁGENES

Imagen 2.1. Acopio y transporte de residuos de jardinería.....28

Imagen 2.2. Acolchado orgánico en parterres del Parque Norte Canastell (San
Vicente de Raspeig, Alicante)34

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Clasificación de residuos vegetales10

Tabla 1.2. Producción de residuos biodegradables de parques y jardines
durante el año 2011 en varios municipios de Murcia20

Tabla 1.3. Estimación de la producción comarcal de Fracción vegetal
(leñosa/poda) en Cataluña (2005)25

Tabla 1.4. Cantidad de residuos urbanos tratados según tipo de instalación
(MAGRAMA, 2010).....30

Tabla 1.5. Greenpeace España Incineración de residuos: Malos humos para el
clima, 2009.....46

Tabla 1.6. Condiciones óptimas para el proceso de compostaje (Graves y
Hattemer, 2000).....50

Tabla 1.7. Clasificación de un compost según su capacidad de
autocalentamiento55

Tabla 3.1. Unidades de las especies vegetales más abundantes en las zonas
verdes públicas en el año 2013 del Término Municipal de Alcantarilla61

Tabla 3.2. Características del estiércol vacuno utilizado (valores referidos
sobre materia seca)66

Tabla 3.3. Materiales y porcentajes que componen las mezclas 1 y 2 (peso
fresco)67

Tabla 3.4. Primer ensayo de autocalentamiento de las mezclas 1 y 2 durante
10 días, con 20 % de estiércol de vacuno70

Tabla 3.5. Segundo ensayo de autocalentamiento de las mezclas 1 y 2 durante 9 días, por sí mismo y con 5 % de estiércol de vacuno	71
Tabla 4.1. Caracterización de restos vegetales iniciales (datos referidos a materia seca)	77
Tabla 4.2. Concentración de amonio (mg kg^{-1}), lignina, holocelulosa, celulosa y hemicelulosa.....	79
Tabla 4.3. Composición elemental y contenido de amonio de las especies vegetales en mg kg^{-1}	80
Tabla 4.4. Características químicas de las mezclas de restos de poda, con diferentes proporciones de estiércol al inicio y final de los ensayos de autocalentamiento.	82
Tabla 4.5. Características físicas de las mezclas al inicio dentro de las columnas de reacción.	83
Tabla 4.6. Energía (q) producida por los microorganismos durante el autocalentamiento de las distintas mezclas.	100

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Clasificación de los biorresiduos de competencia municipal (MAGRAMA, 2013)	11
Figura 1.2. Distribución de cantidad de residuos urbanos según modalidad en 2010	16
Figura 1.3. Generación por habitante y año de residuos de jardinería de 1994-2006 (Boldrin y Christensen, 2010)	18
Figura 1.4. Generación de residuos biodegradables de parques y jardines en la región de Murcia. (Comunidad Autónoma de la Región de Murcia: Consejería de Presidencia, Dirección General de Medio Ambiente)	19
Figura 1.5. Objetivos de reducción de vertido de residuos biodegradables a vertederos municipales. (EEA, 2013).....	27
Figura 1.6. Tratamiento de residuos municipales en la Unión Europea (kg per capita)(Blumenthal, 2011)	29
Figura 1.7. Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos en España en 2007 (MAGRAMA)	30
Figura 1.8. Alternativas disponibles para el tratamiento de residuos agrícolas (López y Boluda, 2008)	31

Figura 1.9. Evolución teórica de la temperatura en el proceso de compostaje (Costa, 1991)	52
Figura 3.1. Especies más representativas arbóreas y palmáceas de las zonas verdes públicas del Término Municipal de Alcantarilla del año 2013).....	62
Figura 3.2. Estiércol vacuno aplicado como activador en los ensayos.....	65
Figura 3.3. Preparación de la muestra de los restos vegetales seleccionados	68
Figura 3.4. Esquema de equipo de autocalentamiento con columnas de reacción.....	69
Figura 3.6. Primer ensayo de autocalentamiento de las mezclas 1 y 2 con 20% estiércol vacuno	72
Figura 4.1. Evolución de la temperatura durante los ensayos de autocalentamiento	84
Figura 4.2. Relación entre diferencia de temperaturas acumulada (°C) y el peso seco de la mezcla (g)	88
Figura II.1. Muestras para determinar humedad.....	III
Figura II.2. Muestras para determinar materia orgánica.....	IV
Figura II.3. Proceso para determinar C _{OT} y NT	V

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha experimentado un aumento progresivo del volumen de residuos biodegradables y de la cantidad de materia orgánica que se desecha, lo que plantea un grave problema de eliminación para la sociedad y para la conservación del medio ambiente.

El abandono y la gestión inadecuada de los residuos producen impactos en los medios receptores, y pueden provocar contaminación en el agua, en el suelo, en el aire, contribuir al cambio climático y afectar a los ecosistemas y a la salud humana. Sin embargo, cuando los residuos se gestionan de forma adecuada se contribuye al ahorro de materias primas, a la conservación de los recursos naturales, del clima y al desarrollo sostenible.

Por ello, la gestión eficaz de los residuos ha de ir encaminada a aprovechar los recursos contenidos en ellos, a reducir el impacto que tienen la producción y tratamiento de los residuos en el medio ambiente, en particular, en las emisiones de gases de efecto invernadero, así como a mejorar las técnicas de reciclaje y reutilización.

Respecto a los restos vegetales de poda, estos son también un material cada vez más abundante en la actualidad, tanto en los trabajos agrícolas y actividades forestales debido a su continua generación, como en las tareas conservación y mantenimiento de los espacios verdes públicos, a causa del nuevo modelo de ciudad imperante que cuenta con amplios espacios ajardinados para el ocio y esparcimiento de los ciudadanos.

En particular, la generación de los residuos vegetales resultantes de las actividades de mantenimiento de parques, jardines y arbolado de alineación de zonas urbanas, supone un serio problema para muchas ciudades, que no disponen de los medios económicos y materiales necesarios para su adecuada gestión. En este sentido, desde un punto de vista económico y medioambiental, el compostaje se plantea como el procedimiento más idóneo para el aprovechamiento de estos residuos

verdes de jardinería, ya que son materiales que presentan unas características adecuadas para ser transformados en compost.

1.1. DESCRIPCIÓN DE RESIDUOS DE RESTOS VEGETALES

El concepto “residuo” incluye a todo aquel material generado por las actividades de producción y consumo que no alcanza, en el contexto en que es producido, ningún valor económico, siendo necesario por tanto su recogida y tratamiento por razones de salud y de contaminación ambiental, para evitar ocupaciones innecesarias de espacio, o simplemente por motivaciones estéticas (OCDE Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, citado por Otero del Peral, 1992, y Seoáñez, 2000).

En términos jurídicos, la legislación europea (**Directiva 2008/98/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas) establece como residuo a *«cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención o la obligación de desprenderse»*.

A nivel nacional la **Ley 22/2011**, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados (BOE núm. 181 de 29 de Julio de 2011) indica que se entenderá como tal *«cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar»*.

En todo caso, tendrán esta consideración los que figuren en la **Lista Europea de Residuos, LER** (Decisión 2000/532/CE de la Comisión, de 3 de mayo, modificada posteriormente por otras Decisiones, y Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero).

Según su naturaleza, los residuos se clasifican en orgánicos e inorgánicos. Centrándonos en los primeros, existen tres grandes sectores productores de residuos orgánicos (Abad y Puchades, 2002; Bernal y Gondar, 2008; Costa et al., 1991):

- Primario: Residuos agrícolas, ganaderos y forestales.

- Secundario: Residuos industriales (agroalimentarios, textiles, etc.)
- Terciario: Residuos urbanos (RSU, lodos de EDAR, etc.)

En el sector primario de producción se engloban todos aquellos materiales procedentes de la actividad agrícola, ganadera o forestal. Así, desde un punto de vista general, se pueden considerar residuos agrarios los residuos agrícolas constituidos por restos de cosechas, de poda, etc., los residuos ganaderos como estiércoles y purines, y los residuos forestales o silvícolas procedentes de actividades de podas, clareos, limpieza de los bosques o talas de árboles viejos o enfermos.

El sector industrial genera una gran variedad de residuos orgánicos, tanto sólidos como líquidos, tan variados como las propias industrias que lo generan. De especial interés son los residuos de la industria agroalimentaria, que generan residuos vegetales y residuos líquidos precedentes del procesado de frutas y verduras, lodos u aguas residuales procedentes de la transformación y procesado de los alimentos.

Por último del sector servicios resultan los residuos domésticos (residuos sólidos urbanos), que son definidos por la **Ley 22/2011** como aquellos «*generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas.[...]. Tendrán la consideración de residuos domésticos los residuos procedentes de limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas, los animales domésticos muertos y los vehículos abandonados.*»

En definitiva, en cuanto a la producción de residuos de origen vegetal, dentro de estos tres sectores, existen diversas actividades que no están directamente ligadas a la actividad agroalimentaria o forestal. Tal es el caso de todo el material vegetal generado en la jardinería urbana y periurbana, incluso la vegetación marginal en carreteras, cursos de ríos y dominio público. Del mismo modo, las algas y especies vegetales marinas recogidas durante los trabajos de acondicionamiento y limpieza de las playas, especialmente durante la temporada estival, son una importante fuente de de biomasa.

Tabla 1.1. Clasificación de residuos vegetales.

CNAE ¹	LER ²	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca, y residuos de la preparación y elaboración de alimentos			
0111.- Cultivo de cereales (excepto arroz), leguminosas y semillas oleaginosas	02 01 03	Residuos de tejidos de vegetales	Pajas, hojas, tallos, cascarillas, raíces, frutos, ramas, troncos, etc.
0112.- Cultivo de arroz			
0113.- Cultivo de hortalizas, raíces y tubérculos			
0114.- Cultivo de caña de azúcar			
0115.- Cultivo de tabaco			
0116.- Cultivo de plantas para fibras textiles			
0119.- Otros cultivos no perennes			
0121.- Cultivo de la vid			
0122.- Cultivo de frutos tropicales y subtropicales			
0123.- Cultivo de cítricos			
0124.- Cultivo de frutos con hueso y pepitas			
0125.- Cultivo de otros árboles y arbustos frutales y frutos secos			
0126.- Cultivo de frutos oleaginosos			
0127.- Cultivo de plantas para bebidas			
0128.- Cultivo de especias, plantas aromáticas, medicinales y farmacéuticas			
0129.- Otros cultivos perennes			
0210.- Silvicultura y otras actividades forestales	02 01 07	Residuos de la silvicultura	Ramas, troncos, restos de desbroce, etc.
Residuos de la preparación y elaboración de frutas, hortalizas, cereales, aceites comestibles, cacao, café, té y tabaco; producción de conservas; producción de levadura y extracto de levadura, preparación y fermentación de melazas			
1032.- Elaboración de zumos de frutas y hortalizas	02 03 01	Lodos de lavado, limpieza, pelado, centrifugado y separación	Pepitas, huesos, pieles, pulpa, etc.
1039.- Otro procesado y conservación de frutas y hortalizas			
1043.- Fabricación de aceite de oliva			
Residuos de la transformación de la madera y de la producción de tableros y muebles			
1610.- Aserrado y cepillado de la madera	03 01 04*	Serrín, virutas, recortes, madera, tableros de partículas y chapas que contienen sustancias peligrosas	Serrín, virutas, recortes, madera, etc.
Residuos municipales (residuos domésticos y residuos asimilables procedentes de los comercios, industrias e instituciones), incluidas las fracciones recogidas selectivamente			
8130.- Actividades de jardinería	20 02 01	Residuos de parques y jardines (incluidos los residuos de cementerios). Residuos biodegradables	Ramas, troncos, restos de desbroce, etc.
8129.-Otras actividades de limpieza	20 03 99	Residuos municipales no especificados en otra categoría (limpieza de playas)	Algas, restos vegetales, etc.

¹CNAE: Clasificación Nacional de Actividades Económicas.

²LER: Lista Europea de Residuos (Decisión 2000/532/CE de la Comisión, de 3 de mayo, modificada posteriormente por otras Decisiones, y Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero).

En la Tabla 1.1 se presenta la “Clasificación de Residuos Vegetales” agrupados según la actividad que lo genera atendiendo a la Clasificación Nacional de Actividades Económicas y a la Lista Europea de Residuos.

Al estudiar los residuos del sector terciario, otro concepto a tener en cuenta, es el de biorresiduo, igualmente definido por la citada **Ley 22/2011** como aquel «*residuo biodegradable de jardines y parques, residuos alimenticios y de cocina procedentes de hogares, restaurantes, servicios de restauración colectiva y establecimientos de venta al por menor; así como, residuos comparables procedentes de plantas de procesado de alimentos*».

En esta definición legal de biorresiduo se incluye una muy amplia y variada gama de residuos urbanos, que se pueden dividir en dos tipos con características muy diferentes. Por un lado tenemos los restos de alimentos procedentes de cocinas, restaurantes, empresas, y otros establecimientos. Y por otro lado, encontramos los residuos de jardines y parques, tanto públicos como privados, que habitualmente se conocen como residuos verdes o de jardín y que son el resultado del acondicionamiento de las zonas verdes de las ciudades, como césped, poda o recogida de hojas secas en otoño.

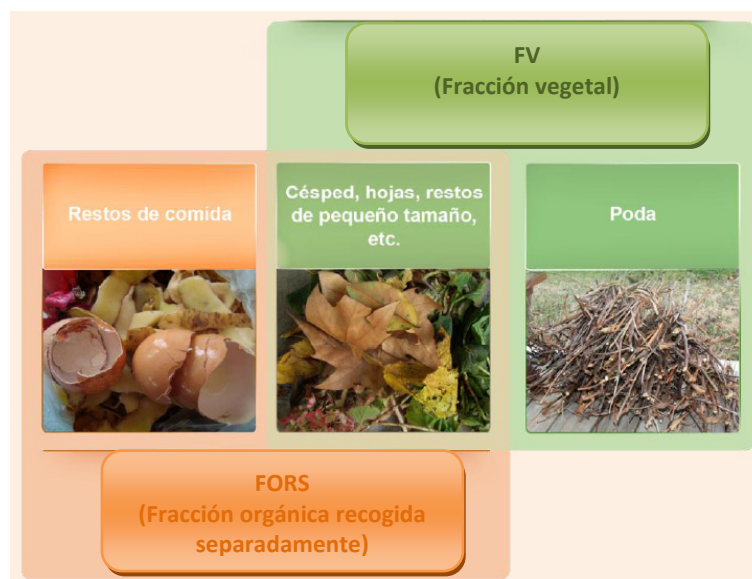


Figura 1.1. Clasificación de los biorresiduos de competencia municipal (MAGRAMA, 2013)

A efectos de articular su gestión según la “Guía para la implantación de la recogida separada y gestión de biorresiduos de competencia municipal” editada por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en 2013, y observando la Figura 1.1, los biorresiduos de competencia municipal se pueden clasificar de la siguiente manera:

Fracción Orgánica (FO: Fracción Orgánica; FORS: Fracción Orgánica Recogida Separadamente), constituida fundamentalmente por:

- Restos de la preparación o manipulación de la comida y elaboración de los productos alimentarios, restos sobrantes de comida, alimentos en mal estado y excedentes alimentarios que no se han comercializado o consumido (separados de su envase o embalaje).
- Fracción Vegetal (FV) en forma de restos vegetales de pequeño tamaño y de tipo no leñoso procedentes de jardinería y poda. Sus características (contenido en agua, densidad, etc.) son parecidas a los restos de comida y por ello se asimilan a la FO.

Poda, constituida por la Fracción Vegetal (FV) en forma de restos vegetales de jardinería y poda de mayor tamaño y de tipo leñoso.

Este enfoque considera como Fracción Orgánica principalmente los residuos alimentarios, pero también permite integrar aquella Fracción Vegetal formada por los restos verdes de pequeña dimensión tales como ramos de flores mustios, malas hierbas, césped, pequeñas ramas de poda, hojarasca, etc. La Poda, por su parte, está formada por la Fracción Vegetal procedente de la jardinería y poda de mayor tamaño y de tipo leñoso, la cual necesita de una gestión específica por cuestiones relacionadas con logística de recogida, el tratamiento y uso (material estructurante para el compostaje) y la temporalidad de generación (frecuencia y periodo).

Dentro de los biorresiduos, el conocimiento específico de los residuos vegetales procedentes de jardinería urbana y periurbana (Fracción Vegetal), es el objeto de este estudio.

Los residuos vegetales, verdes, o de jardinería se generan a partir de un conjunto de operaciones específicas y necesarias para el mantenimiento y conservación de zonas verdes, parques y jardines públicos o particulares. En función de las características particulares de la planta, arbusto o árbol de que se trate, estas operaciones se desarrollan bajo un calendario específico al respecto. Debido a esto, la producción de restos vegetales se origina bajo condiciones de temporalidad según el aspecto cuantitativo o cualitativo, es decir, según la mayor o menor realización de operaciones de poda, limpieza, recogida de hojas caídas, siega o, según se trate de ramas de árboles, hojas, tallos, etc.

Estos residuos se pueden agrupar de forma simplificada en residuos de especies cespitosas, arbustivas, leñosas y palmáceas, en orden decreciente de degradabilidad, asociado a su contenido lignocelulósico (REC, 2013).

Las **especies cespitosas** utilizadas dependen del clima de la zona urbana, pero en general, en los restos de siega suelen abundar especies del tipo *Cynodon dactylon*, *Stenotaphrum secundatum*, *Pennisetum clandestinum*, *Festuca spp*, etc. Su elevado contenido en humedad y su relación carbono-nitrógeno (C/N) en torno a 15-20 hacen que sea habitual que este material almacenado después de su corte, inicie procesos de autodegradación aeróbica. Este residuo se obtiene en mayor abundancia durante la época de mayo a septiembre. Pero hay que señalar que en la actualidad hay una tendencia, por el ahorro de tiempo y mano de obra, a la utilización de máquinas cortacésped “recicladoras”. La idea consiste en utilizar maquinaria con cuchillas y elementos especiales que trituran una y otra vez las hojas segadas del césped hasta dejarlas en tamaños apenas apreciables de manera que su descomposición y reincorporación al suelo sea rápida y eficaz. Dejar los recortes sin recoger adquiere todo su sentido si se tiene en cuenta que efectivamente son las “hojas” del césped, con un 90% de agua, las que, con una humedad y contenido rico en nutrientes orgánicos, son perfectamente aprovechables si se devuelven al terreno en las condiciones idóneas.

Las **especies arbustivas** utilizadas en jardinería urbana pueden ser muy variadas, abundando en la actualidad especies del tipo aromático al estar implantándose, cada vez más, prácticas de xerojardinería de cara al ahorro en consumo hídrico y una reducción de las operaciones de mantenimiento y conservación. En este ámbito, *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula angustifolia*, *Lavandula dentata*, y *Thymus vulgaris* entre las aromáticas, y *Callistemon speciosus*, *Cotoneaster spp.*, *Cupressus sempervirens*, *Lantana camara*, *Ligustrum japonicum*, *Nerium oleander*, *Pistacea spp.*, etc., son especies abundantes que se adaptan a este perfil de jardinería de bajo mantenimiento y muchas de ellas conforman setos con lo que generan recortes y biomasa a gestionar.

A nivel **leñoso y arbóreo**, especies como *Acacia spp.*, *Citrus aurantium*, *Cupressus sempervirens*, *Ficus spp.*, *Jacaranda mimosifolia*, *Morus alba*, *Olea europaea*, *Populus spp.*, *Tipuana tipus*, etc. conviven en los jardines urbanos españoles. Las ramas de grandes diámetros que proceden de su poda tienen una estructura estable, contienen pocas sustancias nutritivas y suelen mostrar una relación C/N elevada (aprox. 100), lo que resulta desfavorable para su degradación (Ministerio Estatal de Baviera para el Desarrollo Provincial y Asuntos de Medio Ambiente, 1991). Otra característica de estos restos vegetales es su naturaleza fibrosa, que queda de manifiesto analizando su contenido en lignina, que según Aitken y col. (1988), en las especies coníferas representa entre 25 y 33 % de la biomasa en madera y en las frondosas entre 18 y 34 %. En cuanto a su presencia en la madera es más abundante en primavera que en verano (García y col., 2003).

En las zonas turísticas y urbanas, especialmente del sur y el sureste español y las áreas insulares, existe una mayor profusión de **especies palmáceas**. Su manejo y mantenimiento necesita de estrategias específicas, debido también a su naturaleza fibrosa. En este tipo de materiales vegetales, las podas y recortes suelen ser de tipo más estacional. Las principales especies de palmáceas son *Phoenix canariensis*, *Phoenix dactylifera*, y *Washingtonia robusta*. Adicionalmente, la plaga del picudo rojo (*Rhynchophorus ferrugineus*) se ha extendido de forma alarmante entre

especies palmáceas y especialmente en la *Phoenix canariensis* (Fiaboe y col., 2012), siendo uno de los principales métodos de control la detección temprana y la eliminación de las partes afectadas o en el caso de la no posible recuperación la eliminación del ejemplar infectado. Este hecho está generando cantidades crecientes de biomasa triturada (para destruir las larvas de la plaga) de palmáceas que se unen a los restos de poda usuales. Las especies palmáceas tienen en general unas relaciones C/N variables en función de la presencia de hoja o raquis, pero puede alcanzar valores superiores a 150, cuando trabajamos con las partes más leñosas.

Los trabajos de poda de arbolado y palmáceas se concentran mayoritariamente entre los meses de octubre a febrero, por tanto es cuando más se producen residuos de estas especies.

En definitiva, se trata de residuos cuyo manejo supone la toma de decisiones de gestión, tratamiento y potencial valorización condicionada por el entorno y en ocasiones, por la tradición en su manejo.

1.2. GENERACIÓN Y PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS DE RESTOS DE PODA EN EL MANTENIMIENTO DE ZONAS VERDES PÚBLICAS

Más de $1,8 \cdot 10^3$ millones de toneladas de residuos se generan anualmente en Europa, lo que supone 3,5 toneladas por habitante (EEA, 2006). Estos provienen principalmente de actividades comerciales, urbanas, industriales, agricultura, construcción, minería y la energía. Según la Agencia de Medio Ambiente, a través del European Topic Centre on Resource and Waste Management (EEA, 2006) se estima que los residuos municipales suponen el 14% (252 millones t), de los cuales el 60% (151,2 millones t) son residuos sólidos urbanos degradables, el 4% son residuos eléctricos y electrónicos (10 millones t), y los residuos de embalaje y empaquetado suponen el 17% (42,8 millones t). Los residuos industriales suponen el 1,83% del total (33 millones t), los procedentes de la construcción el 25% (450 millones t), y el 29% proceden de la minería (552 millones t). Los residuos peligrosos suponen el 1% del total generado (18 millones t) (Bernal y Gondar, 2008).

En la Figura 1.2 se muestra la distribución de la cantidad de residuos urbanos generada en el año 2010 según modalidad, elaborada a partir de la información proporcionada al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente por las Comunidades Autónomas (MAGRAMA, 2011). En ella se puede ver que los residuos biodegradables de parques y jardines representan el 2% del total de residuos urbanos generados en España.

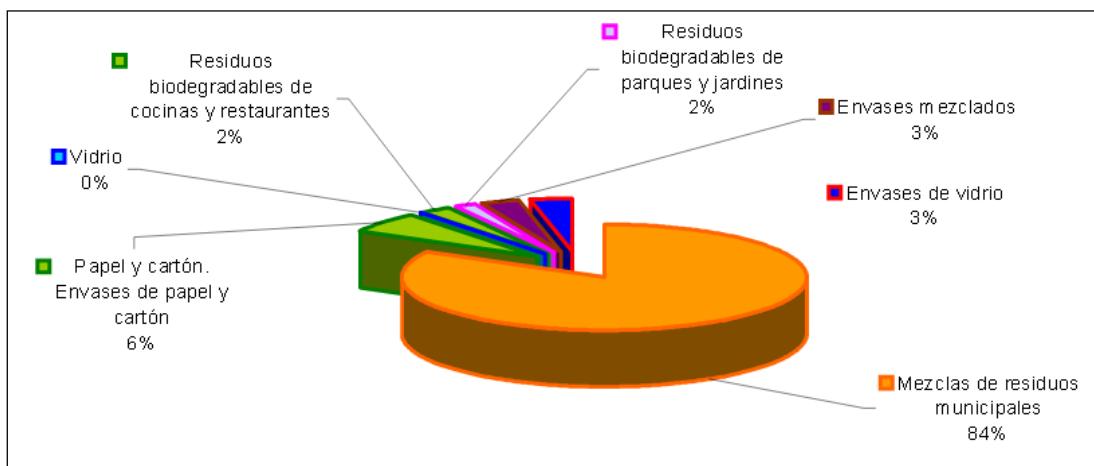


Figura 1.2. Distribución de cantidad de residuos urbanos según modalidad en 2010.

La generación de los residuos vegetales resultantes de las actividades de mantenimiento de las zonas verdes de espacio público supone un problema en la actualidad para las ciudades, debido a que la tendencia de los nuevos planeamientos urbanísticos se enfoca hacia un mayor ratio de parques y jardines municipales por habitante, lo que se traduce en un incremento progresivo del volumen generado de estos restos, derivando diversos problemas que pueden repercutir adversamente en el paisaje y el entorno urbanos.

Además, su incorrecta gestión supone la pérdida de materia orgánica potencialmente valorizable en otros usos, por lo que resulta necesaria la introducción de tecnologías que sean capaces de recuperar aquellos materiales aún aprovechables contenidos en los desechos, reintroduciéndolos en el ciclo productivo.

En la actualidad se aprecia un cambio de conducta de las sociedades más desarrolladas, e incluso, algunas en vías de desarrollo, que tienen implantados programas de información, concienciación y participación ciudadana en materia medioambiental. La conducta social actual apunta hacia el rechazo de instalaciones de eliminación de residuos, tales como incineradoras o vertederos, por lo que las Administraciones se centran cada vez más en promover estrategias de gestión respetuosas con el medio ambiente.

1.2.1 Generación de residuos

Lamentablemente hay pocos datos y estadísticas disponibles sobre los residuos de jardinería urbana generados, debido a que por regla general sólo cuando se contrata su procesamiento a un gestor autorizado externo existe un control documental motivado por el sobrecoste económico que ello conlleva.

Hoy día la realidad es que en la mayoría de países europeos los residuos de jardinería se recogen mezclados con los residuos de alimentos, de manera que los datos sobre las tasas de generación de estos dos residuos a menudo se confunden o se engloban en único valor (Eurostat, 2005).

Si bien, existen algunos casos excepcionales, como el de Dinamarca, que posee estadísticas específicas disponibles durante un largo periodo que abarca desde el año 1994, contemplando la recogida separada de los residuos de jardinería. En el año 2006, los residuos de jardinería recogidos en dicho país ascendieron a 598.000 toneladas, lo que representa más del 18% de la generación de residuos municipales (Miljøstyrelsen, 2008).

Como se ilustra en la Figura 1.3, la tasa de generación de residuos de jardinería recogidos en Dinamarca se ha más que duplicado en tan sólo 13 años, pasando de 67 kg/persona-año en 1994 a 143 kg/persona-año en 2006 (Boldrin y Christensen, 2010).

GENERACIÓN DE RESIDUOS DE JARDINERÍA EN DINAMARCA

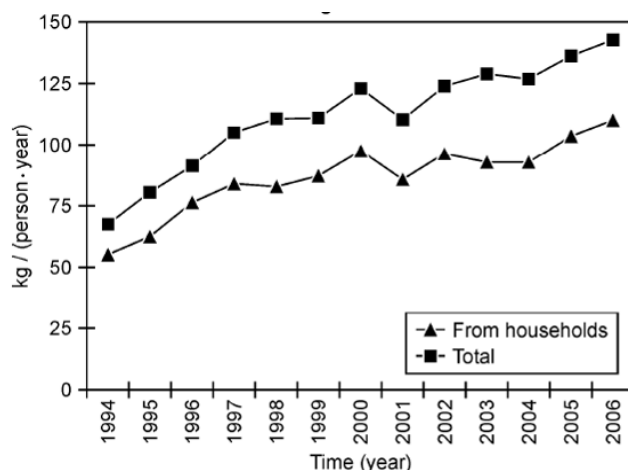


Figura 1.3. Generación por habitante y año de residuos de jardinería de 1994-2006 (Boldrin y Christensen, 2010).

Sin embargo, este crecimiento constante del flujo de residuos de jardinería experimentado desde hace más de una década, no puede ser considerado únicamente como el resultado de un incremento general en la generación de residuos, sino que debe tenerse presente que es también el fruto de un control cada vez más exhaustivo de la recogida de estos residuos y una mejor coordinación de los datos generados sobre residuos de jardinería (Boldrin, 2009).

En cuanto a la Comunidad Autónoma de Murcia, apenas existen datos acerca de la producción de residuos biodegradables de parques y jardines. Cada año, la Dirección General de Medio Ambiente elabora un informe sobre los residuos municipales recogidos en la Región. La fuente de toda la información contenida en este informe son los Ayuntamientos, que como competentes en la recogida y gestión de los residuos municipales son los que manejan los datos solicitados anualmente por el Ministerio. Pero la información aportada no siempre es completa y, en ocasiones, no se obtiene respuesta por parte de algunas de las Administraciones Locales, lo que supone un sesgo importante en el estudio estadístico de la gestión de residuos a nivel regional.

La Figura 1.4 muestra un aumento progresivo de la cantidad de residuos verdes producidos en los parques y jardines municipales de la región. Este hecho viene motivado por dos aspectos de diferente índole. Por un lado, el extraordinario

desarrollo urbanístico experimentado en la última década, que ha tenido su reflejo en un mayor número de espacios verdes públicos. Por otro, la numerosa normativa europea (Directiva 2008/98/CE) y estatal (Ley 22/2011 y Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2015) en materia de gestión de residuos que obliga a un mayor control de los mismos.

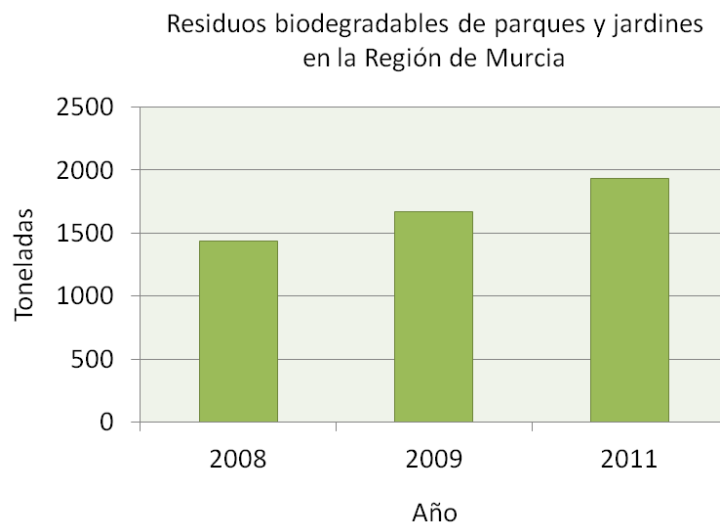


Figura 1.4. Generación de residuos biodegradables de parques y jardines en la Región de Murcia. (Comunidad Autónoma de la Región de Murcia: Consejería de Presidencia, Dirección General de Medio Ambiente)

En la Tabla 1.4 se recogen los datos proporcionados al ministerio por los municipios de la Región sobre la recogida de residuos biodegradables de parques y jardines durante el año 2011.

Observando la Tabla 1.2, llama la atención en primer lugar que ciertamente no se realiza un control exhaustivo de los residuos sólidos urbanos municipales y en particular de los verdes, pues de los 45 municipios que integran la Región de Murcia, tan sólo han proporcionado datos 11 de ellos, echándose especialmente en falta los valores de algunos de los principales municipios como Cartagena o Yecla. Su “gestión” tradicional (quema controlada), la falta de medios y de un mayor control por parte de las administraciones públicas son las principales causas que dificultan el seguimiento de la producción de este residuo.

Tabla 1.2. Producción de residuos biodegradables de parques y jardines durante el año 2011 en varios municipios de Murcia.

MUNICIPIO	Superficie (Km ²) ^a	Población (hab.) ^b	Toneladas (t) ^c
Alguazas	24	9.460	72
Bullas	82	12.321	76
Caravaca de la cruz	859	26.415	100
Fuente Álamo	274	16.175	35
Jumilla	971	25.711	52
Lorca	1.675	92.865	4
Molina de Segura	170	67.382	403
Mula	634	16.968	12
Murcia	886	441.354	863
Torre-Pacheco	189	33.911	298
Totana	289	30.549	20
TOTAL	6.053	773.111	1.935

^a Centro Regional de Estadística de Murcia

^b Cifras Oficiales de Población de los Municipios Españoles: Revisión del Padrón Municipal 1 de enero de 2012 (INE)

^c CARM: Comunidad Autónoma de la Región de Murcia: Consejería de Presidencia, Dirección General de Medio Ambiente.

Del análisis de los datos proporcionados se detecta que aparentemente algunos de ellos no se ajustan a la realidad, como es el caso de Lorca, Mula y Totana con 4,2, 12 y 19,93 toneladas respectivamente, cantidades muy reducidas no coherentes con los espacios verdes que tienen. Otro aspecto destacable es que Molina de Segura produce aproximadamente la mitad de residuos que Murcia a pesar de su reducida extensión y menor población. La explicación a este valor podría ser la realización de un mayor control documental por parte de este municipio respecto al resto, sin que pueda descartarse la influencia de otros factores como las numerosas urbanizaciones existentes, que cuentan con amplias zonas verdes como es el caso de Altorreal, La Alcayna, Los Olivos o La Quinta.

1.2.2. Estrategias para la estimación de restos verdes

La cuantificación de la producción de los residuos vegetales es compleja, pues como bien indica (Ministerio Estatal de Baviera para el Desarrollo Provincial y Asuntos de Medio Ambiente, 1991) depende de la disposición, densidad y tipología del paisaje urbano de cada ciudad. Principalmente viene determinada por las características que tenga la zona donde se producen, tales como:

- Cantidad, tamaño y uso de jardines particulares
- Tamaño y tipo de vía verde pública
- Densidad vegetal o tipo de zona ajardinada (arbolado viario, plaza dura con mínima vegetación, plazas con vegetación frondosa)
- Tamaño y tipo de plantación de parques y paseos públicos (las especies de crecimiento rápido tienen más necesidad de ser podadas que las de crecimiento lento).
- Condiciones ambientales locales (fertilidad del suelo, grado de humedad, régimen de temperaturas, etc.).
- Planteamiento de poda que tenga el municipio (mínima intervención, de mantenimiento, desmoche anual...).
- Tamaños de terrenos con valor ecológico y con necesidad de acciones de conservación del paisaje.

Actualmente, cualquier población de tipo medio o grande cuenta con un número cada vez más importante de superficie verde y/o arbolada en jardines, parques, calles, avenidas, plazas, paseos, etc., cuyo mantenimiento y conservación supone la generación de varios tipos de residuos: recortes de césped, hojas de palmáceas y, por último, restos de poda del arbolado.

Los árboles presentes en las calles, parques y jardines, generan gran cantidad de residuo verde tanto en su fase de mantenimiento ordinario, o de mantenimiento de seguridad por diversas causas (caída por viento fuerte, enfermedades y pudriciones, desarrollo excesivo, daños a servicios o estructuras, etc.).

En cualquier caso, los servicios de mantenimiento de parques y jardines municipales deben contemplar anualmente las campañas de poda, con el objetivo de mantener adecuadamente los árboles, a la vez que se evitan posibles roturas de parte de las ramas, molestias sobre vehículos y viandantes por exceso de masa verde, además de mantener la estética de un conjunto arbolado. Esta operación se lleva a cabo en las ciudades de forma puntual, de acuerdo con el tipo de árbol y el clima y normalmente durante las estaciones de otoño e invierno, que es cuando se produce

la parada vegetativa en la mayoría de las especies y por tanto cuando menos daño sufre el árbol o arbusto porque la cantidad de savia que circula es menor.

Las diferentes labores diarias de mantenimiento que se realizan en el servicio de conservación de espacios verdes generan los siguientes residuos:

- Mantenimiento del arbolado, en el cual se realizan podas de formación, actuaciones preventivas y tala de ejemplares.
- Mantenimiento de superficies de césped, carriles y caminos, con lo que se obtienen restos de siega, malas hierbas y hojas secas caídas de los árboles de hoja caduca.
- Mantenimiento de especies arbustivas (recortes de setos y borduras) y retirada de flores de temporada en macizos, jardineras y parterres.
- Gestión de huertos urbanos públicos: ramas, restos de malas hierbas y del mismo cultivo.

Un factor importante a tener en cuenta es la estacionalidad de los residuos de jardinería, pues aunque se producen prácticamente todo el año, sus características y la manera de originarse son claramente diferenciables.

Durante los meses de enero y febrero normalmente no se genera residuo de hojas verdes, tallos, césped... ya que el crecimiento vegetativo de las plantas permanece parado. A partir del mes de marzo arranca la actividad de la vegetación al tiempo que se inicia la temporada de aumento de actividades de mantenimiento de los jardines, incrementándose la producción de los restos más biodegradables. De mayo a septiembre, encontramos la producción estacional de césped, que puede alargarse hasta octubre/noviembre en función de las temperaturas que se alcancen en otoño. Y a partir de septiembre, hasta diciembre, se reparte buena parte de la producción de hoja seca.

La producción de hoja tiene una tendencia más gradual, iniciándose en septiembre o antes si el verano es muy seco, hasta llegar a un pico máximo entre noviembre y

diciembre. Este pico de producción de hojas se puede ver atenuado por una poda anticipada.

La producción de poda, en cambio, se produce básicamente una vez al año (también pueden haber podas de mantenimiento de arbustos durante todo el año, pero en este caso se podrían considerar perfectamente como si fueran hojas), y en este momento lo más habitual es obtener toda la poda de la zona verde en cuestión. Las podas más tempranas comienzan a finales de octubre y las más tardías tienen lugar a principios de marzo, dependiendo de la planificación que haya hecho la persona responsable del mantenimiento de la zona verde. Por este motivo, aunque en teoría durante los meses de enero y febrero, la producción de restos de poda debería ser inapreciable, en la práctica las podas se realizan de forma planificada entre octubre y marzo.

Es decir, que nos encontramos con un material potencialmente biodegradable (FORS) que se produce de forma más o menos constante de marzo a octubre y que se correspondería con la materia vegetal en estado verde; y un material leñoso (FV) que se produce de forma irregular entre octubre y marzo.

En lo que respecta a la estimación de producción de residuos vegetales de jardinería, no existe mucha bibliografía. Algo se ha dicho y escrito sobre el tema, como por ejemplo el estudio realizado por Schürmer y col. (1990) para la zona de Baviera (Alemania), donde aunque la climatología y el manejo de los jardines pueda ser distinto, aporta los siguientes valores:

- Jardines particulares: aprox. $0,1 \text{ m}^3$ /habitante y año (zona rural); aprox. $0,15 \text{ m}^3$ /habitante y año (zona urbana).
- Paseos públicos: de 9 a 35 m^3 por hectárea.
- Jardinería vía pública: 8 m^3 /km al año.
- Conservación de paisajes: En el caso de terrenos con poca vegetación se calcula con aprox. $5\text{-}10 \text{ m}^3$ de residuos verdes/ha, mientras en zonas

pantanosas con presencia de juncos se calcula hasta 300 m³ de residuos verdes/ha.

Asimismo, según la EPA —United States Environmental Protection Agency— (Lund, 1996), el 18% de los residuos municipales en los EE.UU. son residuos verdes, variando su producción entre un 5% en las zonas rurales (Pensilvania) y un 30% en las zonas residenciales (Florida).

En lo que respecta a la segregación de este residuo verde entre material leñoso (FV) y material asimilable FORS, Lund (1996) plantea que sólo entre el 17-18% del residuo verde es leñoso y que entre el 19-28% y el 54-64% se corresponde, respectivamente, a hojas y hierba.

A nivel nacional, nos encontramos con el ya citado “Estudio de Mejora de la Gestión de la Fracción Vegetal en Cataluña” publicado en 2006, que aborda la estimación de la producción de fracción vegetal en dicha comunidad autónoma atendiendo a diversos criterios, como la caracterización de “bolsa tipo”, la densidad urbana de recogidas de la fracción vegetal conocida, y la superficie ajardinada.

Según este último criterio, con objeto de proponer un ratio de producción de fracción vegetal se analizaron las producciones de poda y la superficie total ajardinada pública (zonas verdes + arbolado viario) de los Ayuntamientos de Vilassar de Mar y de Barcelona. Así, en Vilassar de Mar, que no tiene superficies extensas con césped, se obtuvo una producción de 1,4 kg poda/m² zona verde total (1,5 kg incluyendo todo el residuo verde), mientras que en Barcelona la producción de FV (leñosa) por superficie de zona verde total se situó entre los 1,3 y 1,5 kg poda/m² de zona verde.

A partir de este valor y de la superficie ajardinada proporcionada por el Sistema de información geográfico utilizado por el Ayuntamiento de Barcelona (Miramon) se estimó la producción comarcal de fracción vegetal tal y como muestra la Tabla 1.3.

Tabla 1.3. Estimación de la producción comarcal de Fracción vegetal (leñosa/poda) en Cataluña (2005).

Comarca	Alt Empordá	Baix Empordá	Maresme	Barcelona	Vallès Oriental	Vallès Occidental
Superficie zona verde total según Miramon (m ²)	960.000	930.000	3.580.100	7.380.000	4.180.000	6.660.000
Estimación FV a 1,4 kg poda/m ² superficie verde total (t)	1.344	1.302	5.012	10.332	5.852	9.324

1.2.3. Problemática de los residuos.

El incremento de zonas ajardinadas en muchas poblaciones ha provocado la generación de importantes cantidades de restos vegetales que por su origen y composición no tendrían que ser considerados residuos, pero que al no ser habitual su aprovechamiento y en vista de la problemática que origina, han pasado a ser considerados como un residuo municipal que además ofrece dificultades importantes para su recogida y almacenamiento.

A este respecto, los problemas de la gestión de residuos en Europa se hacen evidentes cuando se examinan los impactos ambientales originados por las distintas prácticas utilizadas (EEA, 1995):

- La eliminación de residuos mediante **depósito en vertedero**, que es la principal vía de eliminación de residuos, si no se gestiona adecuadamente, puede causar la lixiviación de contaminantes al suelo y a las aguas subterráneas. Igualmente, los vertederos ocupan un espacio considerable, con un impacto significativo en el uso del suelo y el paisaje.
- La **incineración de los residuos**, a menos que se regule adecuadamente, conduce a la emisión de sustancias tóxicas a la atmósfera y a la producción de grandes cantidades de cenizas contaminadas.
- El **reciclaje** implica una menor carga de las emisiones y un ahorro de materiales, pero por otro lado conlleva una considerable clasificación y

tratamiento de los residuos durante el cual los contaminantes presentes en ellos pueden ser transferidos al medio ambiente o incorporados a nuevos productos.

Un inconveniente importante en la gestión de los residuos verdes es el que deriva del necesario ajuste a la legislación actual. Más concretamente del artículo 5 del Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, y en el cual se establece que la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas deben elaborar un programa conjunto de actuaciones para reducir los residuos biodegradables destinados a vertedero y alcanzar los objetivos específicos para residuos urbanos biodegradables.

Este documento establece que deberán alcanzarse los siguientes objetivos (Figura 1.5):

- a) a más tardar el 16 de julio de 2006, la cantidad total (en peso) de residuos urbanos biodegradables destinados a vertedero no superará el 75 % de la cantidad total de residuos urbanos biodegradables generados en 1995.
- b) a más tardar el 16 de julio de 2009, la cantidad total (en peso) de residuos urbanos biodegradables destinados a vertedero no superará el 50 % de la cantidad total de residuos urbanos biodegradables generados en 1995.
- c) a más tardar el 16 de julio de 2016, la cantidad total (en peso) de residuos urbanos biodegradables destinados a vertedero no superará el 35 % de la cantidad total de residuos urbanos biodegradables generados en 1995.

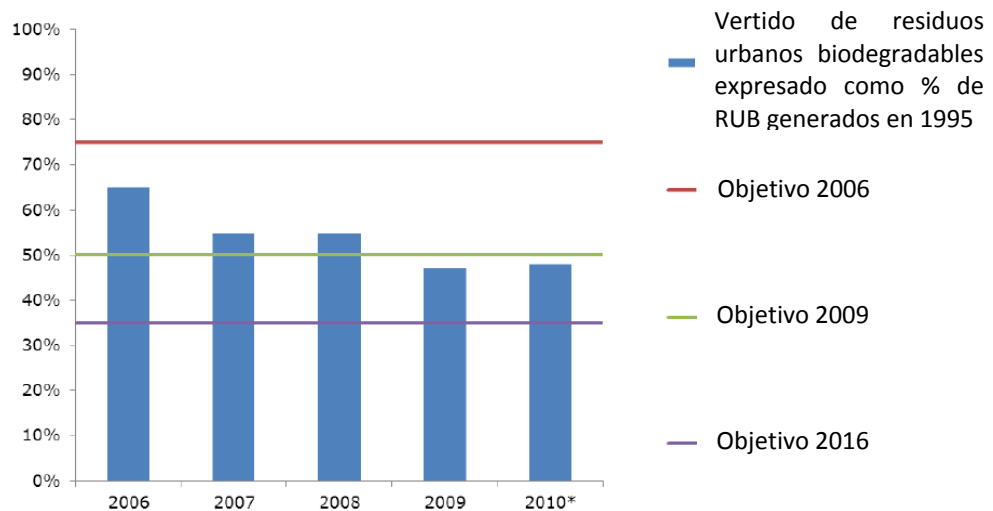


Figura 1.5. Objetivos de reducción de vertido de residuos biodegradables a vertederos municipales. (EEA, 2013).

De manera que la práctica habitual del vertido de residuos verdes a vertedero debe ser sustituida por nuevas estrategias tendentes a su reciclaje. Si bien, el mayor condicionante que limita el alcance de los objetivos estipulados en el citado Real Decreto, es el contar con un mercado final que asegure el destino del producto obtenido tras su reciclado.

Otro factor a tener en cuenta es la gran cantidad de restos de poda generados a causa de las tareas de mantenimiento de los árboles presentes en las calles, parques y jardines, tanto públicos como privados, compuestos por ramas de diverso calibre, leñosas y verdes, con un gran número de hojas, todo ello variable según el tipo de especies vegetales existentes.

En este sentido, la biomasa procedente de estos recortes se caracteriza por ocupar un gran volumen, lo que acarrea dificultades importantes para su recogida y almacenamiento, al ser necesario disponer de cubas de gran capacidad de carga en el área de trabajo.

Un problema añadido según Blázquez (2003), es que debido a la humedad y a las altas temperaturas que generalmente se alcanzan durante su acopio, los restos se convierten en un foco de malos olores, plagas e insectos (moscas, cucarachas, roedores y mosquitos) que pueden llegar a afectar a poblaciones cercanas. Todo

ello sin olvidar el fuerte impacto visual y paisajístico producido en dicha zona de almacenamiento.

De igual forma existe el riesgo de incendio de estos residuos, debido a las altas temperaturas ocasionadas por la libre exposición al sol y a la presencia de materiales combustibles. En caso de generarse incendios, podrían verse afectadas las instalaciones vecinas al sitio de apilamiento actual. Además, las emanaciones de CO₂ a la atmósfera son una fuente importante de contaminación atmosférica.

Por lo comentado, los restos forestales, de jardines y espacios verdes aparecen en la situación actual como un problema importante, sobre todo en las grandes áreas urbanas.

Tradicionalmente su gestión implicaba su vertido controlado, y por tanto la pérdida de materia orgánica potencialmente valorizable en otros usos. Pero en la actualidad, la progresiva eliminación de vertederos tras la imposición normativa de reducción del vertido de residuos biodegradables a vertederos municipales, hacen necesaria la aplicación de nuevas soluciones para eliminar esos materiales, como el almacenamiento, transporte y tratamiento por un gestor autorizado de los residuos de jardinería. No obstante, esta alternativa implica un alto coste, por lo que deben buscarse estrategias de gestión que reduzcan los costes económicos y ambientales.



Imagen 1.1. Acopio y transporte de residuos de jardinería.

1.3. OPCIONES DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE RESTOS DE PODA MÁS UTILIZADAS EN ESPAÑA

La Unión Europea establece una “Estrategia de Gestión de Residuos” (Artículo 4 de la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre

de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas) basada en los siguientes principios:

- Prevención
- Reutilización
- Reciclado
- Valorización material
- Eliminación controlada o vertido sin riesgo

La Figura 1.6 muestra las cantidades de residuos municipales generados en la UE-27 en el periodo comprendido entre 1995 y 2009 sujetas a las cuatro categorías de tratamiento (vertedero, incineración, reciclaje, compostaje).

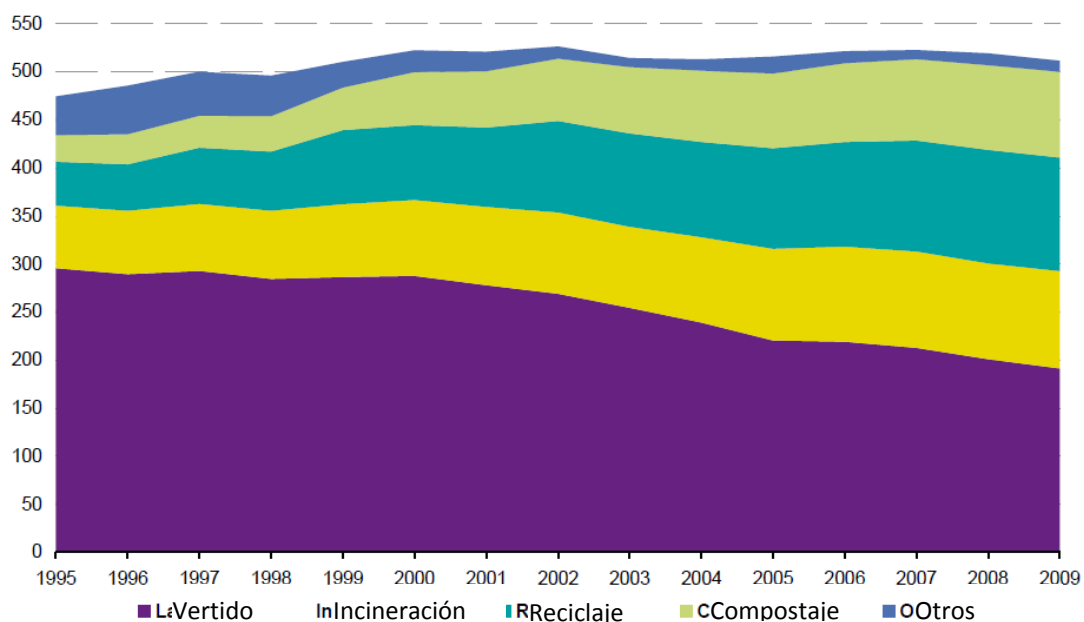


Figura 1.6. Tratamiento de residuos municipales en la Unión Europea (kg per capita) (Blumenthal, 2011).

En España, el 46 por ciento de los residuos municipales generados se dispone dentro o sobre la tierra (vertido controlado), alrededor del 7 por ciento se incinera, el 32 por ciento se convierte en abono y el 12 por ciento se somete a separación

mecánica para la recuperación. En cuanto a otros tratamientos, el 2 por ciento se utiliza para la producción de biogás. El 1 por ciento restante corresponde a los vertidos realizados de forma incontrolada (Figura 1.7).

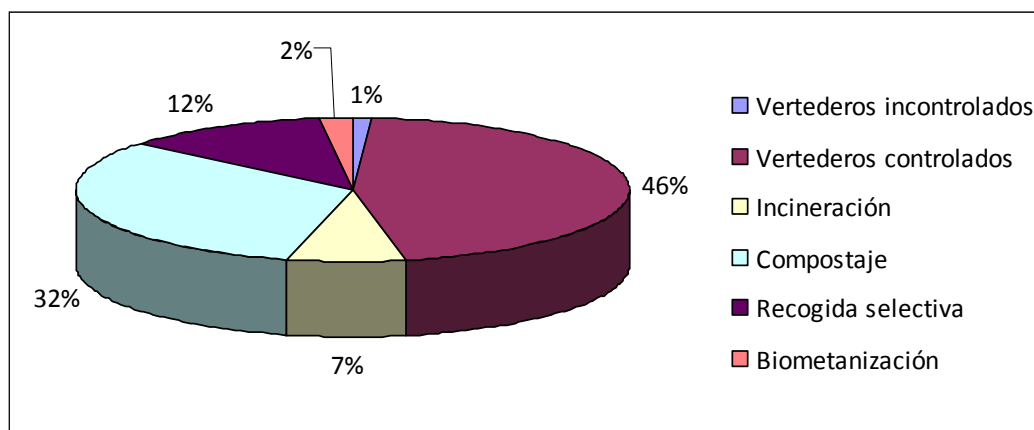


Figura 1.7. Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos en España en 2007 (MAGRAMA).

En la Tabla 1.4 se puede ver el número de instalaciones de tratamiento y eliminación de residuos urbanos existentes en España en el año 2010, así como la cantidad de residuos gestionada según el tipo de instalación.

Tabla 1.4. Cantidad de residuos urbanos tratados según tipo de instalación (MAGRAMA, 2010)

Instalaciones de tratamiento y eliminación	Nº centros	Entrada (tonelada/año)
Instalaciones de clasificación de envases	97	640.286
instalaciones de compostaje de F. org. recogida selectivamente	41	795.714
Instalaciones de triaje y compostaje	67	7.669.958
Instalaciones de triaje, biometanización y compostaje	22	3.103.218
Instalaciones de incineración *	10	1.972.305
Vertederos **	142	15.833.489

*,** Las cantidades que entran en las instalaciones de incineración y vertido llevan incorporadas las cantidades provenientes del rechazo de las plantas de tratamiento.

Respecto a la gestión de los restos vegetales, en la siguiente figura se puede observar un mapa conceptual de los posibles destinos de los residuos agrícolas, los cuales podrían ser asimilados a los residuos de poda.

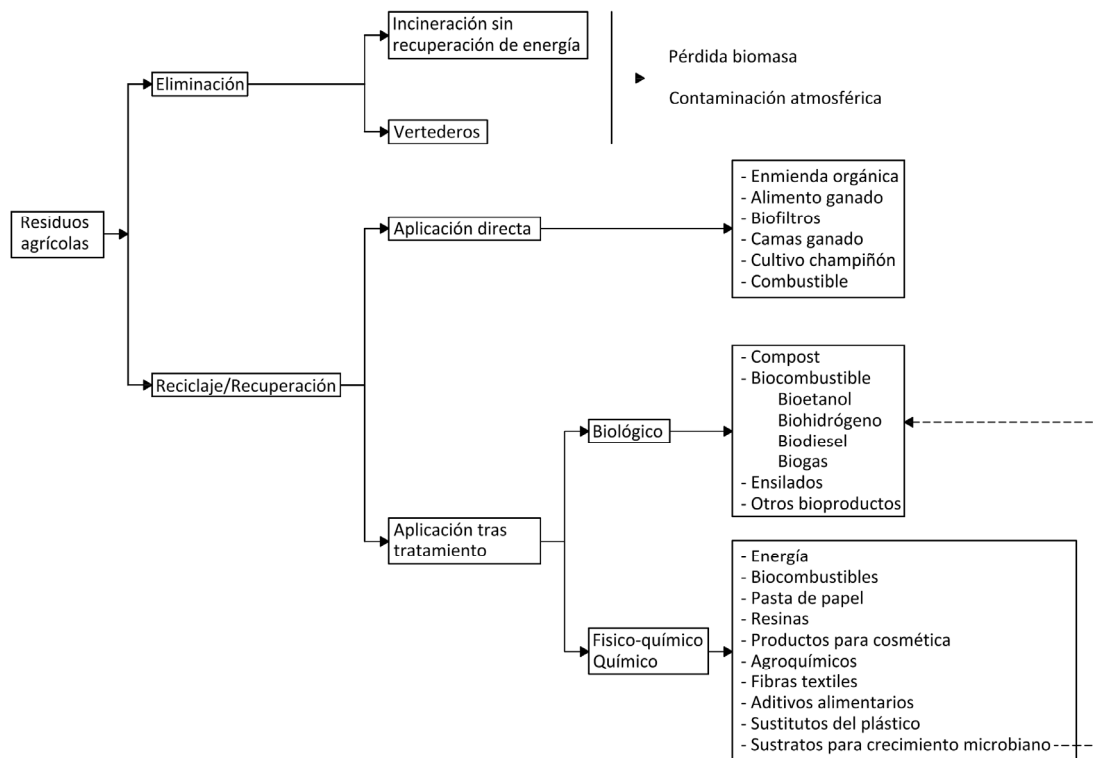


Figura 1.8. Alternativas disponibles para el tratamiento de residuos agrícolas (López y Boluda, 2008).

Particularmente, acerca de los residuos vegetales de poda, las principales líneas de tratamiento utilizadas en España son:

- Tratamientos para la eliminación
 - Depósito en vertedero controlado
 - Depósito en vertedero incontrolado
 - Quema incontrolada (incineración sin recuperación de energía)

- Tratamientos para el aprovechamiento
 - Incorporación sobre la superficie del suelo
 - Alimentación animal
 - Fuente de energía
 - Compostaje
 - Otras aplicaciones

1.3.1. Tratamientos para la eliminación

Constituyen los métodos y técnicas más usuales en nuestro país y en todo el mundo, por ser los procedimientos más simples y baratos.

Depósito en vertedero controlado

Se trata de la deposición de los restos vegetales mezclados con el resto de residuos urbanos en lugares preparados para tal fin. Este tipo de vertedero debe cumplir las disposiciones legales vigentes en cuanto a regulación, control y autorizaciones.

La tendencia actual es que se recurra a los vertederos controlados como última opción, únicamente para aquellos residuos que no pueden ser utilizados, reciclados, ni valorizados de otra forma, así como para los rechazos de los sistemas de tratamiento (compostaje e incineración). Aunque los residuos vegetales admiten diversos tratamientos para su aprovechamiento (compostaje, biometanización...) por falta de medios materiales y recursos económicos de las corporaciones locales, se recurre a la utilización de este sistema.

La principal función de los vertederos controlados es la eliminación de residuos complejos en condiciones tales que se minimicen o desaparezcan los posibles efectos negativos sobre el entorno. Aunque las sustancias vertidas no se pueden aprovechar, se consigue la degradación de la materia orgánica que posibilita el aprovechamiento de los gases generados y la futura reutilización de la zona, principalmente como zonas de recreo.

Depósito en vertedero incontrolado

Este tipo de vertido es el que se realiza en cualquier finca privada, explanada retirada, barranco, agujero, margen de río, etc. donde se descargan de cualquier forma los residuos. Esta práctica es realizada tanto por particulares que desean perder estos residuos de vista de la forma menos costosa posible, como por algunos municipios pequeños, que debido a la falta de medios gestionan de esta forma sus residuos urbanos.

Quema incontrolada (incineración sin recuperación de energía)

Es una práctica que aún se sigue utilizando, sobre todo por particulares y municipios muy pequeños, por su ventaja de “bajo coste”, para la eliminación de los residuos de poda, a pesar de los efectos adversos que supone la quema sin ningún tipo de control, ya que además del potencial peligro de incendios, provoca un impacto negativo sobre el medio ambiente:

- Origina contaminantes orgánicos que permanecen en el ambiente durante largos períodos de tiempo y que pueden trasladarse grandes distancias a través del aire, dañando la salud humana y el medio ambiente en general.
- Contribuye a la contaminación atmosférica, ya que la carbonización de los residuos vegetales produce sustancias tóxicas gaseosas como monóxido de carbono que son liberadas a la atmósfera.
- Genera hollín, que es un contaminante tóxico.
- Provoca la erosión del suelo, así como la alteración de sus propiedades físicas y químicas.

1.3.2. Tratamientos para el aprovechamiento

Para evitar el abandono, deposición en vertederos o quema incontrolada, existen diversas alternativas para el tratamiento de los residuos vegetales que no supongan un peligro para el medio ambiente y/o la salud. Estas alternativas están basadas en el reciclaje y recuperación de los recursos que contienen ya sea por aplicación directa o después de un tratamiento biológico o químico.

Incorporación sobre la superficie del suelo

A través de la fragmentación o rotura de los restos de poda con trituradoras es posible aprovechar este residuo para realizar acolchados orgánicos o “*mulching*”. Esta técnica consiste en formar una cubierta protectora que se extiende sobre la superficie del suelo para obtener las siguientes ventajas:

- Disminuir la evapotranspiración, con lo que se consigue que las raíces de las plantas encuentren la humedad a poca profundidad, reduciendo el consumo de agua.
- Regular la temperatura del suelo limitando los choques térmicos (día/noche), y favorecer el mantenimiento del calor en el suelo en primavera y en otoño, y al contrario manteniendo cierta frescura, limitando las desviaciones de temperatura durante la temporada estival.
- Controlar el desarrollo de malezas interceptando el brillo solar necesario para la germinación.



Imagen 1.2. Acolchado orgánico en parterres del Parque Norte Canastell (San Vicente de Raspeig, Alicante).

Alimentación animal

Los residuos vegetales son también usados como alimento para el ganado criado de forma intensiva, pero adoptando una serie de precauciones. Así, por ejemplo, no pueden usarse en alimentación restos de poda de especies que puedan ser de naturaleza tóxica, ya que provocaría la muerte del animal. Igualmente, debe tenerse especial cuidado de que no presenten contaminantes químicos tales como pesticidas, que pasarían al animal.

Generalmente los animales sólo se alimentan de las partes tiernas de los restos (hojas, brotes, cortezas, frutos...), mientras que partes más leñosas suelen ser quemadas.

Fuente de energía

Existen múltiples procesos donde la biomasa desempeña un papel importante como energía renovable y limpia, como es el caso de la pirólisis, la combustión y la gasificación.

De acuerdo con Cerdá y col. (2008), se distinguen dentro de la bioenergía, o biomasa en sentido amplio, cuatro fuentes energéticas diferentes: biomasa sólida, biogás, fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y biocarburantes.

Aunque por su naturaleza y características los restos de jardinería bien podrían agruparse dentro de la biomasa sólida de tipo residual o secundaria, que engloba residuos forestales (como los generados en operaciones de limpieza o poda), residuos agrícolas leñosos (como podas de olivos, viñedos y frutales), residuos agrícolas herbáceos (como la paja de cereales de invierno o el cañote del maíz), residuos de industrias forestales y agrícolas (astillas, cortezas, serrín, huesos de aceitunas, cáscaras de frutos secos, cascarilla de arroz etc.), según la Directiva 2008/98/CE los residuos orgánicos procedentes de jardines y parques se incluyen dentro de la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FORSU), junto con los residuos procedentes de las cocinas y de los alimentos de los hogares, bares, restaurantes, proveedores y redes de distribución de alimentos y residuos procedentes de las plantas de tratamiento de los alimentos.

Su transformación en energía se realiza por incineración. La valorización energética de los residuos sólidos urbanos reduce las emisiones de gases de efecto invernadero por dos vías: mediante la generación de energía térmica y eléctrica en sustitución de combustibles fósiles, evitando emisiones de metano en vertederos.

Compostaje

El compostaje es un proceso que implica la descomposición biológica aeróbica de la materia orgánica por parte de microorganismos. Esta biodegradación se da cuando la materia orgánica está en presencia de aire y humedad, y se obtiene un producto

estable, el compost, similar al humus, de color oscuro y formado por partículas finas, con mejores propiedades físicas y químicas que el material original.

Los residuos orgánicos biodegradables se transforman así, mediante una oxidación química, produciendo CO₂, H₂O y calor, dando lugar a una materia orgánica estabilizada.

El compostaje es un proceso que ocurre en la naturaleza de manera natural, pero normalmente transcurre de manera lenta. Para optimizar el tiempo de compostaje, es preciso controlar algunas condiciones ambientales durante el proceso de fabricación del compost.

El compost obtenido a partir del compostaje de restos de jardinería tiene, en general, una buena calidad (Soliva y col., 2008). Análisis previos de este tipo de materiales a compostar han demostrado que están libres de residuos contaminados, lo que conduce a una enmienda orgánica de alta calidad (Masaguer y col., 1999).

Las técnicas de compostaje son numerosas, y la selección de ésta dependerá del uso que se quiera dar al compost, del tipo de residuos que se va a usar como materia prima, del uso final que se pretenda dar al producto obtenido, de la cantidad de material a procesar, etc. Algunos de los principales métodos de compostaje que se emplean en la actualidad para la gestión de residuos vegetales son:

(1) Pilas estáticas

Aunque se trata de un método sencillo y normalmente es efectivo, no se aplica bajo todas las condiciones o a todo tipo de materiales. Consiste en varios montones de residuos, con una altura suficiente que permita mantener el calor, aunque no tan altos que produzcan un sobrecalentamiento en el interior. Si la temperatura interna supera los 60°C, el material que se está compostando puede combustionarse, y destruir los microorganismos que llevan a cabo el compostaje. Los montones van a permanecer sin moverse durante casi todo el proceso (únicamente se van a voltear

una vez al año), por lo que la aireación del material se va a producir de una manera pasiva.

Es una técnica muy lenta, que va a necesitar al menos un año para obtener un compost de calidad.

Ventajas:

- Se pueden obtener buenos resultados con materiales de partida homogéneos.
- Tiene unos bajos costes de implementación.
- Gasto de personal muy bajo.

Desventajas:

- Puede requerir más de un año para que se finalice el proceso de compostaje.
- El mínimo volteo de las pilas puede provocar que se den condiciones anaeróbicas en el interior de la pila, lo que originaría malos olores.
- La ubicación de la planta debería estar alejada de zonas residenciales, debido a la posible aparición de malos olores.
- Es necesaria una gran superficie para la instalación de la planta.

(2) Pilas o hileras de volteo

Una hilera es una pila de sección triangular, cuya longitud excede su anchura y su altura. La anchura es por norma general el doble que la altura. La altura ideal debe ser suficiente para generar el suficiente calor y mantener las temperaturas, y a su vez permitir la difusión del oxígeno al centro de la pila. Para la mayoría de los materiales, la altura ideal está entre 1 y 2,5 metros, y la anchura entre 4 y 5 metros.

El volteo de la pila permite introducir aire dentro de ésta, y aumenta la porosidad, de modo que se facilita también la aireación pasiva a través del flujo permanente del aire atmosférico.

Las hileras deben ubicarse en una superficie que permita su volteo de una forma sencilla.

El equipo de volteo usado va a determinar el tamaño del patio de compostaje, la separación entre hileras y el tamaño de las pilas (y con ello, la superficie necesaria para ubicar la planta de compostaje). Las volteadoras, por ejemplo, permitirán tratar gran cantidad de material, y trabajan sobre la propia hilera.

Además, con el volteo de la pila también se fomenta la descomposición uniforme de los restos vegetales, al mezclarse las capas más externas de la hilera con las más internas, que tienen una temperatura más elevada y una mayor actividad microbiana.

El volteo debe realizarse una vez por semana, aunque puede ser necesario un volteo más frecuente. Las hileras con el material a compostar pueden ubicarse al aire libre o a cubierto.

Esta última opción minimizará los posibles problemas generados por los lixiviados.

Ventajas:

- Coste de inversión en material y equipo es bajo.
- Coste de funcionamiento es bajo.

Desventajas:

- Es necesaria una gran superficie.

(3) Pilas estáticas aireadas

También se denominan pilas de aireación forzada, y consiste en la disposición de los residuos en pilas o hileras encima de una rejilla o de unos tubos perforados. A través de unos ventiladores o sistemas de soplado, se va a bombear aire a través de los tubos, y consecuentemente a través de los materiales que se están compostando, lo que va a permitir la aireación de éstos.

Es posible impulsar el aire a través de la pila o hilera de residuos por presión o por succión.

Este último es más eficaz a la hora de controlar la emisión de olores (es necesaria la presencia de un filtro de olores), sin embargo, es menos efectivo al enfriar la pila, lo que representa un problema cuando las altas temperaturas son una preocupación principal.

Puede ser necesario tapar la parte superior de la pila con una capa de compost maduro o con un agente aglomerante, para evitar pérdidas de humedad y de calor en la pila, y para filtrar olores indeseados que se pudieran generar durante el proceso de compostaje, como la aparición de amoníaco.

Es preferible que los residuos a tratar tengan un tamaño homogéneo, para lo cual sería conveniente triturarlo antes de disponerlo encima de los sistemas de aireación.

El proceso de fermentación de los residuos vegetales puede realizarse en un periodo de tiempo entre 1 y 2 meses, al igual que el proceso de maduración.

Ventajas:

- Posibilidad de procesamiento de gran cantidad de residuos.
- La producción de compost requiere normalmente entre 6 y 12 semanas.

Desventajas:

- Es necesaria una mayor inversión en equipamientos (tubos de aireación, bombas de insuflación o succión de aire, filtros de olores, controles de temperatura...).

(4) Reactores (sistemas in-vessel)

En los sistemas de compostaje de reactor “in vessel” la mezcla se introduce en un contenedor o reactor que proporciona la adecuada mezcla, aireación y humedad, estando controlados todos los parámetros de manera mecánica.

La elección de un sistema de compostaje de tipo reactor dependerá de los restos vegetales que se van a usar como materia prima, del volumen total del material del material que se va a compostar, del capital disponible, de las características del lugar donde se plantea instalar, de la disponibilidad de tecnología, etc.

En general, existen 5 tipos de sistemas de compostaje en reactor:

1. Contenedores aireados de forma pasiva
2. Contenedores aireados de forma mecánica
3. Contenedores aireados y agitados
4. Tambores rotatorios
5. Lechos agitados

Cada uno de estos sistemas requiere los siguientes elementos:

- Un contenedor, que debe permitir el flujo de aire y la recogida de lixiviados.
- Maquinaria de carga y de mezcla, que permita mezclar a fondo el material de partida y cargarlo en el contenedor.
- Un biofiltro, que puede estar relleno de compost, o serrín, para controlar olores.
- Un sistema para monitorizar el proceso.
- Un sistema de descarga del material compostado.
- Un espacio para curar el compost.

Por lo general, el compostaje en reactores se usa cuando el ingrediente principal a compostar está formado principalmente por restos de comida o algún otro resto con alto contenido en nitrógeno, donde los patógenos a eliminar puede resultar un problema. Los sistemas de compostaje en reactor están diseñados, en principio,

para cumplir con los requisitos que marca la EPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos) , que son mantener la muestra durante 3 días a una temperatura de 55°C o más, con el fin de eliminar los patógenos. Dado que los restos vegetales sólo contienen patógenos derivados de los vegetales y malas hierbas, no es necesario utilizar un sistema que elimine patógenos peligrosos. Por este motivo, estos sistemas no se suelen usar para tratar restos vegetales en exclusiva, ya que suelen requerir una inversión mucho mayor en relación con otras tecnologías de compostaje.

El material permanece en el interior del contenedor durante un periodo de tiempo entre 7 y 24 días, y posteriormente se saca para su maduración, lo que conlleva otros 15-60 días para completarse. La maduración permite que el compost se estabilice biológicamente, terminando el proceso de destrucción de patógenos. Como los patógenos no están presentes en el compost procedente de restos vegetales, es posible que el producto obtenido del compostaje de restos vegetales en un sistema de reactor se pueda aplicar directamente al suelo, y no sea preciso un periodo de maduración.

Ventajas:

- Control de gases y olores que se generan en el proceso.
- Menores requisitos de superficie, por lo que se necesitará menos espacio a la hora de diseñar la planta.
- Menores requisitos operacionales, ya que se necesita menos tiempo para cargar y descargar el contenedor que el que se requiere para operar los sistemas anteriores.
- Un producto final más consistente.
- Las instalaciones son estéticamente más atractivas.

Desventajas:

- Elevado coste de adquisición del equipo o reactor de compostaje.

De estos sistemas de compostaje, los más usados en la actualidad en nuestro país son los sistemas de reactor y las hileras de volteo. Para la obtención de compost a partir de residuos vegetales el sistema más extendido es el de hileras de volteo. Los sistemas de tipo reactor suelen utilizar, además de residuos vegetales, otra materia prima para la obtención de compost: restos de comida, lodos de depuradora, estiércol, etc.

Otras aplicaciones

Otros usos que no requieren un proceso transformativo importante de los residuos vegetales, incluyen su utilización como soporte adsorbente en biofiltros útiles en la descontaminación de gases y líquidos, cultivo del champiñón y lechos para la cría de animales.

Los materiales más fibrosos pueden ser utilizados directamente como sustitutos de turba o perlita. En este sentido, el uso de materiales derivados de especies de palmáceas en cultivo sin suelo es una práctica recomendada para reducir la dependencia de las turbas en los países mediterráneos pues se la considera una alternativa plausible a fibras comerciales ya ensayadas como fibra de coco. A modo de ejemplo los restos de poda de *Washingtonia robusta* convenientemente triturados y acondicionados han sido estudiados como medio de cultivo sin suelo económica y ambientalmente viable por Garcia-Ortuño y col. (2013).

También este tipo de materiales suelen ser incorporados en el proceso de compostaje como ingrediente. Son residuos que presentan en general unas propiedades que los acercan a materiales pobres en los macronutrientes primarios NPK, con elevadas concentraciones de C orgánico, y que pueden considerarse en su mayoría como material estructurante en el proceso de compostaje, cuya acción favorece el intercambio gaseoso y la circulación de fluidos. Adicionalmente y en función de la superficie específica de estos materiales (que está condicionada por el pretratamiento de triturado que se establezca), pueden constituirse además en un material amortiguador respecto a la humedad debido a su tasa de retención de

agua, permitiendo además equilibrar pilas de compost formadas por materiales pastosos como lodos de depuradora. Otra aplicación de co-compostaje es su utilización en conjunto con materiales con alto contenido salino, debido a que estos residuos fibrosos suelen ser un material poco salino, y así generar compost de menor salinidad.

En definitiva, debemos tener presente que este tipo de residuos orgánicos suponen un significativo impacto sobre el medio ambiente si no los gestionamos y procesamos adecuadamente. De hecho, la normativa de gestión preparada por los Organismos Públicos considera importante el empleo de estos residuos en la producción de compost, combinados según los casos con fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, lodos de depuradora y otros residuos orgánicos.

1.4. COMPOSTAJE COMO ALTERNATIVA DE GESTIÓN

En los últimos años, el uso del compostaje está aumentando debido a los numerosos inconvenientes que presentan los principales tratamientos alternativos de gestión de restos vegetales a nivel nacional.

Así, en primer lugar nos encontramos con el aumento de las tasas por depósito en vertedero, la escasez de superficie disponible en los vertederos y sobre todo las medidas cada vez más restrictivas que imponen las agencias regulatorias y organismos gubernamentales.

En este sentido, en la resolución de 20 de enero de 2009, de la Secretaría de Estado de Cambio Climático, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros en el que se aprueba el Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008-2015, se manifiesta la estrategia de desvíos de residuos biodegradables de vertederos, especificándose las dos razones por las que se aconseja no depositar estos residuos en los vertederos y desviarlos hacia su valorización:

- a) El impacto ambiental del vertido en vertederos de los residuos biodegradables se concreta en:

- Emisión de lixiviados. La cantidad de lixiviados depende de la precipitación media y de la evapotranspiración existentes en el emplazamiento.
- Emisión de gases (biogás). La degradación en condiciones anaerobias (típica de los vertederos actuales) de la materia orgánica contenida en los residuos biodegradables, genera el denominado «gas de vertedero» o «biogás» en cantidades importantes.
- Inestabilidades y asentamientos de la masa de residuos. En su proceso de degradación la materia orgánica sufre variaciones de volumen que se reflejan en grandes asentamientos o inestabilidades, incluso si hay altos contenidos de materia orgánica se pueden provocar peligrosos deslizamientos de la masa de residuos vertida.
- Olores, suciedad, atracción de animales e insectos.
- Ocupación de un espacio que, con frecuencia, no admitirá otros usos posteriores.
- Impacto paisajístico.

b) Valorizar residuos convirtiéndolos en enmiendas orgánicas para la mejora de suelos.

La materia orgánica contenida en los residuos biodegradables, convenientemente seleccionada en origen y tratada para alcanzar una adecuada mineralización eliminando los patógenos que pueda contener, es una materia que puede ser empleada como fertilizante agrícola o como enmienda y en la mejora de suelos, algo de lo que un país como España con un alto déficit en materia orgánica en sus suelos no puede prescindir, máxime si tenemos en cuenta que del orden del 20% de su superficie tiene un alto riesgo de desertización.

En segundo lugar, debemos mencionar la quema incontrolada. A este respecto, la quema de la masa de residuos vegetales provoca diversas consecuencias como el aumento del riesgo de incendios y de erosión, y la supresión de la posibilidad de

que se incorpore al suelo materia orgánica, lo que incide sobre la degradación estructural del suelo, pudiendo causar pérdida de fertilidad y mayores riesgos de desertización. Es por ello, que tanto las instituciones europeas como las nacionales, rechazan y prohíben esta práctica a través de una serie de normativas y reglamentaciones desarrolladas durante los últimos años. Además, genera la emisión de gases contaminantes a la atmósfera:

- Gases de efecto invernadero directos: Dióxido de carbono (CO_2), Metano (CH_4), Óxido nitroso (N_2O), Hexafluoruro de azufre (SF_6) y distintos halocarbonos. Indirectos: Monóxido de carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Óxidos de azufre (SO_x), Compuestos volátiles no metano (COVNM).
- Otros gases contaminantes: Amoníaco (NH_3).

Acerca de los tratamientos termoquímicos con aprovechamiento de la energía desprendida en el proceso para la gestión de residuos, el principal aspecto a tener en cuenta es el relativo a la seguridad e impacto de las emisiones gaseosas de la instalación. Los procesos de destrucción térmica generan a menudo un catálogo de sustancias gaseosas indeseables que requieren de la aplicación de estrictos protocolos de purificación de gases de escape en aras de evitar la inmisión de estos compuestos por encima de los límites marcados por la normativa sobre contaminación atmosférica. El amplio rechazo social que suscitan las emisiones gaseosas de estas instalaciones ha resultado crucial en la limitada implantación de estos procesos.

La Tabla 1.5 muestra un balance entre ventajas e inconvenientes entre incinerar y compostar y/o reciclar.

Tabla 1.5. Greenpeace España Incineración de residuos: Malos humos para el clima, 2009

	Incineración	Compostaje y separación
Coste y contratos	Muy caro, se debe financiar a través de la concesión de contratos muy largos (más de 25-30 años)	Barato, puede financiarse con la concesión de contratos de 5 años
Proyecto y tiempo de construcción	Largo, con importante oposición local y problemas de ingeniería	Corto, generalmente sin oposición local y tecnologías sencillas
Toxicidad	Emisión de sustancias altamente contaminantes y producción de cenizas volantes y escorias tóxicas que deben ser enterradas en vertederos de seguridad	Reduce significativamente lo que finalmente es llevado a vertederos
Cambio climático y eficiencia	Ineficiente generación de electricidad, quema plásticos y se emite más que con combustibles fósiles. Se destruyen recursos muy valiosos ambiental y económicamente	Incrementar el reciclaje es beneficioso para el clima y en términos de reducción de emisiones, de eficiencia y de recuperación de recursos
Flexibilidad	Necesita un aporte estable de residuos (más de 25 años). Independientemente de los cambios en la composición de los residuos, nuevas tecnologías, etc.	Muy flexible, se adapta a la evolución de la composición y volumen de residuos. Capaz de proporcionar materia prima para nuevas tecnologías

1.4.1. Requisitos de los materiales a utilizar

Según la asociación ORCA (Organic Reclamation and Composting Association) para determinar la capacidad de un residuo para ser aceptado en un tratamiento de compostaje, debe tenerse en cuenta la biodegradabilidad, la compatibilidad con todas las operaciones del proceso, la seguridad ambiental durante el tratamiento y la influencia en la calidad del compost (Soliva y col., 2012).

Un residuo para ser compostado debe cumplir unos requisitos, tanto para posibilitar el proceso como para poder generar un producto con una determinada calidad. Así, parece no tener sentido compostar un residuo con poca materia orgánica ya que obliga a invertir energía en voltear y trasladar un material que después, en la aplicación en el suelo, aportaría poca materia orgánica estabilizada.

Los materiales a tratar deben tener, por si solos o mezclados, unas características que favorezcan el proceso y que permitan realizarlo en las mejores condiciones (energéticas, económicas, medioambientales...) posibles.

Generalmente, en las plantas de compostaje de restos de vegetales la entrada de material proviene de tres tipos de fuentes diferentes: restos de poda, restos del mantenimiento de parques urbanos y restos vegetales domiciliarios, por lo que debe tenerse presente que las características de dicho residuo varían según origen, disponibilidad, composición, época de suministro, especies vegetales, etc.

Los residuos biodegradables se componen principalmente de compuestos de carbono e hidrógeno, que son utilizados por los microorganismos como fuente de alimento. Su actividad, y con ello la velocidad del proceso de compostaje, depende esencialmente de los siguientes factores:

- Composición del material
- Humedad
- Aireación
- Temperatura

El tipo de materia inicial seleccionada en el proceso de compostaje incide en la calidad del producto final obtenido, por lo que se hace necesario un análisis previo que permita establecer características específicas del mismo, tales como tamaño de partícula, contenido en materia orgánica biodegradable, disponibilidad de microorganismos, contenido de nitrógeno, pH, contenido de humedad, y contenido de sales.

A la hora de preparar los residuos vegetales, es necesario reducir el tamaño del material de entrada al sistema de compostaje. Normalmente, la reducción de tamaño se lleva a cabo una vez que los residuos se han clasificado entre material no compostable y material compostable. Pero, aunque no es lo habitual, con las nuevas tendencias en el mantenimiento de zonas verdes hay un aumento del triturado "in situ" puesto que tiene la ventaja de minimizar los portes del traslado

de los residuos, además de proporcionar un producto con el tamaño listo para compostar.

La principal razón para reducir el tamaño de los residuos es para aumentar la relación entre el área superficial y el volumen del material a compostar. Esto va a mejorar la descomposición de la materia orgánica, al aumentar el área en la que los microorganismos pueden actuar en el material a compostar. Es necesario que el tamaño del material no sea demasiado pequeño, para que no entorpezca el flujo de aire en la pila de compostaje, ni demasiado grande, para que el área superficial donde van a actuar los microorganismos sea la óptima. Es decir, que para maximizar la eficiencia del proceso de compostaje es necesario encontrar un equilibrio entre la reducción del volumen poroso para la aireación, y el aumento del volumen superficial del material.

En cuanto a los tamaños de partícula más efectivos la bibliografía sugiere que se encuentran en el intervalo entre 1 y 7 cm.

Así, Gray y Biddlestone (1974), según el sistema de aireación a utilizar, proponen un rango de entre 1,3 y 7,6 cm, siendo los valores más bajos los preferidos para sistemas de aireación forzada y sistemas in-vessel, y los valores más altos los preferidos para hileras de volteo y otros sistemas de suministro de oxígeno por difusión pasiva y convección natural.

Por otro lado, la UNEP-United Nations Environment Programme (2005), atendiendo a las características del material señala que un tamaño de partícula adecuado para las virutas de madera individuales es de aproximadamente 1 cm de espesor y de 2 a 5 cm de ancho. Los tamaños de partícula apropiados para los materiales fibrosos y leñosos (desechos de jardín) son de aproximadamente 5 a 7 cm. Si las ramas y ramitas individuales son de menos de 1 cm de diámetro, los tamaños de partícula pueden ser un poco más grandes.

Otra de las principales características a tener en cuenta de la materia a compostar es la relación carbono-nitrógeno, ya que ambos son los dos constituyentes básicos

de la materia orgánica. Por ello, para obtener un compost de buena calidad es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos. Teóricamente una relación C/N de 25-35 es la adecuada, pero esta variará en función de las materias primas utilizadas.

Son materiales orgánicos ricos en carbono y pobres en nitrógeno entre otros, la paja, el heno seco, las hojas, las ramas, la turba y el serrín. En cambio, los vegetales jóvenes, son pobres en carbono y ricos en nitrógeno.

Una relación C/N muy elevada disminuye la actividad biológica, mientras que una relación C/N muy baja no afecta al proceso de compostaje, perdiendo el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco.

De modo que debe realizarse un análisis de la relación C/N de la mezcla, a fin de determinar si es necesario o no la adición de otros materiales para conseguir una relación C/N adecuada para obtener un compost equilibrado.

Respecto al pH, en general, los restos de monda de los cítricos (naranjas, limones, mandarinas, etc.) y las hojas secas de los pinos, entre otros materiales, suelen aportar **valores bajos de pH** al ser ricos en ácidos orgánicos. En cambio, el césped y los restos verdes de jardín pueden **aumentar el pH**, puesto que liberan compuestos alcalinos.

Acerca del contenido hídrico y la fracción mineral, los residuos orgánicos biodegradables de parques y jardines presentan una gran variabilidad según la especie y el órgano o fracción vegetal de que se trate.

Teniendo en cuenta lo explicado anteriormente se puede afirmar que un control eficiente de estos parámetros (Tabla 1.6) permitirá llegar a tener un proceso que trabaje de forma óptima disminuyendo el tiempo de elaboración del compost y mejorando su calidad.

Tabla 1.6. Condiciones óptimas para el proceso de compostaje (Graves y Hattemer, 2000).

Parámetro	Rango razonable	Rango óptimo
C/N	20-40	25-30
Humedad (%)	40-65	50-60
Temperatura (°C)	45-66	55-60
pH	5,5-9	6,5-8,0
Tamaño de la partícula	13 mm	13 mm

1.4.2. Fases del proceso compostaje e importancia de la temperatura

El compostaje se basa en la acción de diversos microorganismos aerobios, que actúan de manera sucesiva sobre la materia orgánica original en función de la influencia de determinados factores, produciendo elevadas temperaturas, reduciendo el volumen y el peso de los residuos y provocando su humidificación y oscurecimiento (Bueno y col., 2008).

Uno de los factores determinantes del proceso de compostaje es la temperatura que se alcanza en la pila, que varía dependiendo de la actividad metabólica de los microorganismos que utilizan los azúcares, los hidratos de carbono y las proteínas de rápida asimilación.

Debido a estas reacciones y a la cantidad de materia orgánica apilada, es mayor el calor que se genera que el que se pierde y por lo tanto la temperatura de la masa en compostaje aumenta. De acuerdo con este parámetro, el proceso de compostaje se puede dividir en cuatro fases (Figura 1.9):

- **Fase I o Mesófila (10-42 °C):** Al inicio del proceso de compostaje, los residuos se encuentran a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos presentes en los materiales orgánicos empiezan a desarrollarse utilizando hidratos de carbono y proteínas fácilmente asimilables. De esta forma los microorganismos crecen y se multiplican descomponiendo los materiales. Como consecuencia de la actividad de estos microorganismos la temperatura se eleva en torno a 40 °C en pocos días. Es la fase más dinámica

del compostaje puesto que la temperatura aumenta rápidamente. La duración de esta etapa es variable y depende de diversos factores como el contenido de oxígeno, el porcentaje de humedad, la relación C/N y el tipo de residuos utilizados.

- **Fase II o Termófila (45-70 °C):** La temperatura sigue subiendo hasta alcanzar valores cercanos a 60-70 °C y los microorganismos mesófilos son reemplazados por otros resistentes a estas temperaturas (termófilos). En un comienzo las bacterias y hongos termófilos empiezan a degradar la celulosa y parcialmente la lignina, aumentando la temperatura.

A partir de los 60 °C, los hongos termófilos cesan su actividad y aumentan los actinomicetos. Durante varios días se mantiene la temperatura alta, disminuye la actividad biológica y se produce la pasteurización del medio, es decir, se destruyen las bacterias patógenas, parásitos presentes en los residuos y la inhibición de la germinación de semillas.

Fase III o de enfriamiento (segunda fase mesófila): Esta fase comienza cuando prácticamente la totalidad de la materia orgánica se ha transformado, empezando a disminuir la temperatura. Como consecuencia de este descenso de temperatura, bacterias y hongos mesófilos reinvasan el compost y degradan la celulosa y la lignina restantes.

A lo largo de las etapas mesófila, termófila y de enfriamiento, que juntas conforman la denominada fase bio-oxidativa, deben realizarse volteos con el objeto de aportar oxígeno, que es rápidamente consumido por los microorganismos.

- **Fase IV o de maduración:** En la etapa de maduración la temperatura se estabiliza en valores cercanos a la del ambiente y la actividad microbiana se limita principalmente a la formación de ácidos húmicos.

Tras finalizar el proceso se obtiene como resultado un producto humificado estable o maduro en el que la actividad microbiana es nula o prácticamente inexistente.

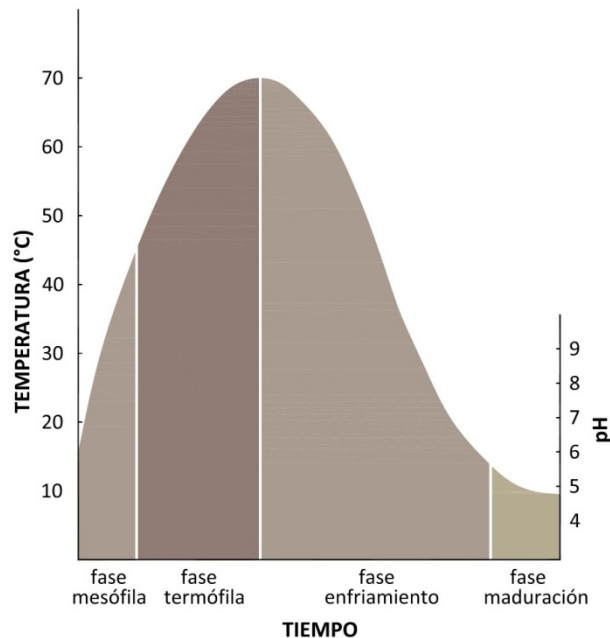


Figura 1.9. Evolución teórica de la temperatura en el proceso de compostaje (Costa, 1991).

Tradicionalmente, la temperatura ha sido considerada como un factor indicativo de la evolución del proceso de compostaje. Los cambios experimentados por este parámetro se utilizan normalmente para conocer la actividad microbiana a lo largo del proceso y determinan la estabilidad de la materia orgánica, así que se trata de un parámetro que se debe de seguir durante todo el proceso para asegurarse que se encuentre en los intervalos considerados correctos para cada fase del proceso (Jeris y Regan, 1973). Se ha comprobado que pequeñas variaciones de temperatura afectan más a la actividad microbiana que pequeños cambios de humedad, pH o relación C/N (Bueno y col., 2008).

1.4.3. Ventajas y limitaciones del proceso de compostaje

Entre las ventajas más importantes que podemos resaltar del proceso de compostaje estarían las siguientes:

- Ahorro de espacio en vertederos y de instalaciones incineradoras.
- Control del desprendimiento de gases efecto invernadero.
- Aumento de la materia orgánica del suelo con todas las ventajas que representa.
- Mayor fijación de CO₂.
- La inversión inicial para la construcción de las instalaciones de compostaje es relativamente baja, en comparación con plantas de incineración, biometanización, etc. Además los costes operacionales también son mucho menores.
- Recuperación de materia orgánica y nutrientes, tan necesarios para los suelos agrícolas y forestales.
- Si el proceso se realiza de un manera correcta (se alcanzan temperaturas lo suficientemente altas y durante un determinado tiempo) se obtiene un producto higienizado, libre de agentes patógenos y tóxicos. Un reciente estudio de Teagasc (Organismo para el Desarrollo de la Agricultura y la Alimentación de Irlanda) y el University College de Dublín ha demostrado que la materia orgánica transformada en compost es capaz de suprimir varias enfermedades transmitidas por el suelo y que las bacterias y hongos presentes en el compost pueden ejercer un control biológico contra patógenos vegetales (Boletín de Actualidad Europea de Castilla y León, 2010).
- El producto obtenido proporciona una textura ideal al terreno, ayuda a retener nutrientes y humedad, evita la erosión y aporta a los cultivos o plantaciones nutrientes de manera progresiva, con el consiguiente ahorro en fertilizantes minerales.
- La buena aceptación que tiene por parte de la sociedad un proceso que al fin y al cabo consiste en el reciclaje de un residuo, evitando el derroche de recursos.
- Facilitar la gestión de los residuos orgánicos procedentes de distintas actividades, reduciendo su peso y volumen, estabilizándolos y

generando un producto útil. Es una alternativa que puede ser ambientalmente más aceptable que otros sistemas de tratamiento.

- Reducción de la cantidad de residuos sólidos urbanos destinados a vertedero e incineración, evitando así problemas de contaminación de suelos por lixiviados orgánicos y emisiones provenientes de la descomposición en vertederos y la quema en incineradoras.
- Al poderse realizar en plantas de pequeño tamaño y con una inversión inicial relativamente baja, el número de plantas de realización de compost es lógicamente más elevado que el de otro tipo de instalaciones de tratamiento de esos mismos restos vegetales, por lo que el transporte hasta la planta del material a compostar suele ser a menor distancia al tener una red más amplia de instalaciones. Esto disminuye los costes y el consumo de combustibles fósiles.

Pero no todo en el proceso de compostaje son ventajas, también existen una serie de desventajas o limitaciones entre las que podemos citar las siguientes:

- En el caso de sistemas de compostaje con ventilación forzada, el uso de energía para la ventilación y el volteo del compost es significativo.
- Otra limitación importante es la emisión de malos olores que se producen generalmente por un inadecuado proceso de compostaje, por falta de aireación. Esto conduce a evitar la construcción de plantas de compostaje cercanas a núcleos de población.
- También debemos resaltar que para realizar y monitorizar de una manera adecuada el compost, es necesario que la materia prima utilizada sea lo más homogénea posible, o la mezcla de la misma, y además el suministro debe estar garantizado en cualquier época del año. Esto último suele ser un problema importante, ya que en el caso de los restos vegetales que se obtienen de los Servicios de Mantenimiento de nuestros parques y jardines suelen concentrarse en determinadas

épocas del año (otoño-invierno), disminuyendo de forma considerable el resto del año.

- Aunque no es un problema en sí para el proceso, la existencia o no de un mercado estable para el producto obtenido, puede condicionar de una manera decisiva la producción. Además la calidad debe ajustarse a las necesidades requeridas para el uso previsto del compost.

1.5. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El método de autocalentamiento “Dewar” ha sido estudiado por Briton (1995), que en base al incremento experimentado de la temperatura del material respecto a la ambiental propuso la siguiente clasificación del compost según el grado de autocalentamiento del material (Tabla 1.7).

Tabla 1.7. Clasificación de un compost según su capacidad de autocalentamiento.

Incremento de la temperatura respecto a la ambiental (°C)	Clasificación	Descripción del grupo	Grupo
0-10	V	Muy estable	Compost finalizado
10-20	IV	Moderadamente estable	Compost finalizado
20-30	III	Poco estable	Compost activo
30-40	II	Inmaduro	Compost activo
>40	I	Fresco	Compost fresco

Años más tarde, el citado autor (Brinton, 2000) apuntó que la información obtenida en la prueba en recipientes “Dewar” es limitada, en el sentido de que es útil para distinguir un compost muy inmaduro de un compost maduro, pero no resulta adecuada para distinguir un compost de madurez moderada de uno maduro.

Del mismo modo, Soliva y López (2004) señalan que el seguimiento de la temperatura a lo largo del compostaje es una de las mejores maneras de controlar el proceso, siempre que se sepan interpretar los cambios. Cuando finaliza la fase de

maduración, se espera que la temperatura del material alcance niveles cercanos a los ambientales, y si el material no está maduro completamente puede ser que no presente temperaturas elevadas por distintas razones, como una humedad muy baja o poca cantidad de material. Para materiales no suficientemente estabilizados proponen el uso de un vaso Dewar, donde se mantienen condiciones de humedad adecuadas en un espacio aislado, para así poder alcanzar cierta temperatura de autocalentamiento en un determinado intervalo de tiempo. Es un parámetro muy utilizado para medir el grado de estabilidad aunque está sometido a numerosos errores debido a las distintas maneras de preparar y manejar las muestras; debe tenerse en cuenta la cantidad de muestra, su humedad y porosidad entre otros aspectos. Cuando se aplica a muestras inmaduras puede dar resultados erróneos ya que es probable que la temperatura no aumente debido a que aparecen rápidamente condiciones anaeróbicas dentro del termo.

2. OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

Este Trabajo Fin de Máster tiene como objetivos **caracterizar químicamente** una selección de distintos restos vegetales de poda generados en la conservación y mantenimiento de parques, jardines y arbolado de alineación de carácter público, y **conocer la evolución de la temperatura** de las mezclas seleccionadas por sí solas o con la adicción de estiércol vacuno, con la finalidad de optimizar la proporción de vegetales-estiércol para su compostaje.

Este objetivo general se desglosa en los siguientes objetivos específicos:

- Caracterización de los materiales por especie vegetal, mediante el estudio de la humedad (% humedad operativa y % humedad total), la materia orgánica (% MO), el carbono orgánico total (C), el nitrógeno total y la relación $C/N_{química}$, así como del contenido de amonio, lignina, holocelulosa, celulosa y hemicelulosa, además de su composición elemental.
- Caracterización de las mezclas de restos de poda por sí mismos y con diferentes proporciones de estiércol, analizando la humedad, materia orgánica, pH y conductividad eléctrica al inicio y final en ensayos de autocalentamiento.
- Determinación los perfiles térmicos alcanzados durante el periodo de desarrollo de la fase termófila, analizando el efecto de la adición de estiércol vacuno, y la velocidad y capacidad de autocalentamiento en las mezclas de residuos vegetales.
- Obtención del potencial energético producido durante el autocalentamiento.

Se pretende así conocer si el proceso de compostaje se produciría de forma natural o si precisaría de la incorporación de un activador que permitiera alcanzar las condiciones necesarias para que tenga lugar.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

Para la elaboración del presente trabajo, que tiene como objetivo conocer si el proceso de compostaje de los restos de poda se produciría de forma natural o se precisaría de la incorporación de un activador que permitiera alcanzar las condiciones necesarias para que tuviera lugar, se han tomado distintas muestras de restos de podas procedentes de las actividades de mantenimiento y conservación de jardinería urbana.

3.1.1. Restos de especies vegetales

Aunque la densidad y tipología del paisajismo urbano varía según cada ciudad, para la realización de los ensayos se ha tomado como referencia el término municipal de Alcantarilla (Murcia). En el Anexo I, se incluye el inventario de las especies vegetales existentes en los parques, jardines y arbolado alineación de dicho municipio (Excmo. Ayuntamiento de Alcantarilla, 2013), donde atendiendo al arbolado de mayor presencia en el acondicionamiento de sus espacios verdes públicos, se han preseleccionado restos de poda de seis especies vegetales: *Cupressus sempervirens*, *Citrus aurantium*, *Morus alba*, *Washingtonia robusta*, *Jacaranda mimosifolia* y *Tipuana tipu* (Tabla 3.1 y Figura 3.1).

Tabla 3.1. Unidades de las especies vegetales más abundantes en las zonas verdes públicas en el año 2013 del Término Municipal de Alcantarilla (elaboración propia).

Especie Vegetal	unidades
<i>Citrus aurantium</i>	2.166
<i>Cupressus sempervirens</i>	3.138
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	849
<i>Morus alba</i>	1.232
<i>Tipuana tipu</i>	732
<i>Washingtonia robusta</i>	996
Resto arbolado y palmáceas	2.583

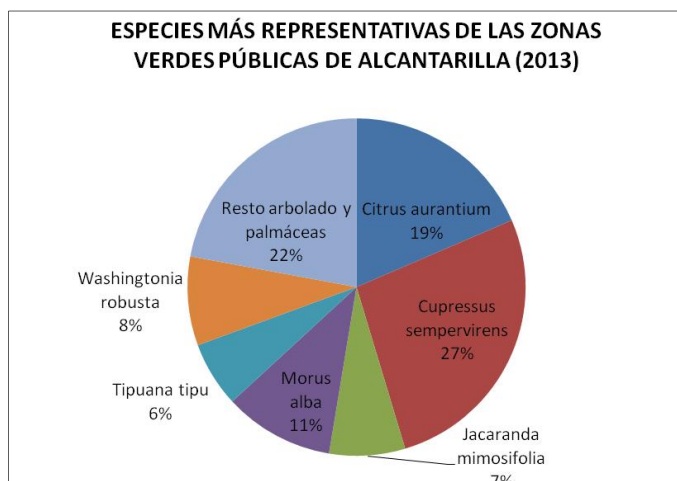




Figura 3.1. Especies más representativas arbóreas y palmáceas de las zonas verdes públicas del Término Municipal de Alcantarilla del año 2013 (elaboración propia).

A continuación se incluye una breve descripción de las características botánicas más significativas de estas especies (Trigo, 2002, 2007, 2010 y <http://www.arbolesornamentales.es>) así como de los residuos vegetales generados por cada una de ellas, dependiendo de las tareas propias de su mantenimiento y conservación en jardinería.

<i>Citrus aurantium</i>	<p>Familia: Rutaceae Nombre común: Naranja amargo. Lugar de origen: Sureste de Asia.</p>
	<p>Descripción de la especie: Árbol perenne de 3-5 m de altura, con la copa compacta, frondosa, globosa, y el tronco de corteza lisa y color verde grisáceo. Ramas jóvenes de color verde y con largas espinas. Hojas ovalado-oblongas, acuminadas, de 7-10 cm de longitud, con el pecíolo anchamente alado. Son de color verde oscuro lustroso. Flores solitarias o en grupos axilares. Son de color blanco, muy fragantes, de unos 2 cm de diámetro. Florece en marzo-abril. Fruto globoso de unos 7-8 cm de diámetro, de superficie algo rugosa y de color naranja intenso en la madurez. Pulpa ácida. Permanece en el árbol bastante tiempo.</p>
	<p>Descripción del residuo: Principalmente, a esta especie en jardinería se le realiza la poda de los brotes nuevos y alguna rama terciaria que este seca o que presente problemas, así que se trata de un residuo formado principalmente por hojas y tallos tiernos procedentes del recorte.</p>

<p><i>Cupressus sempervirens</i></p>	<p>Familia: Cupressaceae Nombre común: Ciprés común Lugar de origen: Se le supone nativo del Mediterráneo oriental (Irán, Siria, Chipre).</p>
	<p>Descripción de la especie: Árbol que puede alcanzar 30 m de talla, con porte columnar o extendido. Corteza delgada de color pardo grisáceo, con largas fisuras longitudinales que no se exfolian. Ramillas cilíndricas de alrededor de 1 mm de grosor. Hojas escamiformes, delgadas, aplanadas, con punta obtusa, deprimidas, imbricadas, de color verde oscuro mate, sin glándulas resiníferas. Inflorescencias masculinas terminales, de color amarillo. Inflorescencias femeninas terminales, solitarias o en grupos. Conos ovoideo-esféricos, de 2-3,5 cm de diámetro, de color verde, pasando a gris marrón lustroso en la madurez. Están formados por escamas y semillas de ala estrecha. Maduración bianual.</p>
	<p>Descripción del residuo: En jardinería, el ciprés se dispone bien de forma aislada o en grupo. En el caso de ejemplares aislados, sólo se podan las ramas que distorsionan la silueta cónica de su copa. Mientras que cuando se utiliza en agrupaciones formando setos y macizos de configuración geométrica, la poda se reduce básicamente a su perfilado retirando los nuevos brotes. Por tanto, se trata de un residuo que se compone principalmente por tallos tiernos procedentes de los recortes.</p>
<p><i>Jacaranda mimosifolia</i></p>	<p>Familia: <u>Bignoniaceae</u> Nombre común: Jacarandá, palisandro Lugar de origen: Argentina, Bolivia.</p>
	<p>Descripción: Árbol semicaducifolio de 12-15 m de altura, con la copa ancha y las ramas erguidas. Hojas opuestas, paribipinnadas, de color verde amarillento. Inflorescencias en panículas terminales de forma piramidal que aparecen antes que las hojas, en mayo-junio, dándole al árbol un bonito aspecto; a veces algunos ejemplares tienen una segunda floración, aunque más escasa, hacia el mes de septiembre-octubre. El fruto es una cápsula leñosa, dehiscente, suborbicular, comprimida lateralmente, con los márgenes a veces algo ondulados, permaneciendo bastante tiempo en el árbol. Semillas abundantes de color castaño, rodeadas de un ala membranosa transparente.</p>
	<p>Descripción del residuo: La jacaranda en un árbol de crecimiento muy rápido y se suelen realizar podas de realce y mantenimiento, además del terciado, ya que cuando se proyecta o se planta solo se considera su tamaño como un árbol joven sin tener en cuenta que en muy poco tiempo alcanza un tamaño de grandes proporciones y por ello en muchas ocasiones hay que hacerle este tipo de poda ya que su tamaño es demasiado grande para el lugar donde se ha plantado. El residuo que se genera de esta especie está formado por ramas secundarias, hojas y frutos, es un residuo muy leñoso.</p>

<p>Morus alba</p>	<p>Familia: Moraceae Nombre común: Morera Lugar de origen: Asia occidental, pero introducida y cultivada desde antiguo en muchas zonas.</p>
	<p>Descripción: Árbol caducifolio que alcanza hasta 15 m de altura, con ramas jóvenes grisáceas. Copa redondeada y abiertamente ramificada. Hojas de anchamente ovadas a orbicular-ovadas, con ápice agudo o cortamente acuminado. Base semitruncada o subcordada, oblicua. Borde dentado o irregularmente lobulado. Flores de color crema o verdosos. Fruto de color rosado o rojo oscuro. Florece en abril; fructifica en mayo.</p>
	<p>Descripción del residuo: La morera es un árbol de sombra por excelencia y admite podas asiduas, se le practican dos tipos de podas la de formación y la de mantenimiento. La de formación se le aplica al principio de la vida del árbol y una vez está formado se le realiza la de mantenimiento. La poda de mantenimiento se practica anualmente dejando más de cuatro ramas cortadas a 10 cm del tronco. Así que su residuo está formado principalmente por tallos de no más de un año y hojas verdes o amarillentas si ha empezado la hoja a deteriorarse, por ser un árbol caduco.</p>
<p>Tipuana tipu</p>	<p>Familia: Fabaceae (Leguminosae-Papilionoideae) Nombre común: Tipa, Tipuana. Lugar de origen: Nativo de los bosques subtropicales de Bolivia y del noroeste de Argentina.</p>
	<p>Descripción: Árbol tardíamente caducifolio, alcanzando 10-25 m de altura en cultivo, con la copa densa, amplia y extendida y con las últimas ramillas péndulas; tronco grueso, con la corteza de color gris oscuro, resquebrajada longitudinalmente y más tarde dividida en placas persistentes. Hojas opuestas o subopuestas, rara vez alternas (juveniles). Inflorescencias en racimos simples, colgantes, axilares y terminales, más cortos que las hojas, con flores zigomorfas, típicamente amariposadas, largamente pediceladas. Fruto en legumbre estipitada, algo coriácea, indehiscente, monosperma, provista de un ala estriada de 3,5-5 cm de largo y que le confiere aspecto de sámara y una parte basal fértil, ovoide, de 1,5-2 cm de largo, de color castaño más oscuro que el ala. Semillas 1-3, oblongas, rojizas, de 5-6 mm de largo.</p>
	<p>Descripción del residuo: La tipuana es un árbol de crecimiento muy rápido y se suelen realizar podas de realce y mantenimiento, además del terciado, por el mismo motivo que se ha explicado anteriormente en la especie <i>Jacaranda mimosifolia</i>. Por ello, el residuo que se genera de esta especie está formado por ramas secundarias, hojas y frutos, es un residuo muy leñoso.</p>

<p><i>Washingtonia robusta</i></p>	<p>Familia: Arecaceae (Palmae) Nombre común: Palmera mexicana. Lugar de origen: Noroeste de México.</p>
	<p>Descripción: Palmera hermafrodita de tronco estrecho de unos 25 cm de diámetro y una altura de hasta 25 m, con restos de las bases de las hojas viejas o si éstos han caído, ligeramente rugoso, de color marrón grisáceo. Hojas costapalmadas, de 1 m de diámetro, divididas hasta su mitad en segmentos puntiagudos, con el ápice bífido. Pecíolo de 1 m de longitud con dientes recurvados en los márgenes. Inflorescencias de 2-3 m de longitud naciendo de entre la base de las hojas, colgantes, con flores de color crema. Fruto ovoide, negruzco, de 0,8 mm de diámetro.</p>
	<p>Descripción del residuo: A las palmeras washingtonias se les practica la poda de las palmas secas y la primera corona de hojas verdes, por tanto se trata de un residuo formado principalmente por hojas. Estas palmas poseen una vaina, un pecíolo y un limbo en forma palmada o palmeada.</p>

3.1.2. Estiércol de vaca

El estiércol utilizado en los ensayos procede de una granja de ganado vacuno situada en las Torres de Cotillas (Murcia). Sus principales características se muestran en la Tabla 3.2, en la que se recoge el contenido de humedad, materia orgánica, pH y conductividad eléctrica.



Figura 3.2. Estiércol vacuno aplicado como activador en los ensayos.

Tabla 3.2. Características del estiércol vacuno utilizado (valores referidos sobre materia seca).

	%H ₂ O	%MO	pH	CE (dS m ⁻¹)
Media	31,0	72,7	8,60	7,53
sd	3,0	1,5	0,04	0,11

H₂O: Humedad.

MO: materia orgánica muestra seca.

CE: conductividad eléctrica.

sd: desviación estándar.

3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

3.2.1. Selección de la mezcla de materiales

Para la realización del análisis experimental se elaboraron dos mezclas de restos de poda atendiendo a la mayor o menor profusión de determinadas especies vegetales así como a la mayor o menor cantidad de residuos generados por cada una de ellas.

Otro factor importante que se tuvo en cuenta fue el carácter estacional de los residuos de jardinería, pues aunque se producen durante todo el año, el mantenimiento de los espacios ajardinados urbanos se planifica en base a los requerimientos específicos de cada especie y al criterio de los técnicos municipales (mínima intervención, poda de mantenimiento, reducción de copa, etc.).

Así, se preparó una primera mezcla (mezcla 1) compuesta de las especies *Morus alba*, *Jacaranda mimosifolia*, *Tipuana tipu*, *Washingtonia robusta* y *Cupressus sempervirens*, cuyo mantenimiento se realiza principalmente entre los meses de octubre a diciembre. Respecto a su composición, aunque el *Cupressus sempervirens* es la especie más utilizada, su porcentaje aportado a la muestra fue del 5% ya que apenas requiere una intervención mínima y conlleva una pequeña producción de residuos, correspondiendo el material predominante de la muestra (50%) a *Morus alba*, pues es la segunda especie más utilizada y genera una mayor cantidad de residuos. Respecto a las palmáceas, actualmente en el municipio su poda está recomendada entre los meses de noviembre y diciembre, para la prevención del *Rhynchophorus ferrugineus* (picudo rojo), por lo que se contempló el residuo de

Washingtonia robusta en esta mezcla con un 15%, al ser una especie muy presente y requerir una poda anual. Igualmente se asignó un 15 % para *Jacaranda mimosifolia* y *Tipuana tipu*, que son especies con características semejantes y producen cantidades residuos similares además de contar aproximadamente con el mismo número de ejemplares.

Para el estudio de los residuos generados en los meses de enero y febrero se elaboró una segunda mezcla (mezcla 2) compuesta por *Citrus aurantium* (52%), *Morus alba* (21%), *Jacaranda mimosifolia* (11%), *Tipuana tipu* (11%) y *Cupressus sempervirens* (5%). En este caso se dio mayor porcentaje al *Citrus aurantium* por ser la principal especie que se poda en esta temporada, mientras que el porcentaje del resto de especies se estimó considerando los ejemplares que quedan pendientes de la anterior temporada de poda (octubre-diciembre) y la cantidad de residuo que se genera según el tipo de actuaciones que se les realiza.

3.2.2. Preparación de la muestra

Una vez en el laboratorio, los materiales fueron triturados individualmente para homogeneizarlos mediante un triturador mecánico (Figura 3.3) con un tamiz de 4 mm de paso, y a continuación se realizaron las dos mezclas anteriormente citadas (mezcla 1 y mezcla 2), con los materiales y proporciones indicados en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Materiales y porcentajes que componen las mezclas 1 y 2 (peso fresco).

MEZCLA 1 (octubre-diciembre)		MEZCLA 2 (enero-febrero)	
<i>Morus alba</i>	50%	<i>Citrus aurantium</i>	52%
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	15%	<i>Morus alba</i>	21%
<i>Tipuana tipu</i>	15%	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	11%
<i>Washingtonia robusta</i>	15%	<i>Tipuana tipu</i>	11%
<i>Cupressus sempervirens</i>	5%	<i>Cupressus sempervirens</i>	5%

Cada mezcla fue dividida en tres sub-muestras, una de ellas empleada para la determinación de la humedad y el contenido de materia orgánica, y las otras dos utilizadas para la realización de los ensayos de autocalentamiento.

		
a. restos de poda.	b. restos cortados a un tamaño aproximado de 5-7 cm.	c. triturador mecánico.
		
d. restos en el triturador mecánico.	e. restos triturados de <i>Morus alba</i> .	f. restos triturados de <i>Jacaranda mimosifolia</i> .
		
g. restos triturados de <i>Tipuana tipu</i> .	h. restos triturados de <i>Washingtonia robusta</i> .	i. restos triturados de <i>Cupressus sempervirens</i> .
		
j. restos triturados de <i>Citrus aurantium</i> .	k. mezcla 1.	l. mezcla 2.

Figura 3.3. Preparación de la muestra de los restos vegetales seleccionados.

3.2.3. Determinación de las curvas de temperatura en las distintas mezclas

Para la determinación de las curvas de temperatura se utilizó un equipo de autocalentamiento basado en el sistema de determinación de actividad biológica aerobia-ensayo de autocalentamiento para compost (UNE-EN 16087-2) que consta de los siguientes elementos (Figura 3.4):

- Columnas de reacción, basadas en modelo de autocalentamiento en “vaso Dewar” (Brinton y col., 1995), con perforaciones en el fondo, camisa aislante y tapa de poliuretano.
- Sonda de temperatura para lectura de temperatura interior de columna.
- Sistema de almacenamiento de datos de temperatura interior de columna “data logger 1”.
- Sistema de control y almacenamiento de temperatura exterior “data logger 2”.
- Software para programar la toma periódica de temperatura, así como para el análisis y visualización de datos.

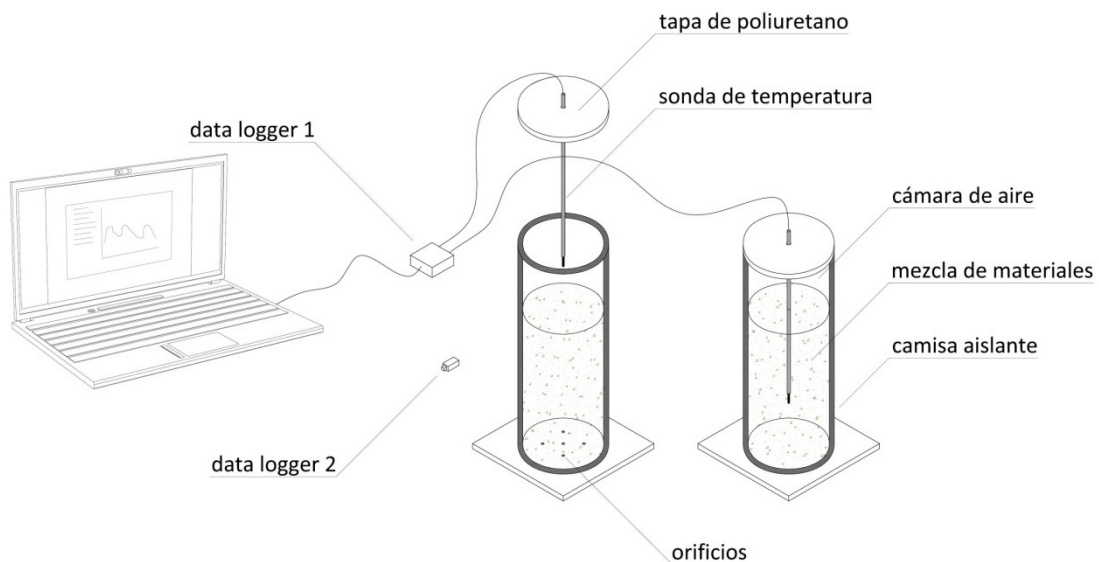


Figura 3.4. Esquema de equipo de autocalentamiento con columnas de reacción.

Las pruebas de autocalentamiento se llevaron a cabo en columnas o cilindros de PVC, recubiertos de un aislante térmico, de 5 L de capacidad, 14 cm de diámetro interior y 40 cm de altura, con 5 perforaciones en su base para permitir la aireación de la muestra y evitar condiciones de anaerobiosis. En el centro de la tapa se colocaron las sondas para medir la temperatura interior de la columna hasta una profundidad aproximada a 7-8 cm del fondo. Los datos de temperatura interna se registraron automáticamente cada 15 minutos mediante el “data logger 1”, mientras que el “data logger 2” registró y controló los datos de temperatura exterior cada 5 minutos. El software utilizado para el análisis y visualización de los datos fue HOBOWare Lite, versión 3.3.1 (Figura 3.4).

En total, se realizaron dos ensayos de autocalentamiento. En el primero se aportó a las mezclas 1 y 2 un 20% de estiércol vacuno y se determinaron los cambios de temperatura de cada una de ellas durante 10 días por duplicado (Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Primer ensayo de autocalentamiento de las mezclas 1 y 2 durante 10 días, con 20 % de estiércol de vacuno.

Restos vegetales		Estiércol vacuno	Tiempo de ensayo (días)	Volteo (días)	Nº repeticiones	
Mezcla 1	<i>Morus alba</i>	50%	20 %	10	7	2
	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	15%				
	<i>Tipuana tipu</i>	15%				
	<i>Washingtonia robusta</i>	15%				
	<i>Cupressus sempervirens</i>	5%				
Mezcla 2	<i>Citrus aurantium</i>	52%	20 %	10	7	2
	<i>Morus alba</i>	21%				
	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	11%				
	<i>Tipuana tipu</i>	21%				
	<i>Cupressus sempervirens</i>	5%				

En el segundo ensayo, se comparó la evolución de la temperatura durante un periodo de 9 días de las mezclas 1 y 2 por sí mismas contra su comportamiento con el aporte del 5% de estiércol (Tabla 3.5 y Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Segundo ensayo de autocalentamiento de las mezclas 1 y 2 durante 9 días, por sí mismo y con 5 % de estiércol de vacuno.

Restos vegetales		Estiércol vacuno	Tiempo de ensayo (días)	Volteo (días)	Nº repeticiones
Mezcla 1	<i>Morus alba</i> 50%	5 %	9	4	2
	<i>Jacaranda mimosifolia</i> 15%				
	<i>Tipuana tipu</i> 15%				
	<i>Washingtonia robusta</i> 15%				
	<i>Cupressus sempervirens</i> 5%				
Mezcla 1	<i>Morus alba</i> 50%	-	9	8	1
	<i>Jacaranda mimosifolia</i> 15%				
	<i>Tipuana tipu</i> 15%				
	<i>Washingtonia robusta</i> 15%				
	<i>Cupressus sempervirens</i> 5%				
Mezcla 2	<i>Citrus aurantium</i> 52%	5 %	9	4	2
	<i>Morus alba</i> 21%				
	<i>Jacaranda mimosifolia</i> 11%				
	<i>Tipuana tipu</i> 11%				
	<i>Cupressus sempervirens</i> 5%				
Mezcla 2	<i>Citrus aurantium</i> 52%	-	9	8	1
	<i>Morus alba</i> 21%				
	<i>Jacaranda mimosifolia</i> 11%				
	<i>Tipuana tipu</i> 11%				
	<i>Cupressus sempervirens</i> 5%				

En cuanto al procedimiento de realización del ensayo de autocalentamiento, una vez preparadas las mezclas con la proporción de restos vegetales indicada, se le aportó el porcentaje de estiércol correspondiente en cada caso, y seguidamente se les realizó el test del puño para asegurar que el contenido de humedad del material a ensayar se ajustaba antes del ensayo al valor óptimo para los procesos microbianos. La muestra fue correcta cuando al comprimirse en el puño, no se escaparon gotas de agua entre los dedos, ni se disgregó al abrir el puño, formando la muestra comprimida un agregado al abrir el puño que se deshizo con una suave presión.

Tras comprobar que el contenido de humedad era el óptimo, se llenaron las columnas con el material sin presionar, golpeándolas ligeramente sobre la base y dejando una pequeña cámara de aire en la parte superior o coronación que funcionó como aislante. Posteriormente se colocó una tapa de poliuretano que

tenía en el centro el dispositivo de medición de temperatura o sonda que se introdujo en el interior del material a aproximadamente a 7-8 cm sobre el fondo.

Así mismo, de cada columna se controló el peso, altura, volumen y densidad de las diferentes mezclas al inicio de cada ensayo.

Por último, se tomaron muestras de las mezclas al principio y al final del experimento, y cada muestra representativa se dividió en tres fracciones en el laboratorio. Una fue utilizada para determinar el contenido de humedad y contenido de materia orgánica, mientras que las otras dos fueron inmediatamente congeladas (-18 °C) para el resto de las determinaciones analíticas.



Figura 3.6. Primer ensayo de autocalentamiento de las mezclas 1 y 2 con 20% estiércol vacuno.

3.2.4. Tratamiento de datos

Las gráficas con la representación de la evolución de la temperatura de las columnas y ambiente, y de la capacidad de autocalentamiento de las mezclas (calculada según descrito en el apartado de resultados y discusión) se realizaron con el programa SigmaPlot 10.0.

3.3. PARÁMETROS CONTROLADOS

Se enumeran a continuación los parámetros controlados durante los ensayos de autocalentamiento:

- Temperatura máxima y tiempo que tarda en alcanzarla
- Evolución de la temperatura con el tiempo
- Tiempo total del test
- % Humedad inicial y final
- Materia orgánica inicial y final
- Pérdida de peso
- pH inicial y final
- Conductividad eléctrica inicial y final

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESTOS DE PODA RECOGIDOS

4.1.1. Caracterización de los materiales por especie vegetal

La Tabla 4.1 muestra la caracterización de los restos de poda de los 6 materiales seleccionados (*Citrus aurantium*, *Cupressus sempervirens*, *Jacaranda mimosifolia*, *Morus alba*, *Tipuana tipu* y *Washingtonia robusta*). Esta caracterización consistió en el estudio de la humedad (% humedad operativa y % humedad total), materia orgánica (% MO), C orgánico total (C_{OT}), N total y relación C/N.

Tabla 4.1. Caracterización de restos vegetales iniciales (datos referidos a materia seca).

ESPECIE VEGETAL	%C	se %C	% N	se %N	C/N _{química}	% Humedad operativa	% Humedad total	se % Humedad total	% MO	se % MO
<i>C. aurantium</i>	43,8	0,04	1,8	0,03	24,1	61,7	62,6	0,49	32,8	0,48
<i>C. sempervirens</i>	54,5	4,56	1,2	0,10	44,1	61,3	63,5	0,16	34,5	0,14
<i>J. mimosifolia</i>	45,9	0,83	1,1	0,05	43,1	53,6	55,1	0,41	43,4	0,41
<i>M. alba</i>	45,3	0,00	1,5	0,03	30,4	43,0	59,5	0,31	37,9	0,33
<i>T. tipu</i>	44,4	0,10	2,1	0,00	20,7	39,9	42,0	0,42	52,3	0,48
<i>W. robusta</i>	45,5	0,11	1,3	0,00	36,0	44,5	46,4	0,17	49,7	0,12

se: error estándar.

En la Tabla 4.1 podemos apreciar que la relación C/N varía desde 20,7 (*Tipuana tipu*) hasta un máximo de 44,1 (*Cupressus sempervirens*), que las muestras de *Citrus aurantium* y *Cupressus sempervirens* poseen valores de humedad operativa por encima del 60%, siendo los valores iniciales aceptables de humedad de 30-60% para los materiales susceptibles de ser compostados. Valores inferiores a 30% frenan la actividad y valores superiores al 60-70% provocan que la tasa de difusión del oxígeno sea insuficiente para reponer el oxígeno consumido creando condiciones de anaerobiosis (Dickson y col., 1993). Y finalmente la materia orgánica oscila entre 32,8 % (*Citrus aurantium*) y 52,3% (*Tipuana tipu*).

Dentro de cada una de las propiedades estudiadas, hay una serie de valores que destacan, ya sea por estar bastante por debajo de los demás o por encima. En el caso de la relación C/N, la disparidad entre valores es importante, pero si nos

fijamos en detalle, esta disparidad se debe sobre todo a la diferencia en la concentración de N que tienen las distintas especies vegetales estudiadas, ya que el porcentaje de C es muy similar en todas ellas.

Los valores de C varían en general muy poco, entre el 43,8% de *Citrus aurantium* y el 45,9 de *Jacaranda mimosifolia*, con la excepción de *Cupressus sempervirens* que presenta una cifra algo superior con respecto al resto (54,5%).

Teniendo en cuenta esto, la variación en la cantidad de C entre el menor y el mayor de los valores encontrados, representa únicamente un aumento del 2,1% (excluyendo *Cupressus sempervirens*).

En cambio, la cantidad de N encontrada en cada ejemplar, varía entre el 1,1% de *Jacaranda mimosifolia* y el 2,1% de *Tipuana tipu*, pasando por un amplio rango de valores intermedios. Esto significa que la cantidad de N que presenta *Tipuana tipu* es un 90,9% más elevada que la de *Jacaranda mimosifolia*. Evidentemente esta variación es muy significativa y es la que marca también la variación en la relación C/N.

En cuanto a los valores de humedad, también se pueden observar diferencias considerables entre las distintas especies. El porcentaje de humedad operativa que presenta *Citrus aurantium* (61,7%) es un 54,63% mayor que el determinado para *Tipuana tipu* (39,9%).

Del contenido en materia orgánica encontrado, se puede destacar que parecen existir dos grupos diferenciados. Un primer grupo formado por *Citrus aurantium*, *Cupressus sempervirens*, *Jacaranda mimosifolia* y *Morus alba*, en el cual los valores no superan el 43,4%, y otro formado por *Tipuana tipu* y *Washingtonia robusta*, en el que los valores están alrededor del 50%.

Desde el punto de vista del compostaje hay que remarcar que presentan un contenido hídrico muy variable, elevado contenido de materia orgánica y generalmente poseen un porcentaje de C elevado mientras que el de N suele ser

bajo, dando lugar a una relación C/N alta, aunque con notables diferencias según el residuo como ya se ha comentado.

En cuanto a la biodegradabilidad de estos materiales, depende del contenido relativo en biomoléculas fácilmente asimilables (azúcares solubles y otras moléculas de bajo peso molecular), de hemicelulosa y celulosa, así como de componentes de degradación más lenta (ceras, lignina y otros polifenoles) (Brown, 1985; Colberg, 1988; Pérez y col., 2002; López, y Boluda, 2008).

Por ello, para completar la caracterización de los materiales se ha determinado también el contenido de lignina, holocelulosa, celulosa y hemicelulosa, cuyos porcentajes aparecen recogidos en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Concentración de amonio (mg kg^{-1}), lignina, holocelulosa, celulosa y hemicelulosa.

ESPECIE VEGETAL	% Lignina	%Holocelulosa	%Celulosa	%Hemicelulosa
<i>Citrus aurantium</i>	35,0±0,17	52,5±0,11	30,5±0,96	25,0±0,85
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	49,7±0,63	62,9±1,50	30,2±1,35	32,8±2,85
<i>Morus alba</i>	45,3±0,46	71,3±0,79	33,8±1,52	37,5±2,32
<i>Tipuana tipu</i>	42,2±0,23	57,5±7,36	22,9±0,29	34,6±7,07
<i>Washingtonia robusta</i>	45,8±0,67	58,3±0,52	27,5±0,17	30,8±0,35
<i>C. sempervirens</i>	51,7±1,02	51,1±0,27	28,0±0,73	23,1±0,46

Debido a que la lignina es el componente más recalcitrante de la pared celular de la planta, cuanto mayor es la proporción de lignina menor es la biodisponibilidad del sustrato para los microorganismos (Haug, 1993). Este es un problema común de los materiales de alto contenido de carbono, que a menudo derivan de la madera y de otros materiales vegetales lignificados, con alto contenido de lignina que reducen su biodegradabilidad. Por ello la cantidad de lignina ha sido normalmente referenciada como la causante de la reducción de la tasa de degradabilidad de los materiales debido a la resistencia que produce al ataque microbiano (Vigil y Kissel, 1995).

Según Haug (1993) la celulosa y la hemicelulosa tienen un 70% de degradabilidad mientras que para la lignina se estima entorno al 0%. Por tanto, el contenido de celulosa y hemicelulosa de los restos analizados nos indica que existen componentes que pueden favorecer la degradabilidad. Pero para que se produzca la

degradación de la celulosa y hemicelulosa, la lignina debe de ser degradada por lo menos en parte, lo que implica la necesidad de que enzimas ligninolíticas actúen para que se produzca correctamente el proceso de compostaje (Moreno y Mormeneo, 2008).

Según lo comentado anteriormente, podemos confirmar observando las Tablas 4.1 y 4.2 que los materiales con alto contenido de carbono orgánico total, como es el caso de *Cupressus sempervirens*, poseen el mayor porcentaje de lignina.

Tabla 4.3. Composición elemental y contenido de amonio de las especies vegetales en mg kg⁻¹.

ESPECIE VEGETAL	N-NH ₄ ⁺	Al	Ca	Cu	Fe	K
<i>Citrus aurantium</i>	37,9±2,05	103	24823	7,3	188	13698
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	28,3±3,86	69,8	4285	8,3	167	6479
<i>Morus alba</i>	51,8±2,17	64,6	9468	4,6	191	10575
<i>Tipuana tipu</i>	589±31,2	462	15720	14,3	924	6539
<i>Washingtonia robusta</i>	4,4±0,96	187	4455	4,9	660	15828
<i>C. sempervirens</i>	4,1±1,93	77,6	91989	5,6	166	9388

ESPECIE VEGETAL	Mg	Mn	Na	Pb	P	S	Zn
<i>Citrus aurantium</i>	2187	32,3	172	-	949	2078	13,7
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	1365	31,5	142	9,9	719	1452	23,6
<i>Morus alba</i>	2538	33,6	70,0	5,6	1222	1128	25,0
<i>Tipuana tipu</i>	4074	63,3	218	11,9	1654	1655	91,1
<i>Washingtonia robusta</i>	2070	40,9	327	9,5	680	3955	43,1
<i>C. sempervirens</i>	1582	34,2	197	18,0	1864	1538	17,3

La Tabla 4.3 muestra la concentración de macro y micronutrientes de los residuos de poda de las especies vegetales estudiadas. Como podemos observar, en general en todos los casos los contenidos en Ca, K, Mg y S son los mayoritarios frente a los contenidos en Pb, Zn, Mn, Al, Na y Cu que tienen menos presencia en este tipo de residuos. Las concentraciones de metales pesados (Cu, Pb y Zn) son en general muy bajas, y las de otros elementos traza potencialmente tóxicos (como As, Cd, Cr y Ni) estuvieron por debajo del límite de detección. Este dato resulta de importancia ya que el contenido de estos elementos está limitado en los productos fertilizantes preparados a partir de residuos animales o vegetales (Real Decreto 506/2013). Este hecho, junto con las elevadas concentraciones en nutrientes como K, P y S, confiere a estos materiales un alto potencial como materia prima para la preparación de compost que puedan utilizarse como productos fertilizantes.

Respecto al amonio (N-NH_4^+), un alto contenido resulta un factor a considerar debido a que origina un olor característico que puede derivar en el rechazo del compost resultante, además de que puede ser tóxico para las plantas (Masaguer y Benito, 2008).

Para las especies vegetales estudiadas, el contenido de nitrógeno inorgánico en forma de amonio mostró resultados muy diferentes, encontrándose en la mayoría de los casos por debajo de 52 mg kg^{-1} , a excepción de la *Tipuana tipu*, que presentó un valor cercano a 590 mg kg^{-1} . Teniendo en cuenta que si el proceso de compostaje se desarrolla de forma adecuada se produce una reducción de la concentración de NH_4^+ (Soliva, 2004), indicando la ausencia de materia orgánica inestable y asegurando la calidad del producto final, se estimó que el contenido de amonio presente la *Tipuana tipu* no era un factor decisivo por su previsible disminución durante su compostaje a valores por debajo de 400 mg kg^{-1} , recomendado por Zucconi y Bertoldi (1987), como contenido máximo de amonio en compost maduro.

4.1.2. Caracterización de las mezclas propuestas

Las características químicas de las dos mezclas diferentes elaboradas con restos de poda, solas y con la adición del 20 y el 5 por ciento de estiércol de vaca, al inicio y al final del experimento de autocalentamiento en columnas se muestran en la Tabla 4.4).

Respecto a las características iniciales de las mezclas, el contenido de humedad resultó mayor a medida que se aportó más estiércol vacuno, oscilando entre 59,1% de la mezcla 2 por sí misma, y 71,7% de la mezcla 1 con la adición del 20% de estiércol, estando en general dentro de un rango aceptable para el desarrollo del proceso de compostaje. Al concluir los ensayos, el valor final de humedad fue mayor que el inicial, a excepción de las muestras en las que se aportó el 20% de estiércol, en las que se experimentó una disminución. El mayor contenido final de humedad puede estar relacionado con la actividad microbiana, ya que cuando

ocurre la degradación de los compuestos orgánicos por la acción de los microorganismos se produce agua metabólica (Stoffanella y Kahn, 2001). La reducción de la humedad en las dos mezclas indicadas, puede ser debido a que presentan un porcentaje inicial de humedad por encima del rango óptimo.

Tabla 4.4. Características químicas de las mezclas de restos de poda, con diferentes proporciones de estiércol al inicio y final de los ensayos de autocalentamiento (media \pm desviación estándar).

Mezclas		Humedad (%)	MO (%)	pH	CE (mS·cm ⁻¹)
M1+20%	Inicial	71,7 \pm 1,48	82,1 \pm 1,00	7,10 \pm 0,04	2,74 \pm 0,02
	final	61,7 \pm 1,60	88,6 \pm 0,17	8,03 \pm 0,06	2,49 \pm 0,22
M2+20%	Inicial	67,8 \pm 1,32	80,2 \pm 1,29	7,53 \pm 0,08	2,50 \pm 0,10
	final	59,6 \pm 0,31	86,3 \pm 1,25	7,78 \pm 0,02	2,72 \pm 0,07
M1+5%	Inicial	64,9 \pm 0,44	90,5 \pm 0,12	6,75 \pm 0,01	2,09 \pm 0,03
	final	65,5 \pm 0,49	88,2 \pm 0,77	7,35 \pm 0,20	2,31 \pm 0,13
M2+5%	Inicial	59,7 \pm 1,10	87,5 \pm 0,34	7,22 \pm 0,03	2,15 \pm 0,04
	final	63,1 \pm 2,42	84,8 \pm 1,16	7,30 \pm 0,05	2,13 \pm 0,02
M1	Inicial	60,9 \pm 2,22	87,9 \pm 1,69	5,68 \pm 0,03	2,37 \pm 0,06
	final	69,1 \pm 1,39	87,8 \pm 0,04	7,75 \pm 0,03	2,25 \pm 0,01
M2	Inicial	59,1 \pm 0,84	86,5 \pm 0,05	6,74 \pm 0,01	2,14 \pm 0,02
	final	66,2 \pm 1,65	85,6 \pm 0,18	7,40 \pm 0,03	2,34 \pm 0,02

MO: materia orgánica

CE: conductividad eléctrica

En cuanto al contenido de materia orgánica, este disminuyó ligeramente en las mezclas sin estiércol, siendo más acentuada la diferencia en las muestras con un 5% de estiércol. Caso contrario se produjo con el aporte del 20% de estiércol, donde el contenido de materia orgánica aumentó en torno al 6%.

Acerca del pH, al final del ensayo se mostraron valores cercanos a 7,5. Según Suler y Finstein (1977), que estudiaron la relaciones pH-microorganismos existentes en el proceso de compostaje, valores por encima de 7,5 son síntoma de una buena descomposición de la materia orgánica y valores por debajo de 7 son indicativos de fenómenos anaeróbicos.

Por otro lado, la conductividad eléctrica (CE) tendió generalmente a aumentar durante el proceso debido a la mineralización de la materia orgánica, hecho que

produce un aumento de la concentración de nutrientes. Ocurre en la mezcla 1 con 20% de estiércol un descenso de la CE, lo que puede estar provocado por la humectación excesiva de la misma (Bueno y col., 2008).

4.2. EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA EN LAS MEZCLAS SELECCIONADAS

Al disponerse el material en el interior de las columnas, si las condiciones son las adecuadas, comienza la actividad microbiana. Inicialmente todo el material está a la misma temperatura, pero al crecer los microorganismos se genera calor aumentando la temperatura de la masa que está compostando. Por ello, la temperatura es una variable fundamental en el control del compostaje (Liang y col., 2003; Miyatake y col., 2006).

En la tabla 4.5 se muestra la densidad absoluta o real de las distintas mezclas iniciales introducidas en las columnas de reacción, que se sitúa entre 300 y 350 kg/m³, teniendo los materiales vegetales por si mismos la densidad más baja, con un valor de 312 kg/m³, mientras que la mezcla 2 con aporte del 5% de estiércol presenta la densidad más alta con 348 kg/m³.

Tabla 4.5. Características físicas de las mezclas al inicio dentro de las columnas de reacción (resultado \pm desviación estándar).

Inicio	Peso* (kg)	Altura (m)	Densidad** (kg/m ³)
M1+20% estiércol	1,25	0,26 \pm 0,01	318,6 \pm 8,8
M2+20% estiércol	1,25	0,26 \pm 0,01	318,6 \pm 8,8
M1+5% estiércol	1,5	0,29 \pm 0,00	338,9 \pm 4,2
M2+5% estiércol	1,5	0,28 \pm 0,00	348,0 \pm 0,0
M1	1,2	0,25	311,8
M2	1,2	0,25	311,8

*Peso correspondiente a muestra fresca.

**Densidad absoluta

Una vez definidas las características de las mezclas dentro de las columnas de reacción, procedemos al estudio de la evolución de la temperatura de autocalentamiento de las mismas.

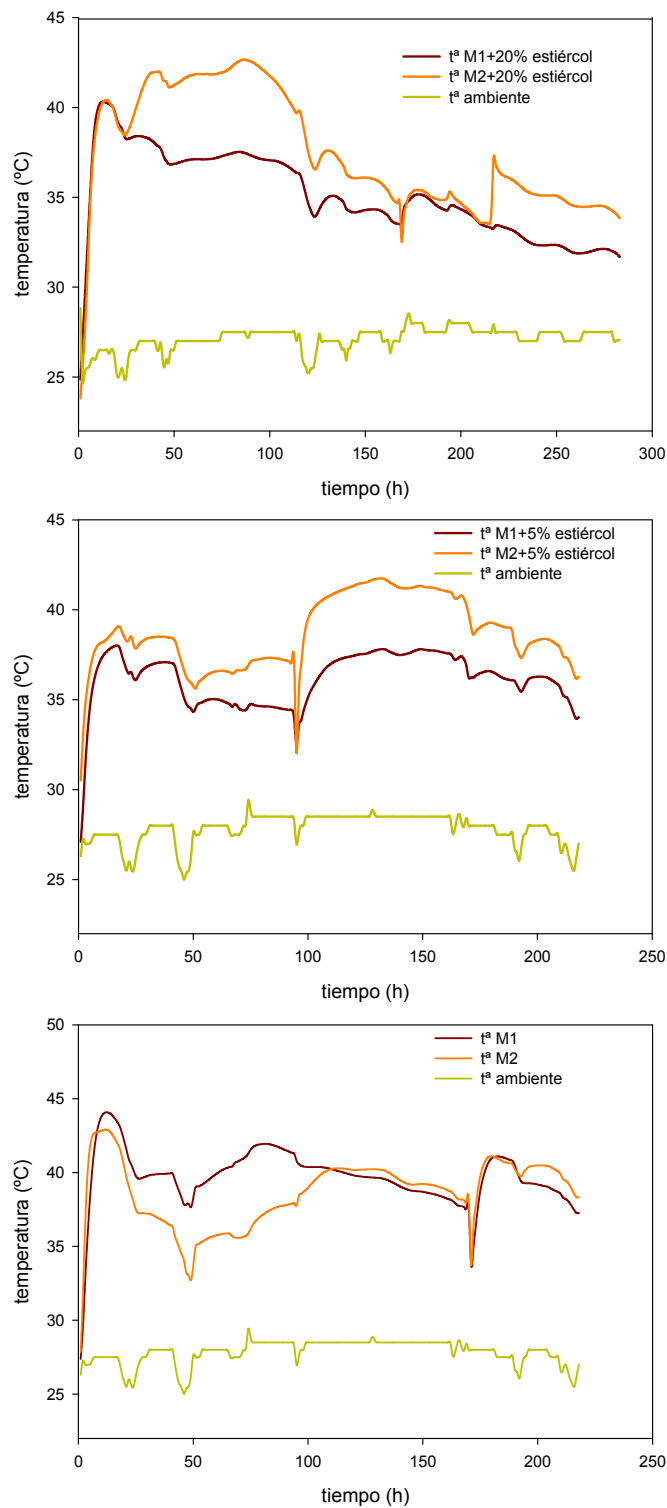


Figura 4.1. Evolución de la temperatura durante los ensayos de autocalentamiento.

Así, a partir de la lectura de temperaturas realizada durante la realización de los ensayos, se elaboraron las gráficas de evolución de la temperatura a lo largo del tiempo, correspondientes a cada una de las mezclas (Figura 4.1.).

En todos los casos, durante los primeros momentos del ensayo se produjo un importante aumento de la temperatura hasta alcanzar un primer pico en torno a las 15 horas. Esto refleja que el proceso de compostaje se inicia de forma muy rápida y que al principio la actividad microbiana es alta. Caso excepcional fue la mezcla 2 con 20% de estiércol, donde la temperatura máxima se alcanzó a las 87 horas, con 42°C. Esto puede relacionarse con el contenido en *Citrus aurantium*, existente sólo en la mezcla 2, en la que es el material de mayor porcentaje, dando lugar a un inicio más lento de la degradación de esta mezcla, lo que explicaría la presencia de los valores de máxima temperatura 72 horas más tarde que las otras mezclas.

Debido al descenso paulatino de la temperatura con el paso del tiempo, se realizó un volteo de las mezclas (a las 168 horas en mezclas con 20% de estiércol; a las 94 horas en mezclas con 5% de estiércol; a las 171 horas en mezclas solas), reactivándose la actividad, lo que se tradujo en un nuevo aumento de la temperatura.

4.2.1. Efecto de la adición de estiércol

Mientras que en los ensayos de autocalentamiento de los materiales por sí mismos la mezcla 1 alcanzó temperaturas más altas que la mezcla 2, en los ensayos con aporte de estiércol se invirtió dicha situación, presentando la mezcla 1 menores temperaturas que la mezcla 2 (Figura 4.1). Esto pone de manifiesto que la influencia del estiércol varía según las características de los restos vegetales con los que se mezcla, pues no produjo los mismos efectos sobre la mezcla 1 que sobre la mezcla 2.

Además, con el aporte del 5 % de estiércol, la temperatura de la mezcla se mantuvo dentro de un pequeño rango de forma más o menos constante durante todo el

proceso, mientras que cuando se aportó un 20% se observaron variaciones de temperatura más bruscas, ya que se alcanzaron temperaturas bastante más altas en la fase inicial que fueron disminuyendo progresivamente con el tiempo.

De forma general, se apreció que como consecuencia de la aportación de estiércol a la mezcla de restos vegetales, se produjo un descenso del primer pico de temperatura del orden de 5°C, tanto en la adición del 20 como del 5%. Si bien durante el resto del proceso pudo apreciarse una influencia diferente del estiércol según el porcentaje aportado. Así, cuando se aportó el 5% se produjo tras el volteo un importante aumento de temperatura llegando en el caso de la muestra 2 a superar la temperatura alcanzada en el primer pico, mientras que cuando se aportó el 20% apenas se consiguió el aumento de 1°C de temperatura después de voltear las mezclas.

También se puede apreciar que tanto la mezcla 1 como la 2 se comportan de manera muy similar en los diferentes ensayos en cuanto a la evolución de la temperatura. Caso excepcional fue el de la mezcla 2 con 20% de estiércol, en la que tras alcanzar un pico inicial de temperatura, esta disminuyó ligeramente para luego volver a aumentar a las pocas horas, cuando en la mezcla 1 se continuó un descenso paulatino hasta la fecha en que se produjo el volteo. Puede que dicho repunte se produjese por el *Citrus aurantium*, que no estaba presente en la mezcla 1, probablemente de nuevo por sufrir una descomposición más lenta, o que necesitara de una temperatura inicial más elevada para empezar a descomponerse.

4.2.2. Velocidad de calentamiento

En las primeras horas se produjo el aumento más significativo de la temperatura, con una subida de en torno a 20°C en tan solo unas 15 horas en la todas las mezclas estudiadas (Figura 4.1). Esto indica una velocidad de calentamiento bastante alta para estos materiales, hecho que puede resultar de gran interés de cara a su posible compostaje.

Además, tras ese pico de temperatura inicial, la evolución de la temperatura a lo largo del experimento fue muy gradual, siguiendo una tendencia descendente, muy lentamente hasta la realización del volteo aproximadamente a mitad de experimento, momento en que se produjo un nuevo repunte de la temperatura, que luego continuó decreciendo hasta la finalización del ensayo.

4.2.3. Capacidad de autocalentamiento

La Figura 4.2 representa el acumulado de la diferencia de temperatura en el interior de la muestra de reacción y la temperatura ambiente en relación con el peso seco de la muestra de las mezclas estudiadas a lo largo del ensayo de autocalentamiento. Esta relación se puede interpretar como una forma de estimar la capacidad de autocalentamiento de las mezclas, expresada por gramo de muestra. El mayor valor observado para este parámetro (6°C), se produjo en la mezcla 1 sin estiércol. Por el contrario, el menor valor (3°C) se obtuvo en la mezcla 1 con 5% de estiércol.

Como se ha indicado anteriormente, el aporte de estiércol produjo un efecto distinto en las mezclas 1 y 2. Esto puede apreciarse en la Figura 4.2, que muestra como en los ensayos realizados con los materiales sin estiércol, la mezcla 1 mostró una mayor capacidad de autocalentamiento que la mezcla 2 ($6,03^{\circ}\text{C/g}$ y $4,84^{\circ}\text{C/g}$, respectivamente), mientras que en los casos en los que se aportó estiércol este valor fue más alto en la mezcla 2, como el $5,16^{\circ}\text{C/g}$ que resultó de la mezcla 2 con 5% de estiércol.

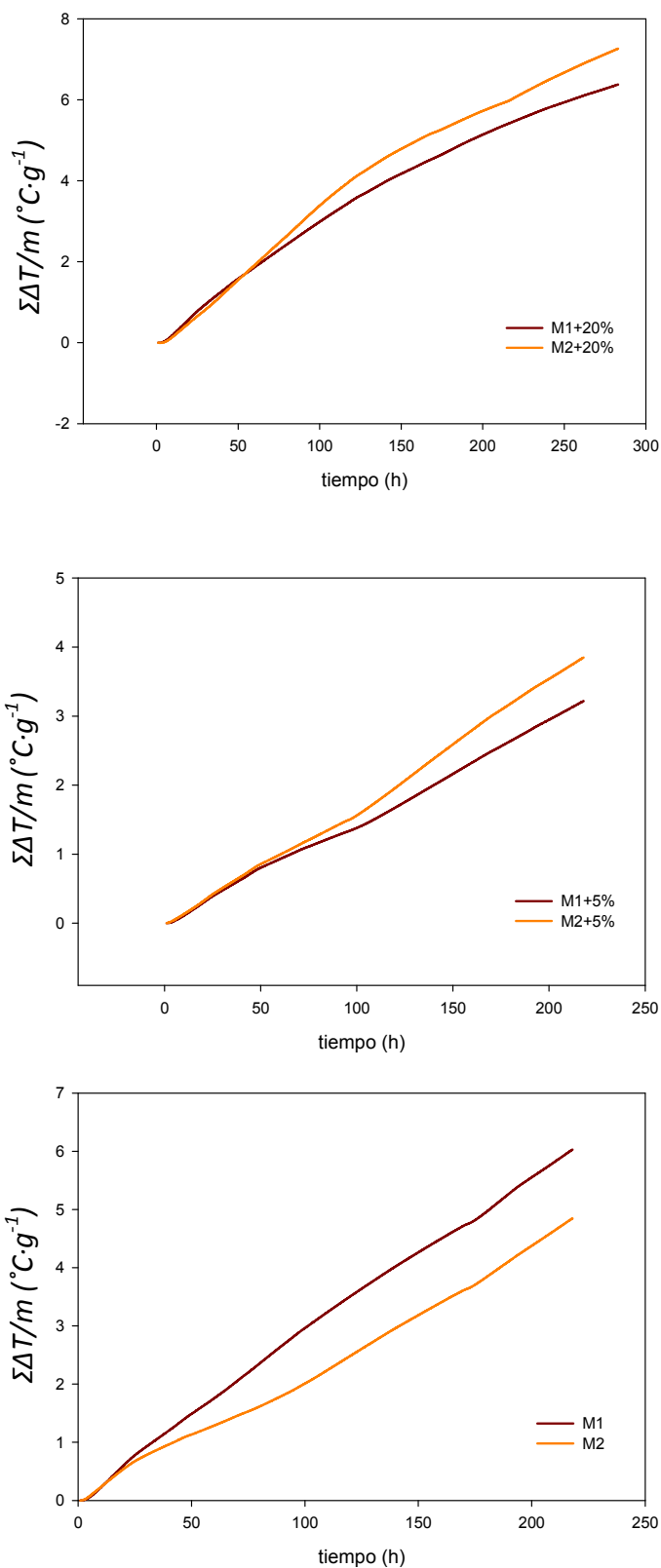


Figura 4.2. Relación entre diferencia de temperaturas acumulada ($^{\circ}\text{C}$) y el peso seco de la mezcla (g).

4.2.4. Potencial energético producido durante el autocalentamiento

La energía producida por los microorganismos (q), responsable del aumento de la temperatura en el proceso de compostaje, se ha calculado considerando la capacidad de calor específico del compost ($C_{p_{\text{compost}}}$) de acuerdo con Sundberg (2005). Para ello se determinó el aumento de la temperatura del agua después de la inmersión de una bolsa de compost (a 100 °C) teniendo en cuenta que:

$$q_{\text{compost}} = m_c \cdot C_{p_c} \cdot (100 - T_f)$$

$$q_{\text{agua}} = m_{\text{agua}} \cdot C_{p_{\text{agua}}} \cdot (T_i - T_f)$$

Donde m_c y m_w son la masa de compost y el agua, respectivamente; C_{p_c} y C_{p_w} son la capacidad de calor específico del compost (por determinar) y agua ($4,184 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$), respectivamente; T_i es la temperatura de agua a temperatura ambiente y T_f la temperatura final después de sumergir la bolsa climatizada de compost, siendo $T_f > T_i$. La energía adquirida en el agua va a ser igual a la energía que se pierde en el compost:

$$|q_{\text{compost}}| = |q_{\text{agua}}|$$

Entonces, una vez conocido el calor específico del compost ($C_{p_{\text{compost}}}$) se puede calcular la energía producida por la actividad microbiana durante la prueba de autocalentamiento mediante la siguiente expresión:

$$q(\text{J}) = m_{\text{compost}} \cdot C_{p_{\text{compost}}} \cdot \sum \Delta T$$

El potencial energético producido por los microorganismos durante el ensayo de autocalentamiento se muestra en la Tabla 4.6. Donde se puede apreciar que al final de los ensayos de las mezclas seleccionadas éste oscila entre 13.142 KJ y 7.334 KJ, siendo la mezcla 1 sin estiércol y la mezcla 2 con aporte del 20% de estiércol las que mayor energía produjeron; el caso contrario se produjo en las mezclas con un 5% que mostraron los valores más bajos.

Las mayores producciones de energía en el primer día de experimento se mostraron en las mezclas sin aporte de estiércol y las menores en las mezclas con un 5% de estiércol. La rapidez de energía producida en el primer día de ensayo indica la existencia de una buena actividad microbiana que además se mantiene a un buen nivel a lo largo del experimento.

Tabla 4.6. Energía (q) producida por los microorganismos durante el autocalentamiento de las distintas mezclas.

tiempo (días)	q(kJ) M1+20%	q(kJ) M2+20%	q(kJ) M1+5%	q(kJ) M2+5%	q(kJ) M1	q(kJ) M2
1	1.366	1.307	850	997	1.622	1.599
2	2.812	3.108	1.766	2.060	3.126	2.719
7	8.371	10.868	5.603	7.392	10.195	8.789
9	10.087	12.679	7.334	9.610	13.142	11.927

4.3. OPTIMIZACION DE LA PROPORCIÓN DE MATERIALES VEGETALES-ESTIÉRCOL PARA SU COMPOSTAJE

La principal diferencia entre las mezclas 1 y 2, radica en que en la primera el material predominante es *Morus alba* y cuenta también con *Washingtonia robusta*, mientras que en la segunda domina *Citrus aurantium*, material no contenido en la otra mezcla.

A pesar de estar compuestas por restos vegetales con características diferentes, ambas mezclas presentan por sí mismas un patrón de comportamiento similar, alcanzando la mayor temperatura a las pocas horas del inicio del ensayo de autocalentamiento. Asimismo se detecta que las temperaturas alcanzadas por la mezcla 1 son ligeramente superiores a las de la mezcla 2.

Respecto al efecto que produce la adición de estiércol, este depende no sólo de la cantidad aportada del mismo, sino también de las características de la mezcla de restos vegetales. En primer lugar se observa que con el aporte de estiércol la mezcla 2 pasa a alcanzar temperaturas más altas que la mezcla 1.

Por un lado, cuando el aporte de estiércol es del 5%, las temperaturas más altas se alcanzan tras una aireación de la muestra (volteo) hacia la mitad del estudio. Por otro, cuando el aporte es del 20% la máxima temperatura se alcanza al principio, pero se mantiene durante un mayor periodo de tiempo que cuando no se aporta estiércol. Además, en la mezcla 2 la temperatura alcanza su valor más alto tres días más tarde que la mezcla 1. Esto puede relacionarse con el contenido en *Citrus aurantium*, que aunque tiene valores de degradabilidad más altos que las otras especies (alcanza mayores temperaturas reflejando una mayor actividad microbiana), presenta un inicio más lento de la descomposición de la materia orgánica, lo que explicaría la presencia de los valores de máxima temperatura más tarde que las otras mezclas (Liang y col., 2003; Miyatake y col., 2006).

Una vez analizado el perfil de temperatura de las dos mezclas en los diferentes ensayos, parece que para la mezcla 1, constituida por *Morus alba* (50%), *Jacaranda mimosifolia* (15%), *Tipuana tipu* (15%), *Washingtonia robusta* (15%) y *Cupressus sempervirens* (5%), la opción más adecuada es su compostaje sin aporte de estiércol vacuno, pues alcanza temperaturas más altas, manteniéndose estas más o menos constantes durante todo el ensayo.

Por su parte la mezcla 2, compuesta por *Citrus aurantium* (52%), *Morus alba* (21%), *Jacaranda mimosifolia* (11%), *Tipuana tipu* (11%) y *Cupressus sempervirens* (5%), alcanza temperaturas más altas cuando se aporta estiércol, presentado un comportamiento más adecuado cuando se añade un 5% de estiércol, ya que aunque la temperatura es ligeramente inferior a la mezcla con el 20%, esta se mantiene constante a lo largo del tiempo.

5. CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos de los ensayos realizados en laboratorio bajo condiciones experimentales normalizadas, se desprenden las siguientes conclusiones.

1. Desde el punto de vista del compostaje hay que remarcar que los restos de poda analizados individualmente por especie:
 - presentan un contenido hídrico muy variable, un elevado contenido de materia orgánica y, generalmente, poseen un porcentaje de C elevado mientras que el de N suele ser bajo, dando lugar a una relación $C/N_{química}$ alta, aunque con notables diferencias según el residuo.
 - se encuentran constituidos por un elevado contenido de lignina, apreciándose que a medida que se incrementa el contenido de carbono orgánico total poseen un mayor porcentaje de lignina.
 - reflejan que el contenido de Ca, K, Mg y S predomina frente al contenido en Mn, Al y Na en cuanto su concentración de macro y micronutrientes. Igualmente pone de manifiesto que las concentraciones de metales pesados (Cu, Pb y Zn) son en general muy bajas, y las de otros elementos traza potencialmente tóxicos (As, Cd, Cr y Ni) están por debajo del límite de detección. Acerca del contenido de $N-NH_4^+$, este se presenta en concentraciones muy bajas.
2. Al finalizar los ensayos de autocalentamiento de las mezclas realizadas de restos de poda con y sin la adición de estiércol se observó que, en general, durante el proceso aumentó el porcentaje de humedad y disminuyó el de materia orgánica (mezclas sin estiércol y 5% de estiércol), produciéndose el efecto contrario en las mezclas con un 20%. El aumento de la humedad se debe a que cuando ocurre la degradación de los compuestos orgánicos por la acción de los microorganismos se produce agua metabólica, mientras que la reducción de humedad en casos concretos puede ser debida a que los restos presentan

un porcentaje inicial de humedad por encima del rango óptimo dificultando su degradación.

3. La evolución de la temperatura de las dos mezclas seleccionadas mostró que presentan un patrón de comportamiento similar, produciéndose con y sin adición de estiércol un importante aumento inicial de la temperatura hasta alcanzar un primer pico en torno a las 15 horas, debido a una alta actividad microbiana. Después, la temperatura disminuyó paulatinamente hasta la realización de un volteo de las muestras, produciéndose un repunte de la misma.
4. El efecto que produce la adición de estiércol depende no sólo de la cantidad aportada del mismo, sino también de las características de la mezcla de restos vegetales. Con el aporte de estiércol del 5%, las temperaturas más altas se alcanzan tras una aireación de la muestra (volteo) hacia la mitad del estudio, mientras que con el 20% la máxima temperatura se alcanza al principio, manteniéndose durante un mayor periodo de tiempo que cuando no se aporta estiércol.
5. La capacidad de autocalentamiento de los restos vegetales por sí mismos es ligeramente superior en la mezcla 1 (octubre-diciembre) que en la mezcla 2 (enero-febrero), pero con el aporte de estiércol la mezcla 2 pasa a alcanzar temperaturas más altas que la mezcla 1.
6. El potencial energético producido por los microorganismos durante el ensayo de autocalentamiento oscila entre 13.142 KJ y 7.334 KJ. Las mayores producciones de energía en el primer día de experimento se mostraron en las mezclas sin aporte de estiércol y las menores en las mezclas con un 5% de estiércol. La rapidez de energía producida en el primer día de ensayo indica la existencia de una buena actividad microbiana que además se mantiene a un buen nivel a lo largo del experimento.

7. Parece que para la mezcla 1, constituida por *Morus alba* (50%), *Jacaranda mimosifolia* (15%), *Tipuana tipu* (15%), *Washingtonia robusta* (15%) y *Cupressus sempervirens* (5%), la opción más adecuada es su compostaje sin aporte de estiércol vacuno, pues alcanza temperaturas más altas, manteniéndose estas más o menos constantes durante todo el ensayo.

8. La mezcla 2, compuesta por *Citrus aurantium* (52%), *Morus alba* (21%), *Jacaranda mimosifolia* (11%), *Tipuana tipu* (11%) y *Cupressus sempervirens* (5%), alcanza temperaturas más altas cuando se aporta estiércol, presentado un comportamiento más adecuado cuando se añade un 5% de estiércol, ya que aunque la temperatura es ligeramente inferior a la mezcla con el 20%, esta se mantiene constante a lo largo del tiempo.

6. BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA

Abad, M. y Puchades, R. (2002). Compostaje de residuos orgánicos generados en la hoya de buñol (Valencia) con fines hortícola. Asociación para la Promoción Socioeconómica Interior Hoya de Buñol, Valencia.

Aitken, I.; Cadel F. y Voillot, C. 1988. Constituants fibreux des pates papiers et cartons pratique de l'analyse, 1st edition. Pratique de l'analyse, Centre Technique du Papier, Grenoble.

ANSI/ASTM-American National Standards Institute. 1977a. Standard test methods for lignin wood. D 1106-56. American National Standard, Washington DC.

ANSI/ASTM- American National Standards Institute. 1977b. Standard test methods for alpha-cellulose in wood. D 1103-60. American National Standard, Washington DC.

Bernal, M.P. y Gondar, D.M. 2008. Producción y gestión de los residuos orgánicos: situación actual a nivel mundial, comunitario y estatal. En: J. Moreno, y R. Moral (Eds.). Compostaje. Madrid: Mundiprensa. pp. 10-41.

Blázquez, M.A. 2003. Capítulo XV. Los residuos agrícolas y de origen animal. En: Los residuos urbanos y asimilables. Consejería de medio ambiente. Junta de Andalucía.

Blumenthal, K. 2011. Generation and treatment of municipal waste. Eurostat. Statistics in focus 31/2011. Environment and energy.

Boldrin, A., 2009. Environmental assessment of garden waste management. PhD thesis, Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark. URL: <http://www2.er.dtu.dk/publications/fulltext/2009/ENV2009-189.pdf>.

- Boldrin, A. y Christensen, T. 2010. Seasonal generation and composition of garden waste in Aarhus (Denmark). *Waste Management* 30: 551–557.
- Boletín de Actualidad Europea de Castilla y León, nº 125-15 septiembre de 2010.p. 161. URL: http://www.jcyl.es/web/jcyl/binarios/980/296/BAE%20125%2015%20septiembre.pdf?blobheader=application%2Fpdf%3Bcharset%3DUTF8&blobheadername2=JCYL_AsuntosEuropeos&blobheadervalue1=attachment%3Bfilename%3DBAE12515septiembre%2C0.pdf&blobheadervalue2=JCYL_AsuntosEuropeos&blobnocache=true.
- Brinton, W.F.; Evans, E.; Droffner, M.L y Brinton, R.B. 1995. Standardized test for evaluation of compost self-heating. *BioCycle* 36: 64-69.
- Brinton, W.F. 2000. Compost quality Standards and Guidelines: An International View. Woods End Research Laboratory. USA.
- Brown, A., 1985. Review of lignin in biomass. *Journal of Applied Biochemistry* 7: 371-387.
- Browning, B.L. 1967. Methods of Wood Chemistry. Interscience Publishers, New York, USA, 395.
- Bueno, P.; Díaz, M.J. y Cabrera, F. 2008. Factores que afectan al proceso de compostaje. En: J. Moreno, y R. Moral (Eds.). Compostaje. Madrid: Mundiprensa. pp. 10-41.
- Cerdá, E.; Caparrós, A. y Ovando, P. 2008. Bioenergía en la Unión Europea. *Ekonomiaz*, 67, 1er cuatrimestre, 156-181.
- Colberg, P.J., 1988. Anaerobic microbial degradation of cellulose, lignin, oligolignols, and monoaromatic lignin derivates. En: Zehnder, A.J.B. (Ed.), *Biology of Anaerobic Microorganisms*, 333-372. Wiley, USA.

Costa, F.; García, C.; Hernández, T. y Polo, A. 1991. Residuos orgánicos. Manejo y utilización. CSIC, Madrid.

Dickson, N.; Richard, T. y Kozlowski, R. 1991. Composting to Reduce the Waste Stream: A Guide to Small Scale Food and Yard Waste Composting. Available from the Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Cornell University, 152 Riley-Robb Hall, Ithaca.

EEA-European Environmental Agency, 1995. Europe's environment: The Dobbris Assessment-An overview. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark. URL: <http://www.eea.europa.eu/publications/92-826-5409-5> (08/07/13).

EEA-European Environmental Agency, 2006. What is waste? European Topic Centre on Resource and Waste Management. URL: <http://scp.eionet.europa.eu/themes/waste> (31/08/13).

EEA-European Environmental Agency, 2013. Municipal waste management in Spain. Prepared by Alexandra Maria Almasi and Leonidas Milios. ETC/SCP. EEA project manager Almut Reichel.

Eurostat, 2005. Waste Generated and Treated in Europe: Data 1995–2003, Eurostat, Luxembourg.

Excmo. Ayuntamiento de Alcantarilla. 2013

Fiaboe, K.; Peterson, A.; Kairo, M. y Roda, A. 2012. Predicting the potential worldwide distribution of the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (olivier) (coleoptera: curculionidae) using ecological niche modeling. *Florida Entomologist* 95: 659-673.

García, L.; Guindeo, A.; Peraza, C. y de Palacios, P. 2003. La madera y su anatomía. Madrid: Fundación Conde del Valle Salazar, Mundiprensa y Aitim. pp.318.

García-Ortuño, M.T.; Andreu-Rodríguez, J.; Ferrandez García, M.T.; Ferrandez García, C.E.; Medina, E.; Paredes, C.; Pérez-Murcia, M.D. y Moreno-Caselles, J. 2013. Evaluation of the different uses of *Washingtonia robusta* pruning waste. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 44: 623-631.

Graves, R y Hattemer, G. 2000. National Engineering Handbook: Composting. <http://www.info.usda.gov/CED/ftp/CED/neh637-ch02.pdf>.

Gray, K.R., and A.J. Biddlestone. 1974. Decomposition of urban waste. As cited in: Richard, 1992. Municipal solid waste composting: Physical and biological processing. Biomass & Bioenergy. Tarrytown, NY: Pergamon Press. 3(3-4): 195-211.

Greenpeace España. 2009. Incineración de residuos: Malos humos para el clima.

Haug, R.T. 1993. The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers, Boca Raton, EE.UU.

Jeris, J.S. y Regan, R.W. 1973. Controlling Environmental Parameters for Optimum Composting. Part II. *Composting Science* 14:8-15

Kempers, A.J. y Zweers, A. 1986. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate method. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 17: 715-723.

Liang C.; Das K.C.; McClendon R.W. 2003. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Bioresource Technology* 86 131–137.

López, M. y Boluda, R., 2008. Residuos agrícolas. En: J. Moreno, y R. Moral (Eds.). Compostaje. Madrid: Mundiprensa, pp. 491-518.

Lund, H.F. 1996. Manual McGraw-Hill de reciclaje. Traducción y revisión técnica Juan Ignacio Tejero Monzón y col. McGraw-Hill de España, S.A. Madrid.

Lund, H.F. 1993. "Household Hazardous Wastes," The McGraw-Hill Recycling Handbook.

MAGRAMA-Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2011. Anuario de Estadística. URL: http://www.magrama.gob.es/estadistica/pags/anuario/2011/AE_2011_08_01.pdf (31/08/2013).

MAGRAMA-Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2013. Gestión de biorresiduos de competencia municipal: Guía para la implantación de la recogida separada y tratamiento de la fracción orgánica. Madrid.

Masaguer, A. y Benito, M. 2008. Evolución de la calidad del compost. En: J. Moreno, y R. Moral (Eds.). Compostaje. Madrid: Mundiprensa. pp. 284-304.

Masaguer, A.; De Antonio, R.; Benito, M.; Palma, R.M. y Arrigo, N.M. 1999. Compostaje, una alternativa tecnológica para el tratamiento de residuos verdes. *Gerencia ambiental* 60: 726–729.

Miljøstyrelsen. 2008. Affaldstatistik 2006. Orientering fra Miljøstyrelsen Nr. 2 (Waste statistics 2006, in Danish. Data generated by the Danish EPA-Environmental Protection Agency).

Ministerio Estatal de Baviera para el Desarrollo Provincial y Asuntos de Medio Ambiente. 1991. De residuos verdes a compost. Manual para el compostaje de residuos verdes. Editor en castellano: Cooperación Técnica Alemana (2001).

Miyatake F. y 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, J. y Mormeneo, S. 2008. Microbiología y bioquímica del proceso del compostaje. P. 110-140 En: J. Moreno, y R. Moral (Eds.). Compostaje. Madrid: Mundiprensa. pp. 111-140

- Otero del Peral, L. 1992. Residuos Sólidos Urbanos. Secretaria de Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. pp . 198
- Pérez, J.; Muñoz-Dorado, J.; de la Rubia, T y Martínez, J. 2002. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicelluloses and lignin: an overview. *International Microbiology* 5: 53–63.
- REC-Red Española de Compostaje. 2013. Residuos Agrícolas. Series REC: Materiales-Proceso-Producto (En preparación).
- Rueda, P. 2005. Compostaje con EM. Fundación de asesorías para el sector rural (FUNDASES).URL: <http://www.fundases.com/p/pub-compostaje01.html>.
- Schürmer, E. y Schemmer, G. 1990. Studie zur Erfassung und Kompostierung pflanzlicher Abfälle. Staatliche Versuchsanstalt für Gartenbau, Weißenstephan.
- Seoánez, M. 2000. Residuos (Problemática, descripción, aprovechamiento y destrucción). Madrid: Mundiprensa.
- Soliva, M. y López, M. 2004. Calidad de compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. Formación de técnicos para el tratamiento de lodos de depuradora. Valsaín, CENEAM-Centro Nacional de Educación Ambiental/MAGRAMA-Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Soliva, M.; López, M. y Huerta, O. 2008. Antecedentes y fundamentos del proceso de compostaje. En: J. Moreno, y R. Moral (Eds.). Compostaje. Madrid: Mundiprensa. pp. 76-92.
- Soliva, M.; López, M. y Huerta, O. 2012. Historia del compostaje vs situación y necesidades actuales. En documentación aportada de la asignatura “Antecedentes y Fundamentos del Proceso de Compostaje” del Máster

Universitario en Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos de la Universidad Miguel Hernández.

Stoffella P.J. y Kahn B.A. 2001. Compost utilization in horticultural cropping systems. Boca Raton, Florida.

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. *Applied and Environment. Microbiology* 33 (2): 345-350.

Sundberg, C. 2005. Improving Compost Porcess Efficiency by controllling Aeration, Temperature and pH. Dissertation. Swedish University of Agricultural Sciences.

Trigo Pérez M.M.; Sánchez de Lorenzo J.M.; López A. y Argimon de Vilardaga, X. 2002. Flora Ornamental Española. Volumen II. Coeditada por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. Mundiprensa y la Asociación Española de Parques y Jardines Públicos (AEPJP).

Trigo Pérez M.M.; Sánchez de Lorenzo J.M.; López A. y Argimon de Vilardaga, X. 2007. Flora Ornamental Española. Volumen V. Coeditada por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. Mundiprensa y la Asociación Española de Parques y Jardines Públicos (AEPJP).

Trigo Pérez M.M.; Sánchez de Lorenzo J.M.; López A. y Argimon de Vilardaga, X. 2010. Flora Ornamental Española. Volumen VI. Coeditada por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. Mundiprensa y la Asociación Española de Parques y Jardines Públicos (AEPJP).

Trigo Pérez M.M.; Sánchez de Lorenzo J.M.; López A. y Argimon de Vilardaga, X. 2013. Flora Ornamental Española. Volumen VII. Coeditada por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. Mundiprensa y la Asociación Española de Parques y Jardines Públicos (AEPJP). (En preparación).

UNEP-United Nations Environment Programme. 2005. Solid Waste Management (<http://www.unep.org/ietc/informationresources/solidwastemanagementpublications/tabid/79356/default.aspx>).

US Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook 60, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

Vigil, M.F. y Kissel, D.E. 1995. Rate of nitrogen mineralized from incorporated crop residues as influenced by temperature. *Soil Science Society of America Journal* 59:1636-1644.

Zucconi, F. y de Bertoldi, M. 1987. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. En: M. de Bertoldi y col. (Eds.). *Compost: Production, Quality and Use*. London: Elsevier Applied Science. pp 30-50.

WEBGRAFÍA

<http://www.arbolesornamentales.es>

http://www20.gencat.cat/portal/site/arc?newLang=es_ES

http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-SF-11-031/EN/KS-SF-11-031-EN.PDF

<http://www.reciclame.info/gestion-de-residuos-2/vertederos-controlados/>

NORMATIVA

Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril 1999, relativa al vertido de residuos.

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

Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados (BOE núm. 181 de 29 de Julio de 2011)

Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. (BOE nº 43 de 19/02/2002). Corrección de errores de la Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación y la lista europea de residuos (BOE nº61, 12/03/02).

Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

Resolución de 20 de enero de 2009, de la Secretaría de Estado de Cambio Climático, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba el **Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008-2015**.

Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.

UNE-EN 16087-2, 2012. Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación de la actividad aerobia. Parte 2: Ensayo de autocalentamiento para compost. AENOR.

ANEXOS

ANEXO I. INVENTARIO DE ARBOLADO Y PALMÁCEAS DEL TÉRMINO MUNICIPAL DE ALCANTARILLA AÑO 2013

Espece vegetal	unidades	Espece vegetal	unidades
<i>Acacia cyanophylla</i>	38	<i>Ligustrum vulgare</i>	75
<i>Acer negundo</i>	24	<i>Magnolia grandiflora</i>	1
<i>Albizia julibrissin</i>	90	<i>Melia azedarach</i>	44
<i>Brachychiton populneum</i>	239	<i>Morus alba</i>	1232
<i>Callistemon speciosus, C. citrinus</i>	3	<i>Neodopsis decaryi</i>	5
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	46	<i>Olea europaea</i>	64
<i>Catalpa bignonioides</i>	53	<i>Phoenix canariensis</i>	57
<i>Celtis australis</i>	6	<i>Phoenix dactylifera</i>	328
<i>Ceratonia siliqua</i>	3	<i>Phoenix robelenii</i>	2
<i>Cercis siliquastrum</i>	81	<i>Phoenix robelenii</i>	1
<i>Chamaerops humilis</i>	3	<i>Pinus halepensis</i>	17
<i>Chorisia speciosa</i>	1	<i>Pinus pinea</i>	1
<i>Citrus aurantium</i>	2166	<i>Pittosporum tobira</i>	1
<i>Citrus grandis</i>	1	<i>Platanus X hispanica</i>	215
<i>Citrus limon</i>	27	<i>Populus alba</i>	9
<i>Citrus sinensis</i>	17	<i>Populus nigra</i>	42
<i>Cupressus glabra</i>	5	<i>Prunus cerasifera pissardii</i>	7
<i>Cupressus macrocarpa "gold crest"</i>	6	<i>Prunus domestica</i>	2
<i>Cupressus sempervirens</i>	3138	<i>Prunus dulcis</i>	1
<i>Cupressus sempervirens "stricta"</i>	5	<i>Punica granatum</i>	7
<i>Cycas revoluta</i>	16	<i>Quercus ilex</i>	4
<i>Dracaena draco</i>	1	<i>Roystonea regia</i>	1
<i>Eriobotrya japonica</i>	4	<i>Salix babylonica</i>	1
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	52	<i>Schinus molle</i>	80
<i>Ficus benjamina</i>	8	<i>Strelitzia alba y augusta</i>	7
<i>Ficus carica</i>	9	<i>Syagrus romanzoffiana</i>	74
<i>Ficus elastica</i>	2	<i>Tipuana tipu</i>	732
<i>Ficus microcarpa</i>	611	<i>Trachycarpus fortunei</i>	55
<i>Gleditsia triacanthos</i>	3	<i>Ulmus minor</i>	109
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	849	<i>Washingtonia robusta</i>	996
<i>Juglans regia</i>	1	Total arbolado y palmáceas	11696
<i>Ligustrum japonicum</i>	18		

Fuente: Ayuntamiento de Alcantarilla, Área de servicios y mantenimiento, 2013.

ANEXO II. MÉTODOS ANALÍTICOS

A continuación se exponen los métodos analíticos llevados a cabo para la determinación de los siguientes parámetros químicos:

Humedad

Se determinó por triplicado el porcentaje de agua con respecto a muestra fresca (húmeda), por diferencia de peso entre material húmedo y seco (105 °C, 24 h; Figura II.1). La pérdida de peso experimentada se acepta como humedad, expresando el porcentaje de muestra respecto a peso húmedo.

Para el cálculo del contenido de humedad de la muestra se utilizó la siguiente fórmula:

$$\frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Siendo P_1 =peso húmedo de la muestra; P_2 =peso seco de la muestra.

El resto de resultados analíticos se corrigieron con estos valores para referirlos a peso seco.



Figura II.1. Muestras para determinar humedad.

Materia orgánica (MO)

Se considera como materia orgánica la pérdida de peso por calcinación a 430 °C de la muestra previamente seca a 105 °C. En nuestro caso, las muestras, una vez que fueron secadas a 105°C, se calcinaron por espacio de 8 h a 500°C, se dejaron enfriar en un desecador y se pesaron (Figura II.2). La pérdida de peso se expresa como porcentaje respecto a muestra seca.



Figura II.2. Muestras para determinar materia orgánica.

El contenido de materia orgánica de la muestra se calculó mediante la fórmula:

Siendo el peso perdido la diferencia de peso que se produce cuando se calcina la muestra seca en la mufla (peso muestra calcinada - peso muestra seca a 105°C).

Las determinaciones de materia orgánica se han realizado por triplicado.

pH

Determinación del pH en extracto acuoso utilizando un pH-metro con electrodo de vidrio (US Salinity Laboratory Staff, 1954).

Procedimiento

En un tubo de centrifuga pesar 2 g de muestra y añadir 20 ml de agua destilada (relación 1:10 p/v). Agitar mecánicamente durante 2 horas. El pH se mide en el sobrenadante con un electrodo de vidrio.

Conductividad eléctrica

Determinación de la conductividad en extracto acuoso mediante un puente de conductividad.

Procedimiento. Se determina sobre el extracto anterior (extracto acuoso 1:10 p/v), previamente centrifugado y filtrado, con un puente de conductividad.

Carbono orgánico total (C) y nitrógeno total (NT)

Las concentraciones de C orgánico y N total de las muestras se determinaron en un analizador elemental. Para ello las muestras secas al aire se molieron de nuevo en un molinillo eléctrico hasta conseguir una completa homogeneización. Se pesaron 2-4 mg de muestra con precisión de 0,001 mg en cápsulas de estaño, y una vez cerradas se introdujeron en el analizador elemental (EuroEA Elemental Analyzer, Eurovector, Milán, Italia) previamente calibrado con un estándar apropiado (atropina), que mide el CO₂ y el N₂ producidos al quemar la muestra a 1020°C en un detector de conductividad térmica previa separación cromatográfica (Figura II.3).



Figura II.3. Proceso para determinar C y NT.

Nitrógeno en forma amónica (N-NH₄⁺)

Extracción con cloruro potásico y medida espectrofotométrica de la intensidad de coloración verde del complejo producido al reaccionar con salicilato sódico en presencia de dicloroisocianurato sódico como fuente de cloro, nitroprusiato sódico como catalizador y citrato sódico como complejante de calcio y magnesio para evitar su precipitación como hidróxidos a valores de pH mayores de 12 (Kempers y Zweers, 1986).

Reactivos	- KCl 2 M - (NH ₄) ₂ SO ₄
Reactivo A (se prepara el mismo día)	- Salicilato sódico: 7,813 g - Nitroprusiato sódico: 20 mg - Agua destilada: hasta 100 mL
Reactivo B	- Dicloroisocianurato sódico: 0,5 g - NaOH: 4,0 mg - Agua destilada: hasta 100 mL (pH 13)
Reactivo C	- Citrato sódico: 9,33 g/100mL

Se realiza una extracción de la muestra fresca con KCl 2 M en proporción 1:20, sólido/líquido. Se agita mecánicamente durante 2 horas, se centrifuga y se filtra con papel lavado a los ácidos. Se toman 0,4 ml del extracto a los que se añaden 1,6 ml de reactivo A, 6,4 ml de H₂O destilada, 0,8 ml de reactivo C y 0,8 ml de reactivo B como fuente de cloro. La mezcla se agita y se deja reposar 45 minutos en oscuridad. La determinación del N-NH₄⁺ se realizó espectrofotométricamente ($\lambda = 660$ nm) respecto a una recta patrón (de 5 a 25 ppm N-NH₄⁺) preparada a partir de una disolución de sulfato amónico 14,23 mM (equivalente a 400 ppm de N-NH₄⁺).

Lignina

Se considera como lignina el residuo insoluble que queda después de un ataque ácido de la muestra y se determina según la norma ANSI/ASTM D 1106-56 (American National Standards Institute, 1977a).

Reactivos	- H ₂ SO ₄ 72 %
------------------	---------------------------------------

Se pesa 1 g de muestra (W_1) en un vaso de 100 ml, se mezcla bien con 15 ml de H₂SO₄ al 72% y se deja en contacto durante toda la noche. Se trasvasa el contenido del vaso a un matraz redondo de 1000 ml y se añade 560 ml de agua destilada para diluir el H₂SO₄ del 72% al 3%.

El matraz se conecta a un refrigerante y se mantiene a ebullición durante 4 horas, al cabo de las cuales se deja sedimentar el sólido y se filtra a vacío en una placa filtrante, secado en estufa a 105 °C y pesado (W_2). El sólido filtrado se lava con agua destilada caliente hasta que el pH del agua de lavado no sea ácido, se seca en estufa a 105 °C durante 12 horas y se pesa (W_3). El sólido seco se calcina en mufla a 430 °C durante 24 horas para conocer su contenido en materia orgánica (MO_L). El contenido en lignina se calcula con la siguiente expresión:

donde % H es el porcentaje de agua con respecto a muestra seca al aire y molida.

Holocelulosa

Al producto obtenido después de la deslignificación de la muestra se le llama holocelulosa y se determina según la técnica descrita por Browning (1967).

Reactivos	- Acido acético glacial - NaClO ₂
------------------	---

Se pesan 2 g de muestra (W_1), con precisión de 0,0001 g, en un matraz Erlenmeyer de 250 ml de capacidad y se añaden 63 ml de agua destilada. A la suspensión se le añaden 0,2 ml de ácido acético glacial y 0,6 g de clorito sódico. Se cubre con un vidrio de reloj y se introduce en un baño de agua a 70-80 °C durante 1 hora, agitando de vez en cuando. Este proceso se repite dos veces más. Al finalizar la tercera hora, se coloca el

Erlenmeyer en un baño de agua-hielo hasta que la temperatura baje a 10 °C. Se filtra a vacío en placa filtrante seca y previamente pesada (W_2) y se lava con agua destilada hasta la eliminación de la coloración amarilla. Posteriormente se lava con agua desionizada caliente, se deja secar a 60 °C y se pesa (W_3).

Al sólido obtenido se le determinan los porcentajes de humedad (% H_{Hol}) y de materia orgánica (MO_{Hol}) del mismo modo que en los apartados 4.2.2 y 4.2.3, respectivamente. El contenido de holocelulosa se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

donde % H es el porcentaje de agua con respecto a muestra seca al aire y molida.

Celulosa

Se determina según la norma ANSI/ASTM (American National Standards Institute, 1977b).

Reactivos	- NaOH 17,5 % - NaOH 8,3 % - Ácido acético 10 %
------------------	---

Se pesa 1 g de holocelulosa (W_1) secada al aire con precisión de 0,0001 g en un Erlenmeyer de 100 ml. Se añaden 5 ml de NaOH 17,5 % mezclando con una varilla de vidrio. Cada 5 minutos se añaden 2,5 ml de NaOH 17,5 % hasta consumir un total de 12,5 ml, y se mantiene 30 minutos a temperatura ambiente. Se añaden 16,5 ml de agua destilada a 20 °C para diluir de NaOH 17,5 % a 8,3 %, se mezcla bien y se mantiene durante 1 hora a temperatura ambiente.

Se filtra a vacío en una placa filtrante de peso conocido (W_2) y se lava con 50 ml de NaOH 8,3% y posteriormente con agua desionizada. Se repite el lavado con NaOH 8,3% y agua desionizada dos veces. Se corta la succión y se añaden 7,5 ml de ácido acético 10 % y se deja en contacto 3 min. Se vuelve a conectar el vacío y se lava con

agua desionizada hasta neutralidad del filtrado. Se seca a 105 °C en estufa durante 12 horas y se pesa (W_3).

Se calcula el contenido en materia orgánica del sólido obtenido (% MO_{Cel}), de acuerdo con el apartado 4.2.3 y el contenido en celulosa se calcula con la expresión:

Hemicelulosa

La holocelulosa se considera la suma de la hemicelulosa y la celulosa, por lo tanto el contenido en hemicelulosa se calcula por diferencia entre la holocelulosa y la celulosa.