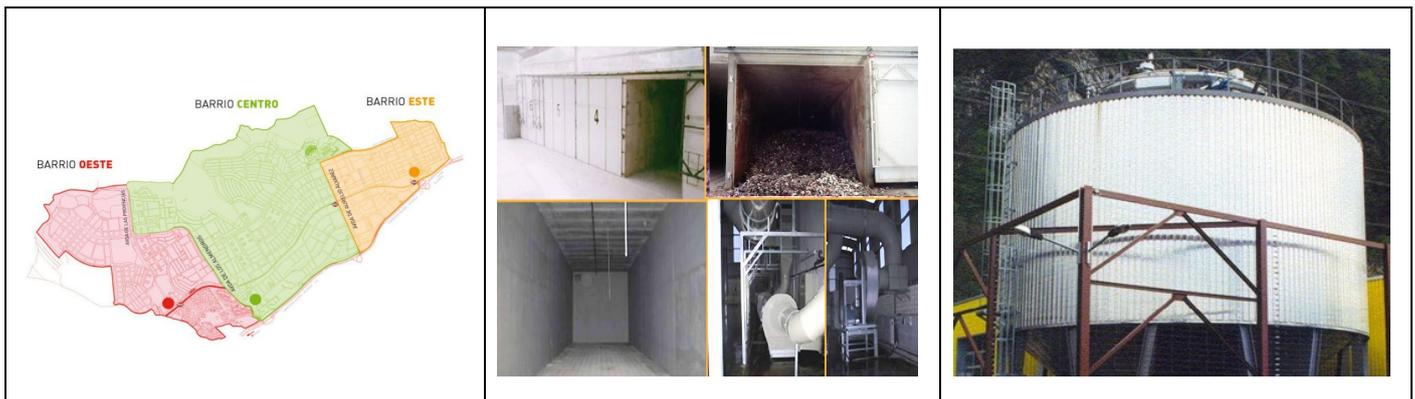


**ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA LA
IMPLANTACIÓN DEL 5º CONTENEDOR EN EL
MUNICIPIO DE RIVAS-VACIAMADRID (MADRID)**



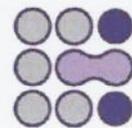
SANDRA MAGALLARES BACHILLER

2016



ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

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



**ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA LA
IMPLANTACIÓN DEL 5º CONTENEDOR EN EL
MUNICIPIO DE RIVAS-VACIAMADRID (MADRID)**

Vº Bº DIRECTOR

Alberto Masaguer Rodríguez

ALUMNO

Sandra Magallares Bachiller



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

Se autoriza a la alumna **D^a. Sandra Magallares Bachiller**, a realizar el Trabajo Fin de Máster titulado: “Alternativas de tratamiento para la implantación del 5º contenedor en el municipio de Rivas-Vaciamadrid (Madrid)”, bajo la dirección de D. Alberto Masaguer Rodríguez, debiendo cumplir las normas establecidas para la redacción del mismo que están a su disposición en la página Web específica del Master.

Orihuela, 19 de julio de 2016

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

Fdo.: Concepción Paredes Gil



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

REFERENCIAS DEL TRABAJO FIN DE MASTER

IDENTIFICACIONES

Autor: Sandra Magallares Bachiller

Título: Alternativas de tratamiento para la implantación del 5º contenedor en el municipio de Rivas-Vaciamadrid (Madrid)

Title: Treatment alternatives for the implementation of the 5th container in the municipality of Rivas-Vaciamadrid (Madrid)

Director/es del TFM: Alberto Masaguer Rodríguez

Año: 2016

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

Tipo de proyecto: Trabajo Fin de Máster (TFM)

Palabras claves: Rivas-Vaciamadrid; biorresiduos; quinto contenedor; compostaje; compost; digestión anaerobia; material bioestabilizado; recogida separada; sustrato de cultivo; enmienda orgánica; recuperación de suelos degradados

Keywords: Rivas-Vaciamadrid; biowaste; fifth container; compost; anaerobic digestion; bio-stabilized materials; separate collection; culture substrate; organic amendment; recovery of degraded soils

Nº citas bibliográficas: 78

Nº de planos: 0

Nº de tablas: 44

Nº de figuras: 41

Nº de anexos: 3

RESUMEN

Conforme la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, transpuesta por la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, la cual establece que antes de 2020 la cantidad de residuos domésticos y comerciales destinados a la preparación para la reutilización y el reciclado de las fracciones de papel, metales, vidrio, plástico, biorresiduos u otras fracciones reciclables deberá alcanzar, en conjunto, como mínimo, el 50% en peso. Junto a la importancia de los biorresiduos en los residuos municipales (50% corresponde a la fracción orgánica de los RSU de España), hacen que con su reciclaje se consiga el cumplimiento de la normativa.

Por ello, en este Trabajo Fin de Máster se pretende determinar una o varias alternativas de tratamiento que aseguren el cumplimiento de la normativa, para poder asegurar en un futuro la correcta implantación del quinto contenedor en el municipio de Rivas-Vaciamadrid. Una vez seleccionada una alternativa de tratamiento óptima, se ha procedido al análisis de alternativas para dar salida al producto obtenido.

Para abordar de forma adecuada la recogida de biorresiduos se ha realizado un estudio de la situación actual del municipio como geografía, demografía, distribución de la vivienda, etc. Además de un estudio que refleja la gestión actual de los RSU, su cantidad, características, etc. A partir de una previa recopilación de información mediante bases de datos como el Instituto Nacional de Estadística, el catálogo de empresas del ayuntamiento de Rivas-Vaciamadrid, e información interna facilitada por la empresa Rivamadrid.

Partiendo de esta información, se han estudiado las alternativas más óptimas de tratamiento para el biorresiduo estimado en el municipio, estableciéndose el tratamiento aerobio mediante compostaje o la obtención de bioestabilizado como las más adecuadas. El reciclaje del material bioestabilizado se considera una alternativa en el que el gasto de inversión es más escaso, mientras que el compostaje es un material higienizado, enmendante y estabilizado de gran valor para la recuperación de suelos y desarrollo vegetal, aunque más costoso.

El compost puede comercializarse como sustrato de cultivo o enmienda orgánica en las tres empresas de jardinería del municipio, o en parques y jardines públicos o privados. También en la recuperación de suelos degradados en el Parque Regional del Sureste, mientras que los usos del material bioestabilizado son más limitados, pudiendo emplearse en sellado de vertederos y escombreras, rehabilitación de suelos degradados o relleno como tierra vegetal para obras.

ABSTRACT

In the Directive 2008/98 / EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008, transposed by Law 22/2011, of 28 July, waste and contaminated soil, states that by 2020 the amount domestic and commercial for the preparation for reuse and recycling of fractions of paper, metals, glass, plastics, bio-waste or other recyclable waste fractions must reach collectively at least 50% by weight. Together with the importance of bio-waste in municipal waste (50% corresponding to the organic fraction of MSW of Spain), the normative compliance is achieved by recycling.

Therefore, this Master's Thesis is to determine one or more treatment alternatives to ensure the compliance normative, and ensure in future the correct implementation of the fifth container in the municipality of Rivas-Vaciamadrid. After selecting an optimal alternative treatment, we proceeded to the analysis of alternatives to use the product obtained.

To determine the above, has made a study of the current situation of the municipality as geography, demography, housing distribution, etc. In addition to a study reflecting current management of RSU, quantity, characteristics, etc. Through information from the National Institute of Statistics, Rivas-Vaciamadrid web page, and internal information provided by the company Rivamadrid.

With this information, we have studied the most optimal treatment options for biowaste estimated in the municipality, establishing the aerobic treatment by composting and obtaining bio-stabilized as the most appropriate. Recycling of bio-stabilized material is considered a cheap alternative, while composting is a sanitized and stabilized material for great value for soil remediation and plant development, although more expensive.

The compost can be marketed as organic substrate in the three landscaping companies in the municipality, or in parks and public or private gardens. Also in the recovery of degraded soils in the Southeast Regional Park, while bio-stabilized materials uses are more limited, and can be used in rehabilitation of degraded soils or topsoil for works.

ÍNDICE DE APARTADOS

	Páginas
1. RESUMEN	15
2. INTRODUCCIÓN	16
2.1. Marco legal vigente	18
<i>2.1.1. Normativa Europea</i>	18
<i>2.1.2. Normativa Estatal</i> ¹⁹	
<i>2.1.3. Normativa Autonómica</i>	21
<i>2.1.4. Normativa Municipal</i> ²¹	
2.2. Producción de residuos sólidos urbanos a nivel europeo, nacional y autonómico.	22
<i>2.2.1. Nivel europeo</i>	22
<i>2.2.2. Nivel nacional</i>	24
<i>2.2.3. Nivel autonómico</i>	24
2.3. Composición general de los residuos sólidos urbanos.	26
2.4. Gestión actual de los residuos sólidos urbanos.	27
<i>2.4.1 El reciclaje de RU en relación a otros sistemas de tratamiento</i>	29
2.5. Aproximación general de la fiscalidad de los residuos en España	31
<i>2.5.1. Tasas abonadas por los ciudadanos en determinados municipios</i>	32
<i>2.5.2. Costes de tratamiento de residuos urbanos en distintas localidades</i>	37
3. OBJETIVO DEL PROYECTO	38
4. ZONA DE ESTUDIO, MATERIAL Y MÉTODOS	39
4.1. Características de Rivas-Vaciamadrid relevantes para el estudio	39
<i>4.1.1. Geografía</i>	39
<i>4.1.2. Demografía</i>	40
<i>4.1.3. Distribución de la población y vivienda</i>	41
<i>4.1.4. Tipología de negocios</i>	43

4.2. Caracterización de los residuos municipales	44
4.2.1 Marco administrativo y contractual en materia de residuos	44
4.2.2. Generación de residuos	46
4.2.2.1. La fracción mezcla en el municipio y oportunidades de mejora	47
4.2.3. Características generales de los biorresiduos en el municipio	49
4.2.4. Evolución de la recogida separada	51
4.2.5. Servicio actual de recogida de residuos	54
4.2.5.1. Descripción del servicio de recogida en el municipio de Rivas-Vaciamadrid	54
4.2.5.2. Descripción del servicio de puntos limpios en el municipio	58
4.2.5.3. Costes de recogida y tratamiento de residuos	59
4.2.6. Lavado de contenedores	62
5. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO	63
5.1. Evaluación de las alternativas en materia de compostaje	63
5.1.1. Definición del proceso de compostaje	66
5.1.2. Sistemas abiertos	67
5.1.3. Sistemas cerrados	77
5.1.4. Rendimiento de la producción de compost y coste de mantenimiento de la planta de compostaje.	81
5.1.5. Resumen de alternativas	82
5.2. Evaluación de las alternativas en materia de digestión anaerobia	83
5.2.1. Definición del proceso de digestión anaerobia.	83
5.2.2. Elección del tipo de reactor.	85
5.2.3. Rendimientos de la producción de biogás	88
5.3. Evaluación de otro tipo de alternativas	90
5.4. Discusión de las alternativas de tratamiento	94
6. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO Y VALORIZACIÓN ÓPTIMA	99

7. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE APLICACIÓN DEL PRODUCTO OBTENIDO	101
7.1. Productos orgánicos estabilizados aeróbicamente. Compost.	101
7.1.1. <i>Formulación de sustratos de cultivo</i>	102
7.1.2. <i>Formulación de enmiendas o abonos orgánicos</i>	105
7.1.3. <i>Recuperación de suelos degradados</i>	108
7.1.4. <i>La supresión biológica, un valor añadido del compost</i>	114
7.2. Material bioestabilizado.	119
8. CONCLUSIONES	121
9. BIBLIOGRAFÍA	123
10. ANEXOS	132



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS

PÁGINA

Figura 1. <i>Generación de residuos urbanos (kg) por habitante en la Unión Europea en el año 2012. Fuente Eurostat.</i>	23
Figura 2. <i>Generación de residuos urbanos (kg) por habitante en la Unión Europea y España desde 1995 hasta 2011. Fuente Eurostat.</i>	24
Figura 3. <i>Residuos generados por categorías en la UE en 2008. Tomado de Eurostat.</i>	26
Figura 4. <i>Tratamiento de los residuos municipales en la UE y España durante el 2010. Datos tomados de Eurostat.</i>	28
Figura 5. <i>Ubicación geográfica del municipio de Rivas-Vaciamadrid. Tomado de Google Maps.</i>	39
Figura 6. <i>Plano del municipio de Rivas-Vaciamadrid. Tomado de la página web www.micasaenrivas.com/rivas/.</i>	40
Figura 7. <i>Evolución demográfica del municipio de Rivas-Vaciamadrid. Datos tomados de la página web del Instituto Nacional de Estadística (www.ine.es).</i>	41
Figura 8. <i>Fotografía del municipio de Rivas-Vaciamadrid. Tomado de Google Maps.</i>	41
Figura 9. <i>Fotografía del municipio de Rivas-Vaciamadrid. Tomado de Google Maps.</i>	42
Figura 10. <i>Fotografía del municipio de Rivas-Vaciamadrid. Tomado de Google Maps.</i>	42
Figura 11. <i>Fotografía del municipio de Rivas-Vaciamadrid. Tomado de Google Maps.</i>	42
Figura 12. <i>Fotografía del municipio de Rivas-Vaciamadrid. Tomado de Google Maps.</i>	43
Figura 13. <i>Recogida de residuos domésticos y voluminosos. Tomada de Rivamadrid (2014).</i>	44
Figura 14. <i>Recogida de residuos de la fracción papel y cartón, resto y envases, respectivamente. Tomada de Rivamadrid (2014).</i>	44
Figura 15. <i>Fotografías tomadas de los puntos limpios. Tomada de Rivamadrid (2014).</i>	45
Figura 16. <i>Recogida de restos de jardinería y podas. Tomada de Rivamadrid (2014).</i>	45
Figura 17. <i>Distribución porcentual en peso de los residuos de Rivas Vaciamadrid de 2014. Datos tomados de Rivamadrid (2014).</i>	46
Figura 18. <i>Distribución porcentual en peso de Residuos recogidos en Puntos Limpios en 2014. Datos proporcionados por Rivamadrid.</i>	46
Figura 19. <i>Evolución de la contenerización del 2008 al 2014.</i>	53
Figura 20. <i>Evolución porcentual de la contenerización del 2014 respecto del 2008.</i>	54
Figura 21. <i>Ruta 1, 2 y 3 respectivamente de residuos orgánicos y resto. Tomada de la página web de Rivamadrid.</i>	56
Figura 22. <i>Ruta 1 y 2 respectivamente de residuos de envases ligeros. Tomada de la página web de Rivamadrid.</i>	56

Figura 23. Ruta 1 y 2 respectivamente de residuos de papel y cartón. Tomada de la página web de Rivamadrid.	56
Figura 24. Recogida mensual fracción mezcla (Materia orgánica + resto) 2013-2014. Datos tomados de Rivamadrid (2014).	57
Figura 25. Ubicación geográfica del vertedero de la Mancomunidad del Este. Tomada de Google Maps.	58
Figura 26. Esquema orientativo de la Planta de Compostaje. Modificado de la página web www.madrid.es/ .	68
Figura 27. Dimensiones características para sistemas de pilas estáticas (Haugh, 1993).	70
Figura 28. Esquema orientativo de la distribución del espacio.	71
Figura 29. Sistema de Pilas Estáticas con aireación forzada (Wilson, 1980).	72
Figura 30. Evolución de distintos parámetros a lo largo del compostaje de la fracción orgánica de residuos municipales y restos de poda (Huertas et al 2008). Donde los datos 13, 14, 15, 16 y 17 se refieren a diferentes ensayos.	74
Figura 31. Túneles de compostaje. Tomado de Chica Pérez et al. (2015).	78
Figura 32. Fases del proceso de digestión anaerobia. Tomado de Nayono (2009).	84
Figura 33. Esquema de un sistema de digestión húmeda de una etapa. Tomado de Elías Castell et al. (2012).	87
Figura 34. Esquema de un reactor de flujo pistón, diseño Dranco. Tomado de Elías Castell et al. (2012).	87
Figura 35. Planta de digestión anaerobia de Villeneuve, Switzerland. Tomada de www.ows.be/biogas-plants/references .	88
Figura 36. Parámetros para clasificar el compost según el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.	92
Figura 37. Ubicación de las empresas dedicadas a la jardinería en Rivas-Vaciamadrid y la empresa de Rivamadrid. Tomado de Google Maps.	105
Figura 38. Pérdida del suelo peninsular. Modificado de la página web www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/descargar_mapa_perdidas_suelo.aspx .	109
Figura 39. Contenido en Materia Orgánica del suelo peninsular. Modificado del Amlinger et al., 2013.	109
Figura 40. Cantidad de materia seca en gramos por metro cuadrado de suelo generado en las diferentes parcelas de estudio. Tomado de Pascual Valero et al., 2015.	111
Figura 41. Mapa del parque regional del sureste. Tomado de la página web www.parquelineal.es/naturaleza-y-geologia/proteccion-patrimonio-medioambiental/ .	113

ÍNDICE DE TABLAS

TABLAS

PÁGINA

Tabla 1. <i>Generación de residuos por habitante y día en el año 2012. Datos tomados de Eurostat.</i>	23
Tabla 2. <i>Porcentaje de residuos urbanos, Índice de Desarrollo Humano (IDH), extensión territorial, número de habitantes y situación geográfica por comunidad autónoma en el año 2010. Datos tomados del INE.</i>	25
Tabla 3. <i>Estimación media de la composición de residuos sólidos urbanos (%). Tomado de Sánchez Ferrer et al., 2014.</i>	27
Tabla 4. <i>Tasa anual en función de los litros generados. Datos tomados de Amlinger et al. (2013).</i>	32
Tabla 5. <i>Tasa por prestación de servicio de recogida de residuos sólidos urbanos. Datos tomados de la Ordenanza fiscal reguladora da taxa por prestación do servizo de recollida de lixo e residuos solidos urbanos, del Ayuntamiento de Lugo de 20 de diciembre de 2005.</i>	34
Tabla 6. <i>Tasa por prestación de servicio de recogida de residuos sólidos urbanos. Datos tomados de la Ordenanza fiscal reguladora de las tasas por recogida, tratamiento y aprovechamiento o eliminación de residuos y demás actividades prestadas en relación con dicho servicio para el año 2015, de las Entidades Locales de Navarra.</i>	35
Tabla 7. <i>Tasa por prestación de servicio de recogida de residuos sólidos urbanos. Datos tomados de la Ordenanza fiscal reguladora de la tasa por servicios relativos al tratamiento de los residuos sólidos urbanos, del Ayuntamiento de Palma, el 1 de Enero de 2014.</i>	36
Tabla 8. <i>Tasa por prestación de servicio de recogida de residuos sólidos urbanos. Datos tomados de la Ordenanza fiscal reguladora de la tasa por recogida de basuras del ayuntamiento de Sestao</i>	36
Tabla 9. <i>Comparativa de precios de tratamiento de residuos en distintas localidades en el año 20013.Elaborado por Rivamadrid.</i>	37
Tabla 10. <i>Número de compostadores individuales y colectivos activos distribuidos en el municipio. Datos aportados por Rivamadrid.</i>	48
Tabla 11. <i>Resultados obtenidos de los parámetros analizados de la fracción de Biomasa en el laboratorio de EUROCONTROL S.A. y ENAC (IPROMA).</i>	50
Tabla 12. <i>Resultados obtenidos de metales pesados analizados de la fracción de Biomasa en el laboratorio de EUROCONTROL S.A. y ENAC (IPROMA).</i>	50
Tabla 13. <i>Evolución de la contenerización desde 2008 a 2014. Datos tomados de Rivamadrid (2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014).</i>	52
Tabla 14. <i>Horario de recogida de las tres fracciones de residuos del municipio de Rivas-Vaciamadrid.Datos proporcionados por Rivamadrid.</i>	57

Tabla 15. <i>Fracciones gestionadas en los dos Puntos Limpios y su respectiva cantidad. Datos proporcionados por Rivamadrid.</i>	59
Tabla 16. <i>Costes totales de residuos sólidos urbanos, puntos limpios, tasa de vertedero y coste total de todos ellos. Datos aportados por Rivamadrid.</i>	59
Tabla 17. <i>Desglose de costes totales anuales de residuos urbanos, vertedero y puntos limpios. Datos aportados por Rivamadrid.</i>	60
Tabla 18. <i>Costes totales de hogares, pequeño comercio, restauración, puntos limpios, actividades industriales y actividades comerciales. Datos aportados por Rivamadrid.</i>	61
Tabla 19. <i>Toneladas agregadas por tipo de servicio. Datos aportados por Rivamadrid.</i>	61
Tabla 20. <i>Número de unidades fiscales de vivienda, comercios e industrias, y densidad poblacional. Datos aportados por Rivamadrid.</i>	61
Tabla 21. <i>Resumen de los costes de la empresa. Datos aportados por Rivamadrid.</i>	62
Tabla 22. <i>Resultados obtenidos de los parámetros analizados de la fracción de Biomasa en el laboratorio de EUROCONTROL S.A. y ENAC (IPROMA).</i>	63
Tabla 23. <i>Resultados obtenidos de metales pesados analizados de la fracción de Biomasa en el laboratorio de EUROCONTROL S.A. y ENAC (IPROMA).</i>	65
Tabla 24. <i>Costes asociados al tratamiento de RSU mediante compostaje. Tomado de Flotats & Solé (2008).</i>	81
Tabla 25. <i>Clasificación de los sistemas de tratamiento anaerobio de la FORSU. Cada uno puede ser a su vez mesófilo o termófilo. Tomado de Elías Castell (2012).</i>	86
Tabla 26. <i>Rendimiento de la producción de biogás a partir del residuo digerido. Tomado de Xavier Elías (2012).</i>	89
Tabla 27. <i>Producción anual de biogás y electricidad de la planta de Botarell.</i>	89
Tabla 28. <i>Estimación aproximada de la producción de biogás que se obtendría a partir del biorresiduo de Rivas-Vaciamadrid.</i>	89
Tabla 29. <i>Costes asociados a la digestión anaerobia de RSU. Tomado de Flotats & Solé (2008).</i>	90
Tabla 30. <i>Resultados obtenidos de los parámetros analizados de la fracción de Biomasa en el laboratorio de EUROCONTROL S.A. y ENAC (IPROMA).</i>	91
Tabla 31. <i>Propiedades fisicoquímicas de la Fracción Orgánica de los residuos urbanos recogidos en masa y separados mecánicamente (FORSU-SM) y de la fracción orgánica separada selectivamente en origen (FORSU-SO). Tomado de López et al. (2010) y Huerta-Pujol et al. (2011)</i>	92
Tabla 32. <i>Requisitos del material bioestabilizado. Tomado del Decálogo para la utilización del material bioestabilizado y del compost no inscrito en el registro de productos fertilizantes mediante la operación R10, del 25 de junio de 2013.</i>	95

Tabla 33. Resumen de capacidad anual de residuos sólidos urbanos en plantas de digestión anaerobia en España y Francia. Diferenciando el material de entrada entre MOR (fracción orgánica procedente del RSU) y FORSU (fracción orgánica recolectada selectivamente). Datos tomados de Urbaser.	96
Tabla 34. Parámetros agronómicos y los metales pesados a analizar en el suelo receptor para las aplicaciones que superen la dosis de 5 t m.s./ha y año. Tomado del Decálogo para la utilización del material bioestabilizado y del compost no inscrito en el registro de productos fertilizantes mediante la operación R10, del 25 de junio de 2013.	97
Tabla 35. Valores límite de metales pesados en los suelos agrícolas receptores. Tomado del Decálogo para la utilización del material bioestabilizado y del compost no inscrito en el registro de productos fertilizantes mediante la operación R10, del 25 de junio de 2013.	98
Tabla 36. Producción comercial en tomate y melón comparando dos sustratos orgánicos. Tomado de Pascual Valero et al., 2015.	103
Tabla 37. Intervalos óptimos para las propiedades físicas de los sustratos de cultivo. Tomado de Pascual Valero et al., 2015.	104
Tabla 38. Parámetros de calidad caracterizados por las clases de compost. Tomado de Colegio Técnicos Agrícolas de Cataluña (2006).	106
Tabla 39. Guía de uso y aplicación según clases de los composts en los espacios verdes. Tomado de Colegio Técnicos Agrícolas de Cataluña (2006).	107
Tabla 40. Valores de algunos parámetros determinados en suelos degradados con compost obtenidos a partir de la fracción orgánica de residuos urbanos. Tomado de Pascual Valero et al. (2015).	112
Tabla 41. Resultados de los artículos revidados de compost que presentan capacidad supresora.	116
Tabla 42. Resumen de artículos revisados donde se muestra carácter antagónico por parte de determinados agentes de control biológico hacia fitopatógenos empleando compost a partir de la FORSU.	116
Tabla 43. Tabla resumen de artículos revisados donde se muestra carácter antagónico por parte de determinados agentes de control biológico hacia fitopatógenos.	117
Tabla 44. Enfermedades de los principales cultivos en la Comunidad de Madrid y sus respectivos fitopatógenos responsables. Tomado de aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/4218/mod_resource/content/0/Programa_de_FITOPATOLOGIA.pdf .	119

Listado de acrónimos

ACB_s: Agentes de Control Biológico

AMB: Área metropolitana de Barcelona

BTEX: Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno

COD: Carbono Orgánico Degradable

COT: Carbono Orgánico Total

CE: Conductividad Eléctrica

FORM: Fracción Orgánica de Residuos Municipales

FORS: Fracción Orgánica de Residuos Sólidos

FORSU: Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos

IBI: Impuesto sobre Bienes e Inmuebles

IDH: Índice de Desarrollo Humano

LIC: Lugar de Importancia Comunitaria

MAGRAMA: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

MOT: Materia Orgánica Total

PCB's: Bifenilos Policlorados

PCI: Poder Calorífico Inferior

RSU: Residuo Sólido Urbano

RDLLRHI: Ley Reguladora de las Haciendas Locales

sms: Sobre materia seca

TMTR: Tasa Metropolitana de Tratamiento de Residuos

UE: Unión Europea

ZEPA: Zona de Especial Protección para las Aves

ZPE: Zona de Protección Especial

1. RESUMEN

Conforme la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, transpuesta por la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, la cual establece que antes de 2020 la cantidad de residuos domésticos y comerciales destinados a la preparación para la reutilización y el reciclado de las fracciones de papel, metales, vidrio, plástico, biorresiduos u otras fracciones reciclables deberá alcanzar, en conjunto, como mínimo, el 50% en peso. Junto a la importancia de los biorresiduos en los residuos municipales (50% corresponde a la fracción orgánica de los RSU de España), hacen que con su reciclaje se consiga el cumplimiento de la normativa.

Por ello, en este Trabajo Fin de Máster se pretende determinar una o varias alternativas de tratamiento que aseguren el cumplimiento de la normativa, para poder asegurar en un futuro la correcta implantación del quinto contenedor en el municipio de Rivas-Vaciamadrid. Una vez seleccionada una alternativa de tratamiento óptima, se ha procedido al análisis de alternativas para dar salida al producto obtenido.

Para abordar de forma adecuada la recogida de biorresiduos se ha realizado un estudio de la situación actual del municipio como geografía, demografía, distribución de la vivienda, etc. Además de un estudio que refleja la gestión actual de los RSU, su cantidad, características, etc. A partir de una previa recopilación de información mediante bases de datos como el Instituto Nacional de Estadística, el catálogo de empresas del ayuntamiento de Rivas-Vaciamadrid, e información interna facilitada por la empresa Rivamadrid.

Partiendo de esta información, se han estudiado las alternativas más óptimas de tratamiento para el biorresiduo estimado en el municipio, estableciéndose el tratamiento aerobio mediante compostaje o la obtención de bioestabilizado como las más adecuadas. El reciclaje del material bioestabilizado se considera una alternativa en el que el gasto de inversión es más escaso, mientras que el compostaje es un material higienizado, enmendante y estabilizado de gran valor para la recuperación de suelos y desarrollo vegetal, aunque más costoso.

El compost puede comercializarse como sustrato de cultivo o enmienda orgánica en las tres empresas de jardinería del municipio, o en parques y jardines públicos o privados. También en la recuperación de suelos degradados en el Parque Regional del Sureste, mientras que los usos del material bioestabilizado son más limitados, pudiendo emplearse en sellado de vertederos y escombreras, rehabilitación de suelos degradados o relleno como tierra vegetal para obras.

2. INTRODUCCIÓN

Es importante señalar que el término de biorresiduos hace referencia a residuos vegetales de las zonas verdes y jardines, 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 del procesado de alimentos.

En base a la normativa Europea básica de residuos, la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, transpuesta por la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, establece que antes de 2020 la cantidad de residuos domésticos y comerciales destinados a la preparación para la reutilización y el reciclado de las fracciones de papel, metales, vidrio, plástico, biorresiduos u otras fracciones reciclables deberá alcanzar, en conjunto, como mínimo, el 50% en peso. El importante peso de los biorresiduos en los residuos de competencia municipal y las mejoras detectadas en el resto de fracciones recogidas separadamente una vez gestionada la fracción orgánica de forma separada, hacen de esta una pieza clave para llegar a unos niveles de reciclado elevados (y para mejorar la calidad del resto de materiales reciclados).

Además, la Comisión ha adoptado un ambicioso paquete de nuevas medidas sobre la economía circular, presentado el 2 de diciembre de 2015, por el que se fijará un objetivo común de la UE para el reciclado de residuos municipales del 65 % de aquí a 2030, y un objetivo vinculante para reducir los depósitos en vertederos a un máximo del 10 % de todos los residuos de aquí a 2030, dando un mayor peso a su gestión.

A todo lo anterior se le añade el hecho de que una de las partidas presupuestarias más importantes de los ayuntamientos es la relativa a la limpieza viaria y gestión de residuos, por lo que se pone de manifiesto la importancia de enfocar adecuadamente la gestión de estos flujos, especialmente de los biorresiduos. Además, como se ha mencionado anteriormente la prevención y gestión adecuada de los biorresiduos no sólo afecta positivamente a la gestión de residuos en general, sino que también contribuye a la gestión sostenible de los recursos, a la protección del suelo y ayuda a combatir el cambio climático y a alcanzar los objetivos establecidos en relación con el desvío de residuos de los vertederos, el reciclado y las energías renovables (Amlinger et al., 2013).

Por otro lado, el potencial para la producción de enmiendas y fertilizantes orgánicos a partir de biorresiduos recogidos separadamente es elevado. Alrededor del 10% de los fertilizantes minerales que se necesitan en la agricultura pueden ser sustituidos por compost, lo que contribuiría a la conservación de recursos no renovables, como el fosfato, y a la

disminución de la lixiviación de nitratos en las aguas. Además, la sustitución de la turba por compost en los sustratos contribuye a la conservación de las turberas naturales. Por lo que, la recogida separada de biorresiduos no solo contribuirá a la obtención de materiales de alta calidad como el compost, que reducen el consumo de recursos naturales, sino que también contribuirá al cumplimiento de la normativa vigente (Amlinger et al., 2013).

Como punto de partida, cabe recordar que son muchos los municipios en toda Europa y también en España que, desde hace años, vienen implementado con éxito la recogida separada¹ de los biorresiduos, por lo que no se trata de un objetivo inalcanzable.

Sin embargo, plantear la recogida separada de los biorresiduos con ciertas garantías de éxito y no perecer en el intento requiere ser consciente de la tarea planteada. Dicha fracción, se trata de la más singular y, cuantitativamente hablando, con mayor presencia en los residuos de competencia municipal (aproximadamente el 50% de los RSU corresponden a la fracción orgánica en España, según Sánchez Ferrer et al., 2014). De modo que, para abordar de forma adecuada y sostenible técnica, social y económicamente la recogida de biorresiduos, se ha de realizar un estudio de la situación actual del municipio como geografía, demografía, distribución de la vivienda, empresas activas, etc. Además de un estudio que refleje la gestión actual de los RSU, su cantidad, características, etc.

Además, para determinar la viabilidad de la implantación del quinto contenedor es importante conocer cuáles pueden ser las alternativas disponibles para el tratamiento del biorresiduo una vez recogido separadamente, así como las posibles salidas del producto obtenido. Estas alternativas limitarán el proyecto, puesto que sin un tratamiento apropiado que garantice el correcto reciclado del biorresiduo, dicha separación carecerá de sentido. Partiendo del estudio basado en las alternativas de tratamiento disponibles, objeto de este proyecto fin de máster, se estimó que las alternativas óptimas hacían referencia al compostaje del biorresiduo obtenido de la separación o a la utilización como bioestabilizado de la fracción mezcla sin separación.

¹ "**Recogida separada:** recogida en la que un flujo de residuos se mantiene por separado, según su tipo y naturaleza, para facilitar un tratamiento específico." Según la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados, que modificó la definición de recogida selectiva, cambiándola por el término de recogida separada (Art.3).

"**Recogida selectiva:** el sistema de recogida diferenciada de materiales orgánicos fermentables y materiales reciclables, así como cualquier otro sistema de recogida diferenciada que permita la separación de los materiales valorizables contenidos en los residuos."

Una vez conocido todo lo anterior y seleccionada una alternativa, es preciso llevar a cabo un análisis de alternativas que plantee la aplicación del producto obtenido mediante diversos sistemas en base a la información anterior. Por lo que para determinar una o varias alternativas idóneas para el biorresiduo estimado en el municipio es preciso tener en cuenta una gran variedad de información tanto del residuo gestionado como la gestión de RSU y las características del municipio.

2.1. Marco legal vigente

2.1.1. Normativa Europea

La normativa básica de residuos es la **Directiva 2008/98/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. Plantea para antes del 2020, la consecución de un mínimo de un 50% de preparación para la reutilización y reciclado de, al menos, papel, metales, plástico y vidrio de los residuos domésticos y otros orígenes en la medida en que estos flujos de residuos sean similares a los domésticos. En el artículo 11 de la Directiva donde se incluyen dichos objetivos, no se mencionan de forma específica los biorresiduos, pero los Estados miembros pueden incluir en la lista más materiales, con el fin de reforzar el reciclado de alta calidad.

En relación a los biorresiduos, en el artículo 22 de la Directiva se establece que los Estados Miembros adoptarán medidas con arreglo a la jerarquía de residuos (prevención, preparación para la reutilización, reciclado, otro tipo de valorización y eliminación), la protección de la salud humana y el medio ambiente, para impulsar:

1. La recogida separada de biorresiduos con vistas al compostaje y la digestión de los mismos;
2. El tratamiento de biorresiduos, de tal manera que se logre un alto grado de protección del medio ambiente;
3. El uso de materiales ambientalmente seguros producidos a partir de biorresiduos.

Además, la Comisión realizará una evaluación sobre la gestión de biorresiduos con miras a presentar, si procede, una propuesta legislativa específica. La evaluación examinará la pertinencia de establecer requisitos mínimos para la gestión de biorresiduos y criterios de calidad para el compost y el digestato procedente de la digestión anaerobia de los

biorresiduos, con el fin de garantizar un alto nivel de protección de la salud humana y el medio ambiente.

Cabe mencionar que la Comisión Europea ha adoptado un ambicioso **paquete de nuevas medidas sobre la economía circular**, presentado el 2 de diciembre de 2015, para garantizar un crecimiento sostenible en la Unión Europea mediante la conversión de los residuos en recursos y el aumento de la eficiencia en su uso. Para ello se prevén una serie de medidas en materia de gestión de residuos:

- La Comisión fijará un objetivo común de la UE para el reciclado de residuos municipales del 65 % de aquí a 2030.
- La Comisión fijará un objetivo vinculante para reducir los depósitos en vertederos a un máximo del 10 % de todos los residuos de aquí a 2030.

2.1.2. Normativa Estatal

En relación a las regulaciones que pueden afectar a la generación y gestión de biorresiduos, la normativa estatal básica sobre residuos se conforma por la **Ley 22/2011**, de 28 de julio, de Residuos y Suelos Contaminados por la que se establece el **Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022**. En este último también se recoge el **Real Decreto 1481/2001** de 27 de diciembre, que regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero y por el que se transpone la Directiva 1999/31/CE del 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos.

La Ley en transposición a lo establecido en la Directiva 2008/98, introduce la necesidad de aplicar la jerarquía de gestión de residuos en el desarrollo de las políticas y en la legislación en materia de prevención y gestión de residuos, siguiendo el orden de prioridad que establece la Directiva de Residuos. De acuerdo con el artículo 12.5 de dicha Ley, se consideran residuos de competencia municipal los gestionados por las Entidades Locales, o las Diputaciones, quedando incluidos por tanto los residuos domésticos generados en los hogares, comercios y servicios y, cuando la Entidad Local lo haya establecido en sus ordenanzas, los residuos comerciales no peligrosos y los residuos domésticos generados en las industrias. En su artículo 16, establece que "las autoridades competentes podrán establecer medidas económicas, financieras y fiscales para fomentar la prevención de la generación de residuos, implantar la recogida separada, mejorar la gestión de los residuos, impulsar y

fortalecer los mercados del reciclado, así como para que el sector de los residuos contribuya a la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero".

Se establecen unos nuevos objetivos de valorización, de manera que se especifica que antes de 2020 deberá aumentarse, como mínimo hasta un 50% de su peso total en conjunto la preparación para la reutilización y el reciclado de residuos de materiales tales como, al menos, el papel, los metales, los biorresiduos, el plástico y el vidrio de los residuos domésticos y comerciales. Además, introduce las definiciones de reciclado y biorresiduo establecidas en la Directiva de Residuos, y la definición de compost:

Reciclado: "toda operación de valorización mediante la cual los materiales de residuos son transformados de nuevo en productos, materiales o sustancias, tanto si es con la finalidad original como con cualquier otra finalidad. Incluye la transformación del material orgánico, pero no la valorización energética ni la transformación en materiales que se vayan a usar como combustibles o para operaciones de relleno".

Biorresiduo: "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".

Compost: "enmienda orgánica obtenida a partir del tratamiento biológico aerobio y termófilo de residuos biodegradables recogidos separadamente. No se considerará compost el material orgánico obtenido de las plantas de tratamiento mecánico biológico de residuos mezclados, que se denominará material bioestabilizado".

Finalmente se incluye el artículo 24 dedicado específicamente a los biorresiduos, con el objetivo de promover que las autoridades competentes introduzcan medidas cuyo fin sea impulsar la recogida separada, el compostaje doméstico y comunitario, su tratamiento biológico de forma que se logre un alto grado de protección con el medio ambiente y el uso de compost producido a partir de biorresiduos en sustitución de otras enmiendas orgánicas y fertilizantes minerales.

En cuanto al Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos, antes de 2020, la cantidad de residuos domésticos y comerciales destinados a la preparación para la reutilización y el reciclado para las fracciones de papel, metales, vidrio, plástico, biorresiduos u otras fracciones reciclables deberá alcanzar, en conjunto, como mínimo el 50% en peso. Para el cumplimiento de dicho objetivo se han de promocionar medidas que impulsen la recogida separada de

biorresiduos para su compostaje y digestión anaerobia y para promover el uso ambientalmente seguro del compost producido en sector de agricultura, jardinería y de las áreas degradadas.

Finalmente, el Real Decreto 1481/2001 considera que se tienen que tomar medidas para reducir los impactos de todo el ciclo de vida de un vertedero, en especial en la producción de metano de los vertederos, para reducir el efecto de calentamiento global mediante la limitación del vertido de residuos biodegradables y el estableciendo de requisitos sobre el control de gases de vertedero. Mediante este Real Decreto se exige una reducción progresiva de la cantidad de residuos biodegradables urbanos depositados de aquí a 2016 (respecto a los generados en 1995), estableciéndose a partir 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.

2.1.3. Normativa Autonómica

Con objeto de cumplir el doble objetivo de evitar la entrada de residuos biodegradables a vertedero y de alimentar las plantas de compostaje y de biometanización, la Comunidad de Madrid mediante la **Estrategia de Residuos de la Comunidad de Madrid**, pone en marcha un sistema de recuperación de residuos biodegradables donde se impulsa la recogida separada de la fracción orgánica de grandes generadores y fomenta el compostaje doméstico en zonas rurales, práctica que ya está en marcha en algunos municipios madrileños como en Rivas-Vaciamadrid. El resto de materiales biodegradables se tratarán en la fracción todo en uno en procesos de biometanización y compostaje, también prevé tratamientos por incineración y gasificación y vitrificación mediante plasma. De modo que el único requisito legal autonómico que se aplicará es el correspondiente a la reducción de entradas de residuos biodegradables en vertederos para el año 2016 (35% de los generados en 1995), establecido en la **Ley 5/2003**, de Residuos de la Comunidad de Madrid.

2.1.4. Normativa Municipal

En relación a las regulaciones que pueden afectar a la generación y gestión de residuos, se dispone de la **Ordenanza de Gestión de Residuos Urbanos y Residuos de Construcción y Demolición, Limpieza de Espacios Públicos y Mantenimiento de Solares**, de 28 de agosto de 2010. Dicha Ordenanza tiene por objeto la regulación, en el ámbito de las competencias del Ayuntamiento de Rivas-Vaciamadrid, de todas aquellas conductas y

actividades dirigidas a la limpieza de los espacios públicos y privados, así como la recogida, almacenamiento, transporte, valorización, tratamiento y eliminación de los residuos urbanos o asimilables a urbanos de domicilios, instalaciones, servicios y actividades generadoras en todo el término municipal. Su finalidad radica en conseguir las condiciones adecuadas de salubridad, bienestar ciudadano, pulcritud y ornato, en orden a la debida protección de la salud de las personas, los espacios públicos y el paisaje urbano, así como del medio ambiente. De modo que se fomenta las actitudes encaminadas a mantener la ciudad limpia y posibilitar la reducción, reutilización, reciclado y otras formas de valorización de los residuos.

2.2. Producción de residuos sólidos urbanos a nivel europeo, nacional y autonómico.

2.2.1. Nivel europeo

En Europa, la producción de residuos es singular, desde los 279 kg/habitante en Estonia hasta los 668 en Dinamarca, siendo una media de 492 kg/habitante. Si se observa la Figura 1 y Tabla 1, se puede comprobar que Dinamarca, uno de los estados de bienestar más modernos y desarrollados en el mundo, es el país con mayor producción de residuos (1,83 kg/habitante/día), mientras que países como República Checa, Letonia o Estonia, de bajo poder adquisitivo, es incluso menos de la mitad. Lo mismo se puede observar con España y Alemania, donde este último de mayor nivel de desarrollo socio-económico presenta un promedio de 1,67 kg/habitante/día mientras que España de 1,27 kg/habitante/día. En cambio si se compara España con un país de menor nivel socio-económico como Portugal, se observa que España presenta una mayor tasa de producción de residuos por habitante y día.

Teniendo en cuenta todo lo anterior se puede afirmar que la producción de RSU es consecuencia directa de las actividades que realizan en la vida cotidiana de la población. De manera que la cantidad y tipo de residuos que se generan están condicionados por el estilo de vida de los ciudadanos de un determinado país o región.

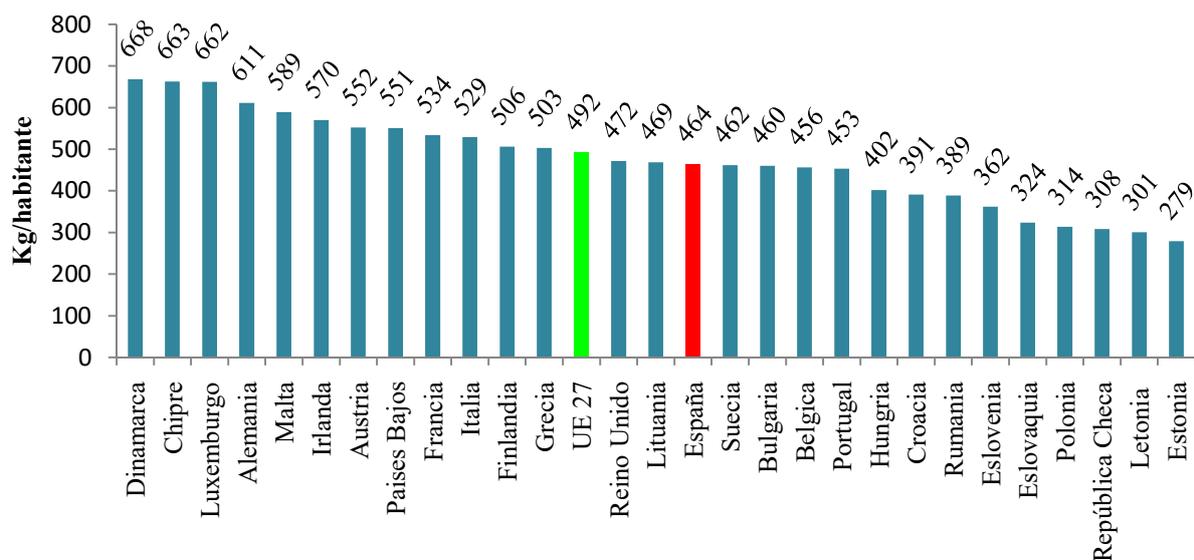


Figura 1. Generación de residuos urbanos (kg) por habitante en la Unión Europea en el año 2012. Fuente Eurostat.

Tabla 1. Generación de residuos por habitante y día en el año 2012. Datos tomados de Eurostat.

País	kg/habitante/día
Dinamarca	1,83
Chipre	1,82
Luxemburgo	1,81
Alemania	1,67
Malta	1,61
Irlanda	1,56
Austria	1,51
Países Bajos	1,51
Francia	1,46
Italia	1,14
Finlandia	1,39
Grecia	1,38
Reino Unido	1,29
Lituania	1,28
España	1,27
Suecia	1,27
Bulgaria	1,26
Bélgica	1,25
Portugal	1,24
Hungría	1,10
Croacia	1,07
Rumania	1,07
Eslovenia	0,99
Eslovaquia	0,89
Polonia	0,86
República Checa	0,84
Letonia	0,82
Estonia	0,76

Es evidente que cuanto mayor es el poder adquisitivo y desarrollo socio-económico mayor es el consumo, y por lo tanto, mayor cantidad de residuos se produce. Pero no sólo eso, el tipo de consumo que se realiza también condicionará los residuos. Por lo tanto, aquellos países o regiones con un nivel de desarrollo socio-económico más elevado producirán mayor cantidad de residuos debido al mayor consumo del país, y debido al consumo de productos más elaborados, con mayor cantidad de embalajes y envoltorios que aumentan considerablemente la producción de residuos.

2.2.2. Nivel nacional

En el conjunto de la UE se generaron de media 492 kg de residuos urbanos por habitante en el año 2012 (véase Figura 1). En España esta producción fue de 464 kg/habitante en el mismo año, cifra un 15% inferior a la de 2009. Además, entre 2000 y 2009 el descenso experimentado en esta generación ha sido del 17,4%, siendo España el primer país de la UE con mayor reducción. En el entorno europeo, España ocupó en 2009 la novena posición en generación de residuos por habitante, mientras que en el 2012 ocupó la decimoquinta. De modo que la tendencia en la producción de residuos en España ha sido decreciente a partir del 2003 (véase Figura 2), llegando a alcanzar la media europea en el año 2011 y situándose por debajo en el año 2012. Todos los datos fueron tomados del Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial, y Eurostat.

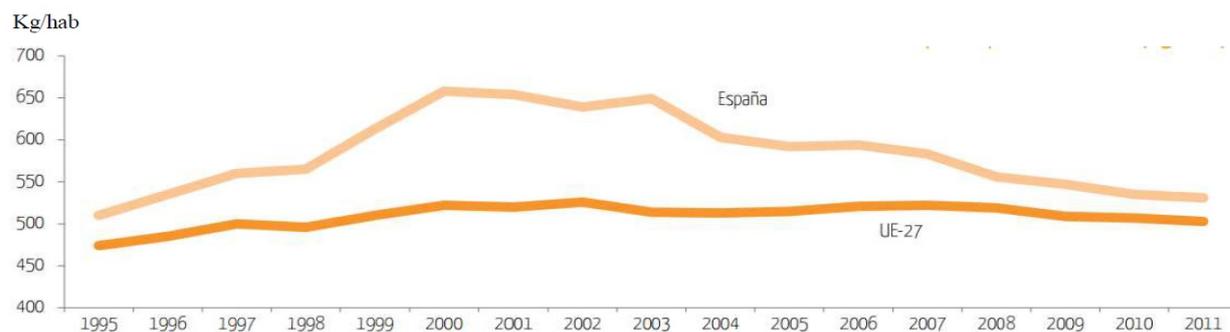


Figura 2. Generación de residuos urbanos (kg) por habitante en la Unión Europea y España desde 1995 hasta 2011. Fuente Eurostat.

2.2.3. Nivel autonómico

Teniendo en cuenta la Tabla 2, se observa que cuanto mayor es el desarrollo socio-económico (en este caso reflejado en IDH) mayor es el porcentaje de residuos, debido a un

mayor consumo por parte de la población que se refleja en la producción de residuos. Sin embargo, el factor de la extensión territorial puede dar una idea acerca de la producción de residuos, a mayor extensión mayor número de habitantes teóricamente. Sin embargo, conocer la extensión territorial no nos da una información precisa en cuanto a la producción de residuos, ya que hay regiones como Castilla y León que presenta la mayor extensión territorial y en cambio es la quinta comunidad autónoma más poblada, o regiones como la Comunidad de Madrid que la población se encuentra muy concentrada. Por ello el dato del número de habitantes dará una idea más aproximada a la producción de residuos, como se observa en Andalucía, la cual a pesar de estar por debajo de Cataluña y Madrid en cuanto a desarrollo socio-económico, es la pionera en producción de residuos por ser la región más poblada.

Tabla 2. Porcentaje de residuos urbanos, Índice de Desarrollo Humano (IDH), extensión territorial, número de habitantes y situación geográfica por comunidad autónoma en el año 2010. Datos tomados del INE.

	% Total Residuos	IDH*	Extensión (km)	Número de habitantes	Situación geográfica
Andalucía	20,44	0,843	87.598	8.276.017	Sur
Cataluña	16,43	0,880	32.113	7.463.471	Noreste
Comunidad de Madrid	11,12	0,912	8.028	6.373.532	Centro
Comunidad Valenciana	9,47	0,856	23.255	4.989.631	Sureste
Islas Canarias	5,92	0,843	7.447	2.045.168	Islas
Galicia	5,00	0,861	29.574	2.179.532	Noroeste
Castilla y León	4,86	0,878	94.225	2.772.457	Centro-Norte
Castilla - La Mancha	4,65	0,844	79.462	2.547.408	Centro-Sureste
País Vasco	4,42	0,916	7.235	2.084.470	Norte
Región de Murcia	3,73	0,845	11.313	1.083.683	Sureste
Islas Baleares	3,31	0,846	4.992	1.453.545	Islas
Asturias, Principado de	2,54	0,862	10.604	1.344.184	Noroeste
Aragón	2,47	0,879	47.720	1.077.103	Noreste
Extremadura	2,32	0,829	41.635	1.099.605	Suroeste
Cantabria	1,46	0,873	5.321	588.518	Norte
Navarra	1,30	0,902	10.390	633.017	Norte
La Rioja	0,55	0,875	5.045	319.939	Norte

* El IDH es un importante indicador del desarrollo humano que elabora cada año Naciones Unidas. Se trata de un indicador del nivel de desarrollo económico de los países que combina medidas de salud, educación y renta.

En cuanto a la situación geográfica, se destacan las islas y en especial las Islas Canarias, las cuales a pesar de no presentar un nivel socioeconómico elevado ni gran número de habitantes, es la quinta comunidad autónoma en la producción de residuos. Esto es debido al efecto del turismo, de modo que los turistas no son tenidos en cuenta en el censo poblacional pero en la generación de residuos sí. También se observa que las regiones

situadas al norte presentan un menor porcentaje de residuos, pudiéndose explicarse por la menor extensión territorial y el menor número de habitantes.

Por lo que se puede afirmar que el porcentaje de residuos está determinado por el nivel socio-económico de una región y el número de habitantes, de modo que cuanto mayor sean estos dos, mayor será la producción de residuos. En cuanto a la extensión territorial, cabe señalar que no es un factor preciso. Por otro lado, se ha comprobado una asociación de un menor porcentaje de residuos en las regiones más al norte y unos porcentajes considerables en las islas relacionados con el turismo.

2.3. Composición general de los residuos sólidos urbanos.

La producción de residuos ha constituido siempre un problema para el hombre desde antaño, la cual continua en aumento en función del crecimiento demográfico y económico. En la Figura 3 se muestra se muestra el total de residuos generados por categorías en la UE de 2008. La categoría de residuos urbanos no supone un porcentaje elevado, sin embargo, si necesita de una correcta gestión ya que su acumulación incontrolada puede suponer importantes problemas por ser focos de infección y contaminación.

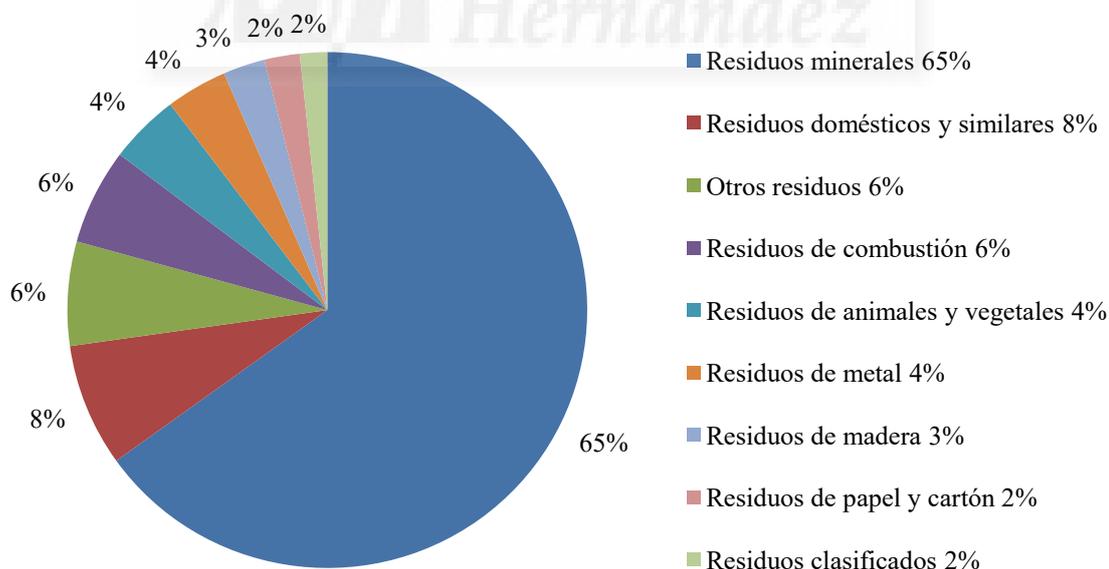


Figura 3. Residuos generados por categorías en la UE en 2008. Tomado de Eurostat.

Dentro de los residuos urbanos, en España el componente mayoritario corresponde a la fracción orgánica, mientras que en la sociedad americana predomina la generación de envases

debido a la marcada tendencia en el consumo de alimentos precocinados (Véase Tabla 3). Los datos que se muestran de Europa son similares a los de Estados Unidos, siendo aproximados debido a que la información de algunos países no se encuentra disponible (Bernal et al., 2008).

Tabla 3. Estimación media de la composición de residuos sólidos urbanos (%). Tomado de Sánchez Ferrer et al., 2014.

Materiales	España	Europa	Estados Unidos
Materia orgánica	48,9	26,3	27,1
Papel y cartón	18,5	30,0	28,1
Plásticos	11,7	14,2	12,4
Vidrio	7,6	11,7	4,6
Metales	4,1	4,6	9,0
Textiles	3,7	2,4	5,3
Otros	5,5	10,4	13,5

La distribución en peso de las distintas fracciones de los residuos varían según el país en función del nivel de vida, costumbres socioculturales, o incluso la época del año. En general, a medida que el desarrollo socio-económico aumenta, la fracción de materia orgánica en la producción de residuos disminuye. Este dato es muy importante a tener en cuenta, ya que es un indicador muy preciso en cuanto al nivel de desarrollo de un país. De forma que cuanto más desarrollado es un país, mayor es la tendencia a consumir productos elaborados, reduciendo la fracción típicamente orgánica e incrementando las fracciones complementarias de vidrio, papel, cartón y plásticos. Por lo que se puede asegurar que la generación de residuos está íntimamente relacionada con cuestiones económicas, sociológicas y culturales. Siendo el análisis de la composición de los residuos un índice de la realidad social de los países, las ciudades y el ser humano.

2.4. Gestión actual de los residuos sólidos urbanos.

La gestión de los residuos urbanos se caracteriza por ser el conjunto de operaciones como la recogida, transporte y tratamiento, encaminadas a dar a los residuos urbanos (residuos domésticos y comerciales e industriales asimilables a domésticos) de una determinada zona, con el objetivo de establecer un destino más óptimo de estos residuos.

Además, se incluyen las medidas necesarias de vigilancia y mantenimiento posterior a la clausura del vertedero para asegurar una correcta estabilidad de los residuos en el tiempo.

Para llevar a cabo estas operaciones es preciso tener en cuenta las características del residuo, así como su volumen, procedencia, coste de tratamiento, posibilidades de recuperación, comercialización y directrices administrativas. Esta gestión, generalmente la realizan los ayuntamientos mediante empresas contratadas, o bien otro tipo de figuras como la del agente o negociante y el gestor de residuos.

Referente al tratamiento, en la Figura 4 se observa que en España predomina el depósito en vertedero debido a los bajos costes que presenta esta alternativa, mientras que en Europa representa un 20% menos.

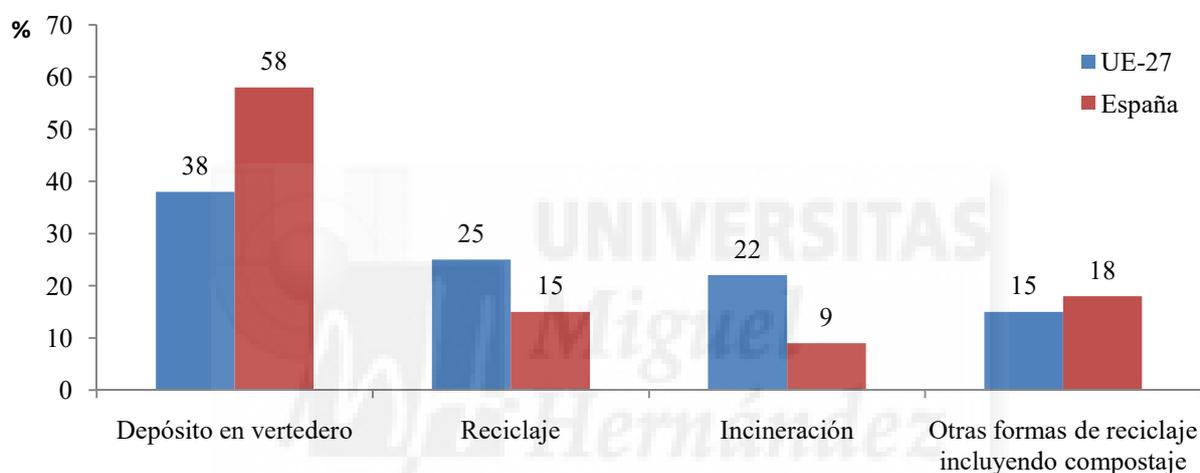


Figura 4. Tratamiento de los residuos municipales en la UE y España durante el 2010. Datos tomados de Eurostat.

La tendencia europea en cuanto al depósito en vertedero como incineración de residuos urbanos se caracteriza por un continuo decrecimiento del vertido y un incremento de la incineración. Sin embargo, en España se depositaron en vertedero 310 kg/habitante frente a los 186 kg/habitante en Europa, y se incineraron 49 kg/habitante frente a los 108 kg/habitante en Europa. De esta manera, es necesario adoptar medidas que contribuyan tanto a la reducción de la generación de residuos como a minimizar su depósito en vertedero, siendo fundamental el establecimiento de la recogida separada para su reciclado.

La recogida separada en origen, la clasificación posterior en planta, y la transformación mediante compostaje de las fracciones orgánicas son las principales operaciones dirigidas a la preparación para la reutilización y el reciclaje en España. Los

resultados de los distintos modelos de recogida y tratamiento se pueden evaluar en función de los porcentajes de valorización material alcanzados y de calidad del producto obtenido (Sánchez Ferrer et al., 2014).

En algunas comunidades como Cataluña, Galicia, Córdoba, entre otras, se lleva a cabo la recogida separada con la finalidad de destinar un mayor porcentaje de los residuos al reciclaje y minimizar el depósito en vertedero. Los modelos de 4 fracciones basados en la separación húmedo-seco y las recogidas monomateriales de papel-cartón y vidrio, como se establece en Córdoba, Montejurra, Lousame y Nostián, alcanzan valorizaciones materiales de entre 13-28% de los residuos municipales en materiales reciclables y del 8-20% de los residuos municipales en materia orgánica compostable. En Cataluña, a partir de un modelo de 5 fracciones, se alcanzaron porcentajes del 27% de valorización de la fracción orgánica de los residuos del municipio (Sánchez Ferrer et al., 2014).

2.4.1 El reciclaje de RU en relación a otros sistemas de tratamiento

Partiendo que los objetivos actuales de la gestión de residuos vienen fijados por la jerarquía de opciones, que establece la prioridad de la prevención, la reutilización y el reciclado, en ese orden, frente a la valorización energética, hace que el reciclaje de los RSU adquiera gran importancia. Además, son muchas e importantes las ventajas que se obtienen del reciclaje de los residuos urbanos, en primer lugar la disminución del volumen de residuos vertidos aumentando la vida de los vertederos, así como la reducción de la contaminación. En cuanto a la contaminación, puede ser atmosférica ocasionada por los gases de efecto invernadero generados por la degradación de la materia orgánica en los vertederos o la emisión de gases de efecto invernadero o metales pesados por la combustión de estos residuos en las incineradoras. Al reducir el volumen de residuos en vertederos también se reduce la producción de lixiviados y por tanto la percolación de éstos a capas profundas del suelo y a acuíferos, evitando la contaminación del suelo y del agua. Además de reducir drásticamente los riesgos de contaminación y la ocupación del suelo, el reciclaje incorpora materias primas y energía al ciclo de consumo. Esto conlleva a un ahorro de recursos naturales y a ingresos económicos por las ventas de los productos reciclados y de la energía, a diferencia de otros sistemas de tratamiento como la incineración o depósito en vertedero destinados a eliminación, de los que solo se podría obtener energía. Por otro lado, en comparación con la eliminación o valorización de residuos en incineradoras, este tipo de tratamiento está mejor aceptado por la población y presenta menor riesgo de explosiones o averías costosas, así

como menores costes de operación y menores requerimientos energéticos. Por este motivo, el reciclaje además de las ventajas que presenta por la disminución de la contaminación, disminución de la utilización del suelo para vertederos, obtención de materias primas y energía, disminución del consumo de recursos naturales y la obtención de ingresos económicos por los productos reciclados, es una forma activa de crear una concienciación medioambiental en la sociedad dando lugar a una cultura, filosofía o modelo económico más sostenible.

En cuanto a las desventajas, una de las más importantes sería la separación, por un lado por la necesidad de implantación de sistemas de recogida separada, aumentando los costes económicos en cuanto a contenedores y camiones especializados para llevar a cabo esta selección. Por otro lado, la construcción de grandes instalaciones con maquinaria adecuada que garanticen una correcta separación en las plantas de tratamiento, que el caso de depósito en vertedero no ocurrirían, al igual que en las incineradoras donde la superficie requerida es escasa. A todo esto se le añade la falta de información ciudadana en cuanto a una correcta separación, dando lugar a una gran cantidad de impropios en las plantas de tratamiento que dificultan la eficiencia de las plantas y la obtención de productos reciclados de buena calidad. Esta dificultad en muchos casos de obtención de productos de buena calidad provoca rechazo, prefiriendo el consumo de productos de materias primas vírgenes.

Por otro lado, una de las causas de baja tasa de reciclaje en muchos países y en especial España, son las bajas tasas económicas de depósito en vertedero. Esto supone que llevar a cabo un tratamiento de reciclaje es mucho más costoso que el depósito en vertedero, por lo que esta última opción es mucho más rentable y atractiva. Asimismo, los altos costes de tratamiento se reflejan en los productos reciclados que además de ser en ocasiones de peor calidad, son más caros que aquellos productos de primera generación y por tanto su consumo es menor.

Sin embargo, gracias a una recogida separada, los residuos urbanos pueden ser destinados a diferentes tratamientos como digestión anaerobia, compostaje o incineración donde la eficiencia del proceso se ve aumentada por la reducción de impropios. Este aspecto es de gran importancia para obtener productos como biogás o compostaje de buena de calidad, y por lo tanto la rentabilidad del proceso se aumenta. Gracias a la reducción de impropios, los residuos pueden ser destinados a diferentes tratamientos, como los mencionados, donde se obtienen productos utilizables de mejor calidad o en el caso de la incineración hacer que sea más rentable. De esta manera, se consigue reducir el depósito en vertedero ya que los residuos son dirigidos a otros métodos de eliminación, valorización o

reciclaje mas sostenibles. Con la reducción de depósito en vertedero, se consigue el aumento de vida de los mismos, se reduce la contaminación atmosférica por emisiones de gases de efecto invernadero, hídrica por la percolación de lixiviados al subsuelo, etc.

Otro aspecto positivo, se corresponde con la recuperación de materiales como papel, plástico o vidrio que pueden ser reutilizados o reciclados. Gracias a esto es posible recuperar o reciclar materiales que pueden ser sustitutorios de materias primas por lo que conlleva a un ahorro de recursos naturales y a ingresos económicos por las ventas de los productos reciclados y de la energía obtenida.

2.5. Aproximación general de la fiscalidad de los residuos en España

Entre las posibles políticas a aplicar para avanzar hacia una lógica de suficiencia y circularidad, en la que se favorezca la reducción y el reciclaje también se encuentran algunas políticas económicas y fiscales. La fiscalidad ambiental se justifica no solo por razones ambientales, sino también por una cuestión de eficiencia económica, pues la aplicación del "principio de quien contamina, paga" permite minimizar las externalidades que la sociedad se ve obligada a asumir en conjunto. De modo, que su utilización permite una atribución más justa de los costes de gestión de los residuos.

En este ámbito, las Entidades Locales tienen varias opciones para desarrollar su política económica en el campo de los residuos, siendo la tasa de basuras la que concierne en este trabajo. Su marco legal viene definido por el Real Decreto Legislativo 2/2004, de 5 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley Reguladora de las Haciendas Locales (en adelante, RDLLRHL). En el artículo 20.4.s) del RDLLRHL explícitamente se menciona la "*recogida de residuos sólidos urbanos, tratamiento y eliminación de éstos*", como uno de los supuestos en que los entes locales pueden establecer tasas, siendo el importe de estas tasas menor o igual al coste en conjunto por prestación de servicio (artículo 24.2 del RDLLRHL). Como el resto de tasas, las de los residuos deben ser reguladas mediante las correspondientes ordenanzas fiscales.

A continuación, para tener una visión general en el ámbito de la fiscalidad de residuos en España, se detallaran algunas de las tasas municipales de residuos implantadas en determinados municipios, y los costes que el tratamiento o eliminación suponen a los entes locales. De este modo, se pretende mostrar la relación directa entre el coste por tonelada de residuo tratado o eliminado que supone a las entidades locales, y las tasas de basuras abonadas por la ciudadanía.

2.5.1. Tasas abonadas por los ciudadanos en determinados municipios

Los datos recogidos de Argentona y Barcelona se han tomado del MAGRAMA (Amlinger et al., 2013), mientras que los de Lugo, Madrid, la Mancomunidad de Navarra, Palma de Mallorca y Sestao se han tomado de sus respectivas Ordenanzas.

Argentona (Barcelona, Cataluña)

- Configuración del sistema de pago por generación domiciliario

Parte fija de 95 € anuales (la tasa anterior era de 150 €) en la que se incluyen la recogida y la gestión (tratamiento) de los residuos de competencia municipal.

Parte variable, que se paga a través de la compra de bolsas especiales para la Fracción Resto y para los Envases Ligeros. La bolsa de Resto, de 17 litros y de color rojo, cuesta 0,65 €/unidad y la bolsa para los Envases, de 35 litros y de color amarillo, cuesta 0,35 €/unidad. El importe de las bolsas sirve para pagar parte del coste de recogida y tratamiento de los residuos que contienen, es decir, las bolsas son bolsas tasadas.

- Configuración del sistema de pago por generación comercial

Existen unas medidas de bolsa para Resto y Envases más grandes para el comercio. Este, además, tiene gravada la FORS. La tasa a pagar depende del volumen del contenedor utilizado, independientemente de la frecuencia de recogida y de las cantidades generadas. Los volúmenes existentes con su tasa asociada son los que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Tasa anual en función de los litros generados. Datos tomados de Amlinger et al. (2013).

Litros	Euros/año
25	43
35	54
60	66
120	143
240	203

Barcelona (Provincia de Barcelona, Cataluña)

Datos tomados de Amlinger et al. (2013).

- **Tasas domiciliarias**

En Barcelona no existe una tasa específica para la recogida de basuras domiciliarias; los costes están integrados en el recibo del IBI (Impuesto sobre Bienes e Inmuebles) gestionado por el Ayuntamiento.

Respecto a los costes de tratamiento, gestionados directamente por el AMB, se aplica la TMTR (Tasa Metropolitana de Tratamiento de Residuos), que está integrada en el recibo del agua (las entidades suministradoras de agua potable incorporan a la factura del servicio que prestan la cuota de la tasa correspondiente, como concepto independiente del consumo de agua). Las tarifas aplicadas se establecen a partir del consumo de agua de la vivienda. Según datos del propio AMB, la cuota media de los usuarios domiciliarios para 2011 fue de 56,91 € al año por vivienda. Debe destacarse también que existen bonificaciones aplicadas a esta tasa, como, por ejemplo, por el uso de los puntos limpios metropolitanos.

- **Tasas comerciales**

Las tarifas de los precios públicos anuales por la utilización del servicio de recogida comercial municipal se determinan en función del tipo de actividad, del volumen y de las fracciones residuales generadas por las actividades. La tarifa para actividades profesionales, dependiendo de la generación de residuos, varía entre 90,55 y 294,83 €. La tarifa para actividades empresariales, dependiendo de la generación de residuos, varía entre 124,78 y 884,50 €.

Lugo (Galicia)

La cuota tributaria se determina por la aplicación de las siguientes tarifas (Tabla 5).

Tabla 5. Tasa por prestación de servicio de recogida de residuos sólidos urbanos. Datos tomados de la Ordenanza fiscal reguladora da taxa por prestación do servizo de recollida de lixo e residuos solidos urbanos, del Ayuntamiento de Lugo de 20 de diciembre de 2005.

Concepto	Tarifa anual (euros)
Viviendas familiares zona urbana	86,52
Viviendas familiares zona rural	42,24
Actividades comerciales, recreativas y profesionales	370,7
Hostelería	811,68
Espectáculos	833,64
Industrial	504,62

Madrid (Comunidad de Madrid)

Datos tomados de la Tasa por Servicios y Actividades Relacionadas con el Medio Ambiente, publicado el 9 de octubre de 2001, ayuntamiento de Madrid.

- Tasas domiciliarias

Consistirá en una cantidad anual, cuya cuantía vendrá determinada, con carácter general, por el tramo de valor catastral en que se encuentre siendo una media de 61 €, y, para el caso de edificaciones residenciales cuyo valor catastral aplicable a efectos del IBI exceda de 1.000.000 €, se obtendrá multiplicando el valor catastral por una tarifa de 0,001348 €.

La cuota resultante no podrá superar los 173 euros por vivienda, y si la edificación no está dividida catastralmente no podrá superar los 18.200 €.

- Tasas comerciales

El cálculo de la tasa tributaria se procederá del mismo modo que en el caso anterior, siendo una media de 211 € para comercios y 175 para ocio y hostelería. Tratándose de inmuebles cuyo valor catastral supere los 500.000 €, para las actividades comerciales se obtendrá multiplicando el valor catastral por una tarifa de 0,001348 € para la cuota de valor catastral y para la cuota de generación por 0,000279 €. En el caso de actividades de

ocio y hostelería, la cuota del valor catastral se mantiene igual que el caso anterior y la cuota de generación se calcula multiplicando por 0,000179 € de valor catastral.

En ningún caso la cuota resultante podrá superar los 22.750 €.

Mancomunidad de Navarra (Comunidad Foral de Navarra)

Los tipos y tarifas aplicables a las bases imponibles de las respectivas tasas para el cálculo de la cuota tributaria serán las que en cada ejercicio se establezcan por el Órgano Competente y figuran en la Tabla 6.

Tabla 6. Tasa por prestación de servicio de recogida de residuos sólidos urbanos. Datos tomados de la Ordenanza fiscal reguladora de las tasas por recogida, tratamiento y aprovechamiento o eliminación de residuos y demás actividades prestadas en relación con dicho servicio para el año 2015, de las Entidades Locales de Navarra.

Actividad	Tarifa fija (euros)	Tarifa variable (coeficiente por empleado o residente)	Cuota máxima (euros)
Domiciliaria-viviendas	33,42	-	
Oficinas de profesionales	24,03	30% (Por empleado) (tarifa base: 62,94 €)	581,55
Comerciales	86,97	30% (Por empleado) (tarifa base 125,87 €)	581,55
Zapaterías y tiendas de ropa	149,88	30 % (Por empleado) (Tarifa base:188,78€)	581,55
Pescaderías	275,70	50 % (Por empleado) (Tarifa base:314,62 €)	721,92
Supermercados y autoservicios	275,70	50 % (Por empleado) (Tarifa base:314,62 €)	3.609,66
Restaurantes, hostales, pensiones y albergues con comedor	338,67	50 % (Por empleado) (Tarifa base 376,54 €)	1.477,20
Hoteles, campings.	338,67	50 % (Por empleado) (Tarifa base 376,54 €)	7.541,40
Bares, cafeterías, clubs sociales, sociedades gastronómicas, etc.	260,73	50 % (Por empleado) (Tarifa base:299,63 €)	916,74
Por Casa Consistorial, concejos, oficinas públicas, organismos públicos, bibliotecas, museos, casas cultura, juzgados, etc.	33,42	100 % (Por empleado) (tarifa base: 62,94 €)	581,55

Palma de Mallorca (Mallorca, Islas Baleares)

La cuota tributaria se determina por la aplicación de las siguientes tarifas (Tabla 7).

Tabla 7. Tasa por prestación de servicio de recogida de residuos sólidos urbanos. Datos tomados de la Ordenanza fiscal reguladora de la tasa por servicios relativos al tratamiento de los residuos sólidos urbanos, del Ayuntamiento de Palma, el 1 de Enero de 2014.

Destino del inmueble	Euros/anuales
Viviendas particulares y despachos provisionales.	126,27
Oficinas, establecimientos y locales comerciales e industriales de hasta 100 m ² .	203,43
Establecimientos y locales comprendidos con una superficie útil superior a los 100 m ² .	0,82 por m ²
Bares, cafeterías, heladerías, horchaterías, tabernas y establecimientos.	452,67
Los mismos, cuando la superficie útil supere los 100 m ²	4,45 por m ²
Casinos, círculos, clubes, sociedades recreativas, etc., con una superficie útil no superior a 100 m ² .	203,28
Los mismos, con una superficie útil superior a los 100 m ² .	1,75 por m ²
Centros de enseñanza, al año por plaza	1,07
Cines, circos permanentes, frontones, teatros y espectáculos en locales cerrados. Por plaza o localidad.	4,58
Clínicas, sanatorios y demás establecimientos de asistencia y hospitalización, por plaza.	17,98

Sestao (Vizcaya)

La cuota tributaria consistirá en una cantidad fija, por unidad de local, que se determinará en función de la naturaleza y destino de los inmuebles (Tabla 8).

Tabla 8. Tasa por prestación de servicio de recogida de residuos sólidos urbanos. Datos tomados de la Ordenanza fiscal reguladora de la tasa por recogida de basuras del ayuntamiento de Sestao²

Destino del inmueble	Euros/trimestre
Grandes superficies comerciales	157,52
Restaurantes	157,52
Discotecas, salas de fiestas y similares	157,52
Supermercados, Economatos y cooperativas	118,15
Centros Oficiales, Colegios	118,15
Oficinas Bancarias	118,15
Talleres y almacenes de construcción	118,15
Cines	118,15
Bares, cafeterías, tabernas, bodeguillas y similares	79,95
Hostales, pensiones y similares	79,95
Comercio del ramo de la alimentación, excepto carnicerías	79,95
Establecimientos de venta al por mayor	79,95
Otros comercios en general	48,71
Viviendas	13,57
Demás locales no expresamente tarifados	36,20

²Tomado de la página web www.sestao.eus/es-ES/Ayuntamiento/Ordenanzas/Paginas/default.aspx.

2.5.2. Costes de tratamiento de residuos urbanos en distintas localidades

A partir de normativas de las CC.AA. y ayuntamientos, Rivamadrid elaboró una tabla en la que se recogían costes de tratamiento de residuos urbanos en distintas localidades (Tabla 9). Al comparar la Tabla 6 con las tasas aportadas por los ciudadanos en los diferentes municipios, como se detalla en el apartado anterior, se puede comprobar una directa relación entre la tasa abonada por la ciudadanía con la tasa de tratamiento de residuos de cada localidad.

Tabla 9. Comparativa de precios de tratamiento de residuos en distintas localidades en el año 2013. Elaborado por Rivamadrid.

Plantas de tratamiento		Euros/tonelada
COGERSA		53,43
GERSUL (León) ¹		59,00
TIRME (Mallorca) ²		131,52
SOGAMA (Galicia) ²		54,00
MARE (Cantabria) ²		88,52
VERTEDERO DE SASIETA (Guipúzcoa) ¹		71,10
CONSORCIO GUIPUZCUA (GHK) ²		131,15
GARBIKER (Vizcaya) ²		66,59
SIRUSA (Tarragona) ³		37,00
CASTELLÓN ¹		94,00
VALDEMINGÓMEZ (Madrid)	Vertedero	28,93
	Incineración	59,97
MANCOMUNIDAD DEL ESTE DE MADRID ¹		85,00

(1) No tiene incineración

(2) Tienen incineración

(3) Sólo disponen de tratamiento de incineración

3. OBJETIVO DEL PROYECTO

Realización de un análisis de viabilidad técnica, económica y ambiental de las alternativas de tratamiento del biorresiduo procedente de la implantación de la recogida separada de la FORM del municipio de Rivas-Vaciamadrid, así como determinar las posibles alternativas disponibles para valorizar el producto obtenido.

Por todo ello, el presente trabajo se centrará en el análisis de las alternativas del biorresiduo estimado en el municipio, para asegurar la viabilidad de la recogida selectiva de la FORM y proceder a la implantación del contenedor de materia orgánica en un futuro. Para llevar a cabo este análisis, es preciso realizar un estudio geográfico, demográfico y empresarial del municipio de Rivas-Vaciamadrid, así como también la recogida actual de residuos sólidos urbanos en dicho municipio. Sin embargo, para determinar la viabilidad del proyecto es importante conocer cuáles pueden ser las alternativas disponibles para el tratamiento del biorresiduo una vez recogido separadamente. Estas alternativas limitarán la viabilidad del proyecto, puesto que sin un tratamiento apropiado que garantice el correcto reciclado del biorresiduo, dicha separación carecerá de sentido.

Previo a este estudio, es necesario determinar una o varias alternativas de tratamiento que sustenten la recogida separada de dicho biorresiduo. De modo que el presente trabajo se compone de dos objetivos generales:

- 1. Determinar una o varias alternativas de tratamiento del biorresiduo estimado que aseguren el cumplimiento de la normativa.**
- 2. Establecer las posibles salidas del producto obtenido, en el caso de existir alguna alternativa de tratamiento que lo requiera.**

Para conseguir estos objetivos generales, se han llevado a cabo una serie de objetivos específicos:

1. Estudio geográfico, demográfico, distribución de la población y vivienda, y empresarial.
2. Cantidad de residuos generados en el municipio, determinación aproximada de la cantidad de biorresiduo producido, así como las características del mismo.
3. Descripción de servicio actual de recogida de residuos en el municipio, y su evolución el tiempo.
4. Costes de recogida y tratamiento de residuos de Rivas-Vaciamadrid.

4. ZONA DE ESTUDIO, MATERIAL Y MÉTODOS

Se ha realizado un estudio de la situación actual de Rivas-Vaciamadrid en cuanto a su geografía, demografía, distribución de la vivienda, empresas activas, gestión actual de los RSU, su cantidad y características, como se detalla a continuación. Para ello, se han consultado las bases de datos del Instituto Nacional de Estadística para demografía, Google Maps para la geografía y vivienda, y el catálogo de empresas del ayuntamiento de Rivas-Vaciamadrid para la tipología de negocios. Para determinar la gestión actual de los RSU, su cantidad y características se han consultado documentos internos de la empresa.

4.1. Características de Rivas-Vaciamadrid relevantes para el estudio

4.1.1. Geografía

El municipio de Rivas-Vaciamadrid perteneciente a la Comunidad de Madrid, se sitúa en la zona este del área metropolitana de Madrid (Figura 5). Está situado en el Sureste de la Comunidad de Madrid a 15 kilómetros de la capital, ubicado entre los ejes del Corredor del Henares, la A-3, y la vía de circunvalación M-50. Linda con los municipios de Madrid, Getafe, Arganda del Rey, San Martín de la Vega, Velilla de San Antonio, Mejorada del Campo y San Fernando de Henares. En la actualidad, Rivas Vaciamadrid se ha convertido en ciudad destacada del Área-Región Sureste de la Comunidad de Madrid, que comprende todas las localidades situadas a ambos lados del eje de la carretera A3, hasta que abandona el territorio madrileño.



Figura 5. Ubicación geográfica del municipio de Rivas-Vaciamadrid. Tomado de Google Maps.

Se encuentra a una altitud de 590 m, con una extensión de 67,4 km², de los cuales 16 km² pertenecen a la extensión urbanística distribuida en 8 km de largo y 2 km (de media) de ancho aproximadamente. Por lo que es importante tener en cuenta su tamaño a la hora del transporte y la logística de la empresa, dado que se caracteriza por ser una ciudad de distribución alargada (véase Figura 6).

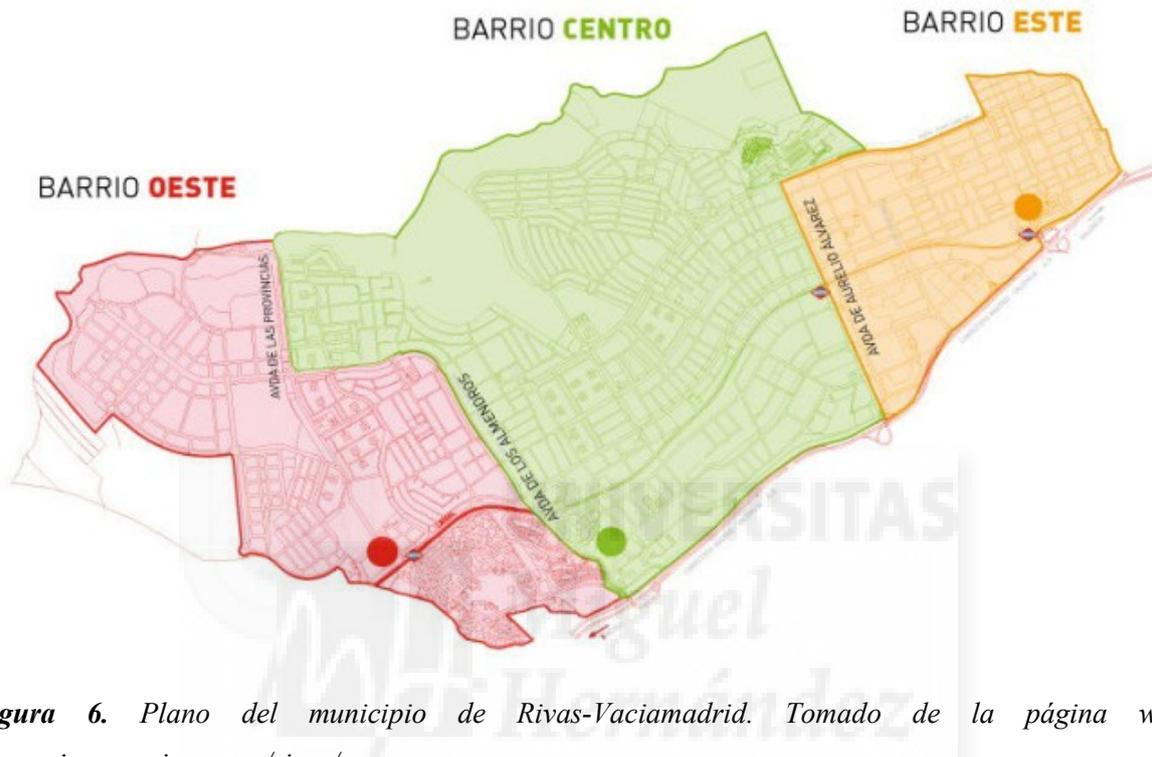


Figura 6. Plano del municipio de Rivas-Vaciamadrid. Tomado de la página web www.micasaenrivas.com/rivas/.

4.1.2. Demografía

Rivas Vaciamadrid con una densidad de 1.209 habitantes/m², es singular desde el punto de vista sociológico. Su población ha crecido vertiginosamente desde los escasos 652 vecinos de 1981 a los actuales 81.473 en 2015, con un crecimiento ascendente continuo (Figura 7).

Es el séptimo municipio más rico de toda España y el cuarto municipio mayor de 50.000 habitantes con menor tasa de población en riesgo de pobreza. Su alta calidad de vida y servicios públicos atraen a vecinos de la capital y el resto del área metropolitana. Por ello, esta ciudad es la población que más rápido ha crecido de España en los últimos veinte años, dando lugar a un asentamiento de aluvión que es considerado como el de mayor expansión demográfica de Europa.

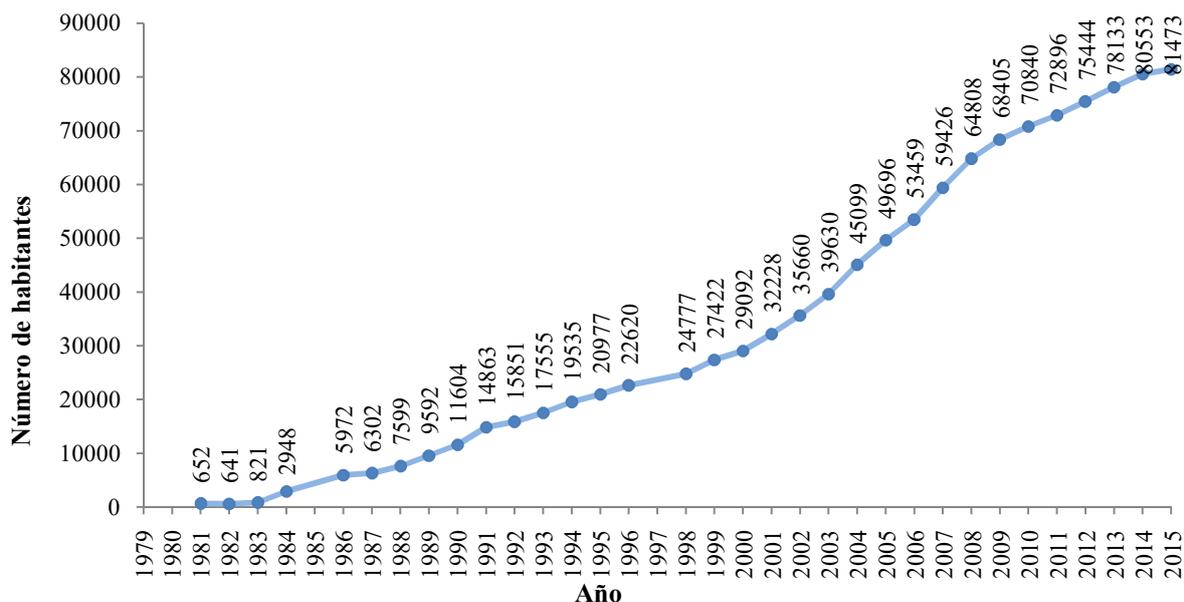


Figura 7. Evolución demográfica del municipio de Rivas-Vaciamadrid. Datos tomados de la página web del Instituto Nacional de Estadística (www.ine.es).

Además, se caracteriza por ser una población joven, donde más de la mitad de la población se encuentra comprendida entre 20-60 años, según información recabada por el Instituto Nacional de Estadística.

4.1.3. Distribución de la población y vivienda

En cuanto a la distribución de la población, es importante señalar que el municipio se caracteriza por un predominio de viviendas unifamiliares (véase Figuras 8, 9, 10, 11 y 12), mientras que el número de viviendas en altura es escaso. Además, la mayor parte de viviendas unifamiliares se componen de parcela trasera y/o delantera, siendo en su mayoría ajardinada. Esta cuestión es de gran importancia tener en cuenta más adelante para elaborar un correcto plan de gestión de residuos.

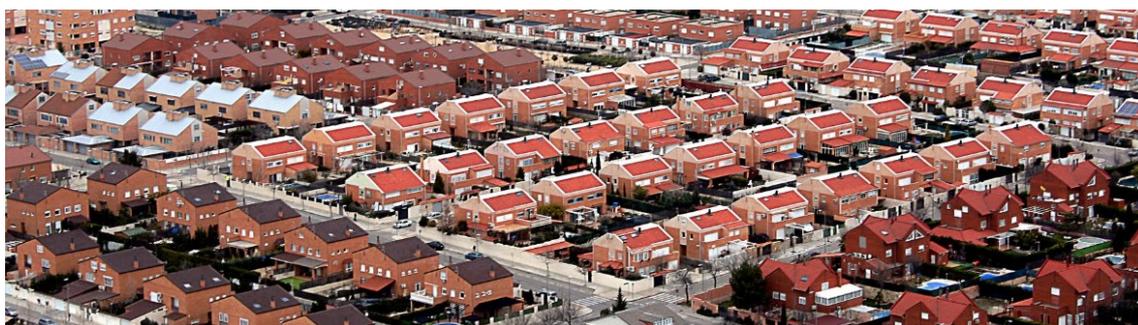


Figura 8. Fotografía del municipio de Rivas-Vaciamadrid. Tomado de Google Maps.



Figura 9. Fotografía del municipio de Rivas-Vaciamadrid. Tomado de Google Maps.



Figura 10. Fotografía del municipio de Rivas-Vaciamadrid. Tomado de Google Maps.



Figura 11. Fotografía del municipio de Rivas-Vaciamadrid. Tomado de Google Maps.

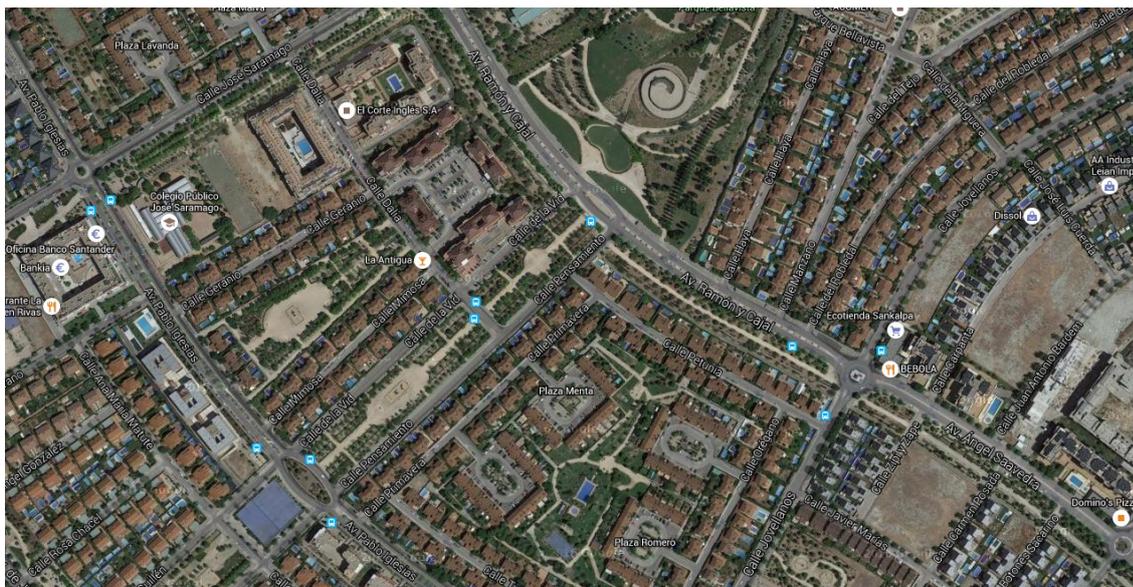


Figura 12. Fotografía del municipio de Rivas-Vaciamadrid. Tomado de Google Maps.

4.1.4. Tipología de negocios

En el municipio de Rivas-Vaciamadrid, se establecen un total de 1.222 empresas de tipología variada (Datos tomados del catálogo de empresas del ayuntamiento de Rivas-Vaciamadrid³).

De la totalidad de empresas, se destaca la empresa Ahumados Nordfish, S.L., dedicada a la elaboración de ahumados de pescado, Colectividades Bedmar SL, sector de servicios de catering, y Ledesma's Delicatessen, S.L., Industria de bollería, pastelería, galletas. Estas tres empresas se destacan por ser las que más cantidad de biorresiduos podrían aportar, ya que el resto de empresas presentan actividades donde la generación de materia orgánica es escasa o nula. Al analizar la aportación de biorresiduos de estas empresas, se ha comprobado que todas ellas presentan un gestor de residuos encargado en gestionar la materia orgánica que se genera, siendo competencia de Rivamadrid la gestión de envases, papel y cartón.

El resto de empresas que podrían intervenir en la generación de biorresiduos, corresponderían a hoteles, bares, restaurantes, cervecerías y tiendas de alimentación. Sin embargo, su aportación no es excesivamente relevante para tenerla en cuenta en el diseño de la gestión de biorresiduos en este municipio.

³www.rivasciudad.es/portal/contenedor_dirempresarial.jsp?area5&codMenuPN=37&codMenu=71

4.2. Caracterización de los residuos municipales

4.2.1 Marco administrativo y contractual en materia de residuos

Rivamadrid, Empresa Municipal de Servicios, es el ente público dependiente al 100% del Ayuntamiento de Rivas Vaciamadrid que tiene encomendada la gestión de los residuos en el municipio desde la fecha de creación de la empresa en abril del 2001, siendo un elemento fundamental de su objeto social.

Los servicios que se realizan al Ayuntamiento de Rivas Vaciamadrid en materia de residuos son los siguientes:

- **Recogida de residuos domésticos y asimilables (muebles / voluminosos).** Figura 13.



Figura 13. Recogida de residuos domésticos y voluminosos. Tomada de Rivamadrid (2014).

- **Recogida selectiva de residuos, envases y papel cartón.** La fracción de vidrio es recogida por Ecovidrio. Figura 14.



Figura 14. Recogida de residuos de la fracción papel y cartón, resto y envases, respectivamente. Tomada de Rivamadrid (2014).

- **Gestión de los puntos limpios con todo tipo de residuos (32 fracciones).** Figura 15.



Figura 15. Fotografías tomadas de los puntos limpios. Tomada de Rivamadrid (2014).

- **Recogida de podas y restos de jardinería.** Figura 16.



Figura 16. Recogida de restos de jardinería y podas. Tomada de Rivamadrid (2014).

- **Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición.**
- **Gestión y abono de tasas de vertedero.**

4.2.2. Generación de residuos

En 2014 se han gestionado un total de 30.558 toneladas, de los cuales 2.255 toneladas se gestionan a través de los puntos limpios. Para una población generadora de 80.483 habitantes se obtiene como resultado una tasa anual de 379,7 Kg/habitante o tasa diaria de 1,04 Kg/habitante.

En estos datos no están incluidos los restos vegetales procedentes de la actividad del servicio de Jardinería de Rivamadrid, cuyo destino es la reutilización como mulch. En 2014 se destinaron a tal fin 108 toneladas, evitando además de su depósito en vertedero, y según la metodología de los Proyectos Clima del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, la emisión a la atmosfera de 9,9 toneladas de CO₂. Tampoco están incluidos datos de ropa, calzado y pilas, coordinados desde la concejalía de Medio Ambiente. En la siguiente figura (Figura 17) se representan las fracciones de residuos que se gestionan.

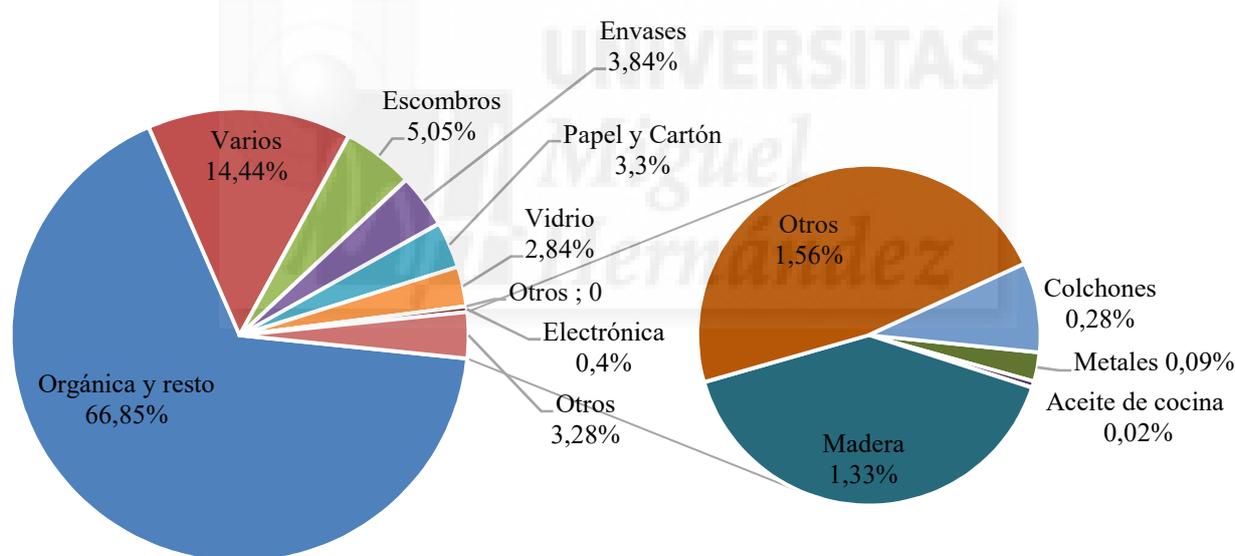


Figura 17. Distribución porcentual en peso de los residuos de Rivas Vaciamadrid de 2014. Datos tomados de Rivamadrid (2014).

En cuanto a los puntos limpios, en 2014 se gestionaron un total de 2.255 toneladas pertenecientes a 38.840 usuarios, lo cual supone un 48% de la población. Se puede comprobar el porcentaje asociado de fracciones más importantes en la Figura 18.

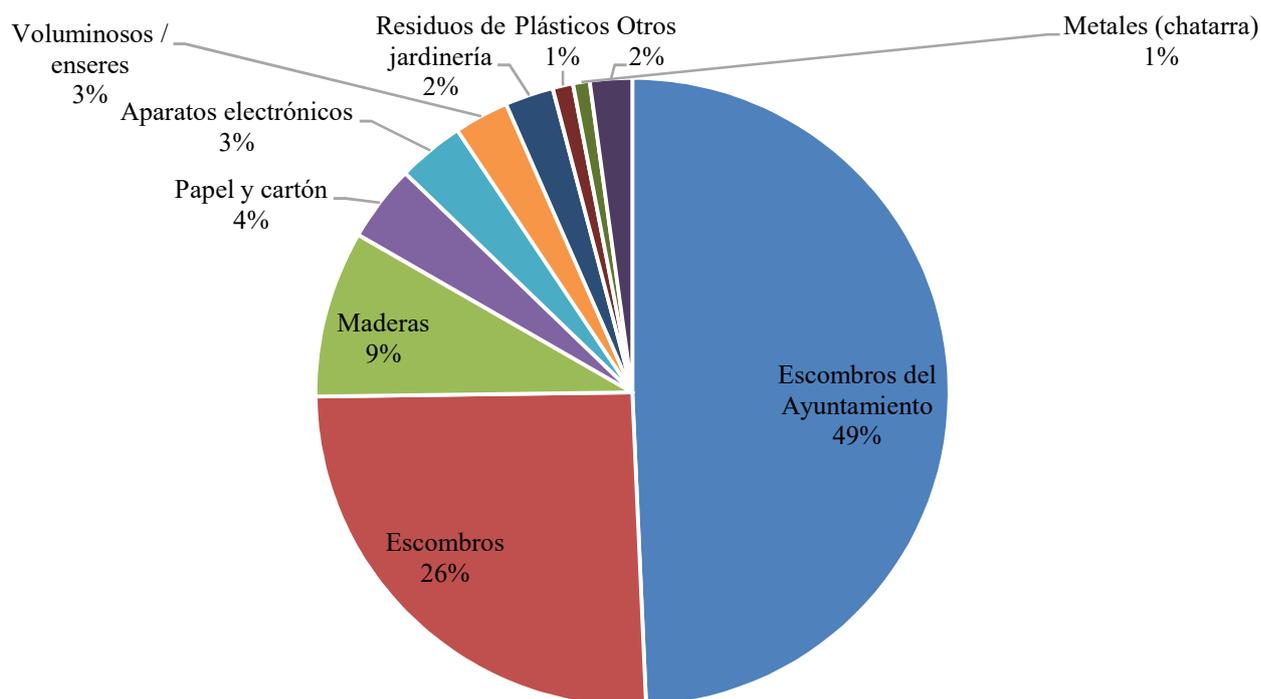


Figura 18. Distribución porcentual en peso de Residuos recogidos en Puntos Limpios en 2014. Datos proporcionados por Rivamadrid.

La evolución de las 4 fracciones habituales, se muestra que, aun habiendo aumentado la población un 3% respecto al año anterior, la cantidad total producida es un 1,4% mayor y, sin embargo, el ratio por habitante ha disminuido un 1,57%. Desde 2010 la cantidad anual recogida ha disminuido un 9%, aun habiendo aumentado la población un 14%, lo que se traduce en una tasa por habitante y año un 20% menor. Sin embargo, la dotación de contenedores por habitante aumentó un 9% lo que se puede explicar por un creciendo del municipio más horizontal que vertical.

4.2.2.1. La fracción mezcla en el municipio y oportunidades de mejora

En 2014 la cantidad total gestionada de la fracción orgánica y resto (fracción mezcla) ha sido de 20.415 toneladas. La cual se compone de un 15.5% de materia orgánica y 36.72% de resto de jardín y podas, lo que supone un total de 52.22% de biorresiduos procedentes de los residuos sólidos urbanos de las zonas residenciales e industriales (Datos proporcionados por Rivamadrid, de la caracterización de 2012 llevada a cabo por Eurocontrol, S.A).

De esta manera, de las 20.415 toneladas solo podrán ser gestionadas como biorresiduos 10.661 toneladas, de las cuales habría que descontar entre un 5-10% de

impropios y entre 10-15% de humedad (en el caso de ser destinado a compostaje). En total se gestionaría entre un 85-75%, correspondiendo unas 9.062-7.996 toneladas anuales aproximadamente. Tomando como objetivo un 80% de recogida selectiva, para poder cumplir con la normativa, **se podrían gestionar un total de 7.250-6.397 toneladas anuales.**

Para determinar la densidad de la materia orgánica separada junto con el resto de poda y jardín (biorresiduos), se ha tenido en cuenta la densidad de la fracción de resto a la entrada de la planta y la densidad de la fracción de materia orgánica separada higienizada, una vez aplicado el tratamiento de higienización de la planta. El primero presenta una densidad de 0,150 kg/L y el segundo 0,600 kg/L según los datos obtenidos tras la caracterización elaborada por ECA-BUREAU VERITAS. Dado que no se dispone datos de densidad ajustados a los biorresiduos a gestionar, se ha elaborado una aproximación a partir de las densidades anteriores. Tomado una proporción 3:1 (Volumen/Volumen), dado que la densidad se acerca más a 0,15 kg/L que a 0,6 kg/L (tras el proceso de autoclavado presenta una mayor cantidad de agua), se ha obtenido una densidad de 0,2625 kg/L⁴.

Una vez conocida la densidad, se puede estimar el volumen diario de biorresiduos a gestionar, siendo un total de 75.668-66.766 L /día.

Sin embargo, a este total habría que restarle el volumen que se gestionan en los compostadores individuales y colectivos repartidos por el municipio (Tabla 10). Estimando una producción de 0,9287- 0,8195 L/día por habitante y 999 compostadores (individuales y colectivos), se estima que aproximadamente 927,77-818,66 L/día no se recogerían mediante el sistema de recogida de Rivamadrid, S.A. Por lo que finalmente se estima un volumen de **74.740-65.947 L/día**, y una masa de **7.161,3-6.318,15 toneladas/año**, lo cual no modifica en exceso la cantidad anterior estimada.

Tabla 10. Número de compostadores individuales y colectivos activos distribuidos en el municipio. Datos aportados por Rivamadrid.

	Activos
Compostador	751
C.Colectivo	3
Vermicompostador	101
Desconocido (no se sabe tipo)	136
Total	999

⁴ Tomando un volumen de referencia de 4000 L,
la densidad de la mezcla = $[(0,15 \text{ kg/L} \cdot 3000 \text{ L}) + (0,6 \text{ kg/L} \cdot 1000 \text{ L})] / 4000 \text{ L} = 0,2625 \text{ kg/L}$

4.2.3. Características generales de los biorresiduos en el municipio

Con fechas 27, 29 y 31 de Mayo de 2012 se realizó por parte del personal de EUROCONTROL una serie de muestreos de varias fracciones de diferentes flujos de residuos, para su posterior estudio densimétrico, análisis de laboratorio y caracterización en campo. Para llevar a cabo la toma de muestra, se procedió a la división en cuartiles de una muestra de 8.000 kg (se realizó una recogida de fracción resto por todo el municipio), cogiendo finalmente una muestra de 250 kg. A partir de esta muestra, se llevó a cabo la caracterización de entrada de residuos sólidos urbanos (fracción de resto), caracterización de la salida en bruto del proceso (fracción de resto autoclavada pero sin separación), caracterización de la pasante de trómel (fracción >15mm) y caracterización de la biomasa (fracción < 15mm, materia orgánica más celulosa, separada del resto de residuos contenidos en la fracción de resto).

Para el conocimiento de las características generales que podría presentar la fracción de la materia orgánica separada o biorresiduos, se ha escogido los valores tomados en la caracterización de la biomasa, dado que la caracterización de entrada de residuos sólidos urbanos es menos representativa al estar mezclada. La muestra analizada se corresponde con la fracción de resto una vez autoclavada y separada del resto de impropios como metales, plásticos, entre otros, por lo que mantiene todas las características generales de la materia orgánica y es de gran orientación. El único parámetro que puede variar es el porcentaje de humedad, ya que la muestra se carga de humedad debido al propio proceso de autoclavado donde se incorpora una gran cantidad de vapor saturado. En este aspecto los datos tomados de humedad oscilan entre 50-55 % siendo más cercanos a 55%.

Para llevar a cabo la caracterización de la biomasa, se tomaron 3 muestras de 50 kg y se procedió a su analítica en el laboratorio. Los resultados se muestran en la Tabla 11 y en la Tabla 12.

Tabla 11. Resultados obtenidos de los parámetros analizados de la fracción de Biomasa en el laboratorio de EUROCONTROL S.A. y ENAC (IPROMA). Tomado del informe I.13.086.1501.00105 (Véase anexo I).

Parámetro	27/05/2013	29/05/2013	31/05/2013	Media	Unidades
PCI _{Base Seca}	3.013	2.918	3.234	3055	Kcal / kg
PCI _{Base Húmeda}	1.232	1.193	1.031	1152	Kcal / kg
Humedad	49,5	49,6	57,7	52	%
Hidrógeno (H)	4,97	5,05	5,41	5	%
Nitrógeno (N)	1,58	1,58	2,08	1,75	%
Oxígeno (O)	26,84	29,87	30,86	29	%
Carbono (C)	36,61	36,09	39,32	37	%
Cloro (Cl)	27,64	1,97	18,55	16	%
Azufre (S)	0,36	0,31	0,2	0,29	%
Sólidos Volátiles (SV)	59,5	66	67,8	64	%
Relación C/N	23	23	19	21	-

Tabla 12. Resultados obtenidos de metales pesados analizados de la fracción de Biomasa en el laboratorio de EUROCONTROL S.A. y ENAC (IPROMA). Tomado del informe I.13.086.1501.00105 (Véase anexo I).

Parámetro	27/05/2013	29/05/2013	31/05/2013	Unidades
Arsénico	0,6±0,2	<0,5	<0,5	mg/kg
Bario	0,9±0,2	1,3±0,3	1,4±0,3	mg/kg
Cadmio	<0,020	<0,020	<0,020	mg/kg
Cromo (total)	0,9±0,2	1,6±0,5	0,8±0,2	mg/kg
Cromo VI	No determinado	No determinado	No determinado	mg/kg
Cobre	<0,25	<0,25	<0,25	mg/kg
Mercurio	<0,010	<0,010	<0,010	mg/kg
Molibdeno	<0,10	<0,10	0,11±0,03	mg/kg
Níquel	1,4±0,4	0,9±0,3	1,2±0,4	mg/kg
Plomo	<0,5	<0,5	<0,5	mg/kg
Antimonio	0,07±0,02	0,01±0,02	0,09±0,02	mg/kg
Selenio	<0,07	<0,07	0,1±0,02	mg/kg
Zinc	9±2	8±2	17±4	mg/kg
Cloruros	2.800±600	2.100±500	3.100±700	mg/kg
Fluoruros	0,7±0,1	1,3±0,3	<0,5	mg/kg
Sulfatos	6.000±2.000	5.000±1.000	2.200±600	mg/kg
COD	16.000±4.000	26.000±6.000	21.000±5.000	mg/kg
Sólidos totales	80.000±20.000	80.000±20.000	60.000±10.000	mg/kg
Índice de fenoles	<10	4±1	<5	mg/kg
COT	110.000±20.000	80.000±10.000	100.000±10.000	mg/kg
BTEX	<0,1	<0,1	<0,1	mg/kg
PCB's	<0,2	<0,2	<0,2	mg/kg
Accite mineral	700±100	1.100±200	530±90	mg/kg

4.2.4. Evolución de la recogida separada

Las rutas de recogida separada se han mantenido a lo largo de los últimos ocho años, aunque el número de contenedores ha ido incrementándose (véase Tabla 13) conforme crecía la ciudad y por tanto se incrementaba la población.

En el año 2008 y 2009, la recogida de residuos se realizaba todos los días del año con el sistema de carga lateral para la fracción orgánica y resto, las cuales se dividían en 3 rutas para la primera y la fracción envases, en 2 rutas. Con el sistema de carga trasera se realizaba una ruta los cinco días en horario nocturno y dos días en horario diurno.

A partir del 2010, la recogida de residuos de la fracción orgánica más resto y la fracción envases se mantuvo igual como la ruta de carga trasera, en cambio se incorporó la fracción de papel y cartón mediante sistema de carga lateral, la cual se dividía en 2 rutas. También se empleaba el sistema de carga superior para la recogida de papel y cartón en el Polígono y un par de recintos en zona residencial (hasta su adaptación al sistema de carga lateral).

En 2012 y en adelante, se mantuvo las 5 rutas diarias con el sistema de carga lateral, de las cuales 3 rutas todos los días se destinaban a la fracción orgánica más resto, 2 rutas en días alternos para la fracción de envases ligeros y otras 2 rutas para la fracción de papel y cartón. También permaneció igual la ruta diaria con el sistema de carga trasera (fracción resto) de la zona industrial y de las dos zonas de extrarradio. Sin embargo, se incorporaron 2 rutas diarias (mañana y tarde) con el sistema de gancho portacontenedores para podas y voluminosos. Además semanalmente se realiza la recogida del papel y cartón de la zona industrial mediante el sistema de carga superior. Además, en este año se incorporaron en los dos puntos limpios contenedores para la fracción de papel y cartón y restos de jardinería.

Tabla 13. Evolución de la contenerización desde 2008 a 2014. Datos tomados de Rivamadrid (2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014).

Tipo de residuo	Procedencia	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Residuos domiciliarios (Fracción orgánica + resto) y asimilables a urbanos	Hogares	101 carga lateral 3200 L y 279 de 2400 L	131 carga lateral 3200 L y 266 de 2400 L	205 carga lateral 3.200 L y 240 de 2.400 L	195 carga lateral 3200 L y 218 de 2400 L	283 carga lateral 3200 L y 173 de 2400 L	283 carga lateral 3200 L y 173 de 2400 L	293 carga lateral 3200 L y 167 de 2400 L
	Actividades industriales y comerciales	551 carga trasera 800 L y 199 de 360 L	580 carga trasera 800 L y 203 de 360 L	491 carga trasera 800 L y 112 de 360 L	492 carga trasera 800 L y 110 de 360 L	540 carga trasera 800 L y 125 de 360 L	540 carga trasera 800 L y 125 de 360 L	560 carga trasera 800 L y 123 de 360 L
Envases ligeros	Hogares	85 carga lateral 3200 L y 129 de 2400 L	99 carga lateral 3200 L y 125 de 2400 L	117 carga lateral 3.200 L y 122 de 2.400 L	116 carga lateral 3200 L y 122 de 2400 L	183 carga lateral 3200 L y 84 de 2400 L	183 carga lateral 3200 L y 84 de 2400 L	194 carga lateral 3200 L y 79 de 2400 L
Papel y cartón	Exterior	-	-	1 compactador estático de 20 m ³	1 compactador estático de 20 m ³	1 compactador estático de 20 m ³	1 compactador estático de 20 m ³	1 compactador estático de 20 m ³
	Hogares	1 compactador estático de 20 m ³	1 compactador estático de 20 m ³	225 carga lateral 3.200 L y 2 carga superior 3.000 L	225 carga lateral 3200 L y 2 carga superior 3000 L	256 carga lateral 3.200 L	256 carga lateral 3.200 L	263 carga lateral de 3.200 L
	Polígono	-	-	50 carga superior 3.000 L	50 carga superior 3000 L	51 iglús 3.000 L	51 iglús 3.000 L	51 iglús 3.000 L
	Punto Limpio C/ Fundición	-	-	-	-	1 de 30 m ³	1 de 30 m ³	1 de 30 m ³
	Punto Limpio C/Severo Ochoa	-	-	-	-	1 de 30 m ³	1 de 30 m ³	1 de 30 m ³
Restos de jardinería (Podas, siegas, desbrozados, plantas, etc.)	Parques, zonas ajardinadas y jardines privados	1 de 12 m ³ , 5 de 17 m ³ y 2 de 30 m ³	1 de 12 m ³ , 5 de 17 m ³ y 2 de 30 m ³	1 de 12 m ³ , 5 de 17 m ³ y 2 de 30 m ³	1 de 12 m ³ , 5 de 17 m ³ , 2 de 30 m ³	1 de 12 m ³ , 5 de 17 m ³ y 2 de 30 m ³ (1)	1 de 12 m ³ , 5 de 17 m ³ y 2 de 30 m ³ (1)	3 de 30 m ³ , 1 de 12 m ³ , 5 de 17 m ³ y 2 de 30 m ³ (1), 2 de 7 m ³
	Punto Limpio C/ Fundición	-	-	-	-	1 de 30 m ³	1 de 30 m ³	1 de 30 m ³
	Punto Limpio C/Severo Ochoa	-	-	-	-	1 de 30 m ³	1 de 30 m ³	1 de 30 m ³
	Residuos de barredoras	-	-	-	-	-	2 de 7 m ³	-
Vidrio (2)	-	-	-	-	222 carga superior 3000 L	236 iglús 2,7 m ³	236 iglús 2,7 m ³	236 iglús 2,7 m ³

1. No se cuenta el usado para mulch; 2. El vidrio es gestionado por Ecovidrio.

En cuanto a la evolución de la contenerización, se ha observado un incremento del 25% en el 2014 respecto al año 2008, asociado al incremento demográfico en el municipio. Este incremento no es homogéneo en las tipologías de contenedores, sino que en función del tipo de contenedor (Carga lateral de 3500 L, Carga lateral de 2400 L, Carga trasera de 800 L y Carga trasera de 360 L) se ha incrementado o aminorado el número de los mismos. Como se observa en la Figura 19, se ha pasado de un sistema predominante de carga lateral de 2400 L a uno sistema de carga lateral de 3200 L. En cuanto al sistema de carga trasera, se ha mantenido constante a lo largo de los años, observándose un fuerte predominio del contenedor de carga trasera de 800 L.

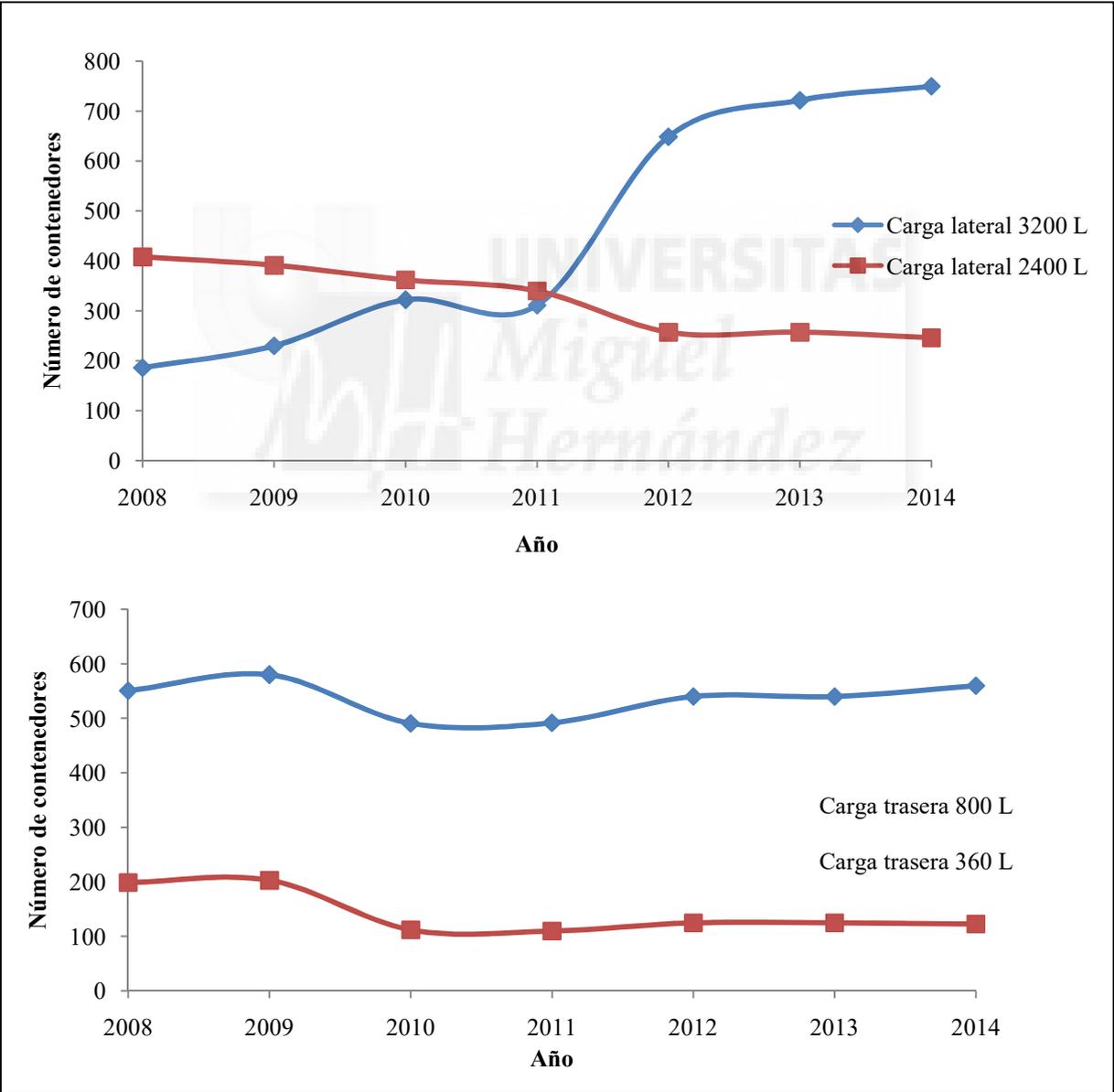


Figura 19. Evolución de la contenerización del 2008 al 2014.

Si se observa la Figura 20, se puede comprobar que de un 14% de contenedores de carga lateral de 3200 L en 2008 se ha aumentado a un 45% en 2014, en detrimento de los contenedores de 2400 L que de un 30% en 2008 han pasado a un 15% en 2014. Esto se debe a que a partir del 2011 se tomó la decisión no adquirir más contenedores de 2400 L debido a su menor tamaño. En cuanto a los contenedores de carga trasera, se ha comprobado una disminución del 40% en 2008 a un 33% en 2014 en contenedores de 800 L, y una disminución del 14% a un 7% en los de 360 L. Por lo que se ha pasado de un predominio de carga trasera a un sistema de carga lateral y en concreto de 3200 L.

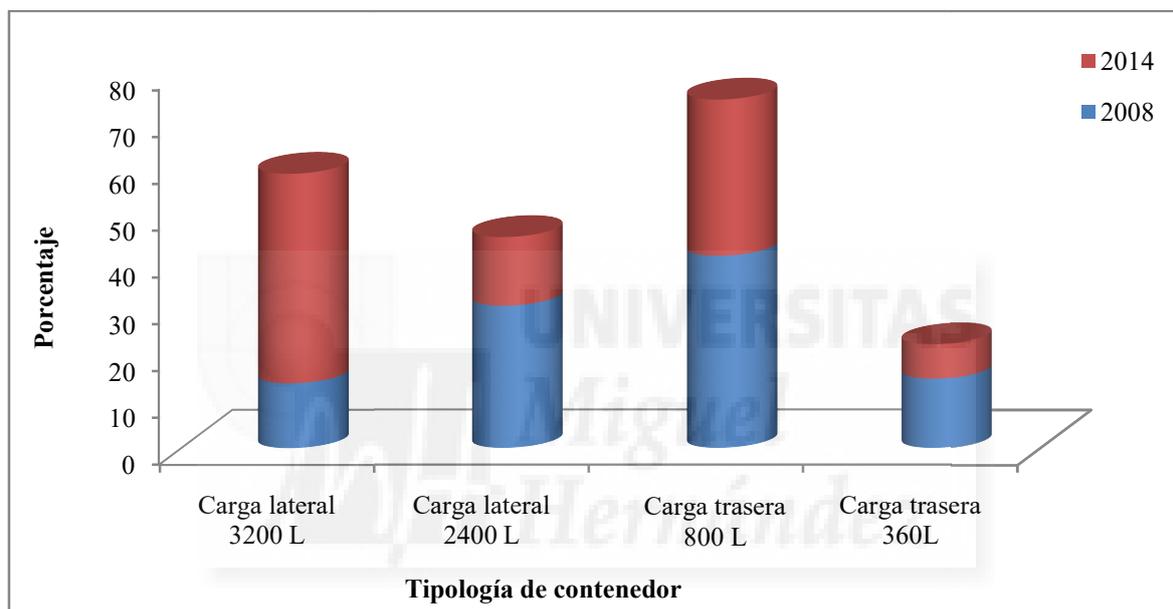


Figura 20. Evolución porcentual de la contenerización del 2014 respecto del 2008.

4.2.5. Servicio actual de recogida de residuos

4.2.5.1. Descripción del servicio de recogida en el municipio de Rivas-Vaciamadrid

El modelo de gestión de residuos urbanos implantado en Rivas Vaciamadrid se basa en la recogida selectiva de 4 fracciones principales + poda: **Orgánica y resto, Envases ligeros, Papel y cartón, Vidrio y Residuos de jardinería.**

Los residuos **peligrosos o voluminosos** deben ser depositados en los **2 Puntos Limpios** del municipio, si bien en el caso de los voluminosos existe además un servicio de **recogida de muebles y enseres gratuito**. Por lo tanto, la empresa municipal de servicios de Rivas-Vaciamadrid se encarga de la gestión de los residuos urbanos del municipio a

excepción del vidrio, recogido y transportado por Ecovidrio, la ropa y el calzado y las pilas, coordinados desde la concejalía de Medio Ambiente.

En cuanto a la recogida, los residuos de la fracción de resto (orgánica + resto) doméstico y comercial son recogidos mediante el sistema de carga lateral, los cuales proceden principalmente de zonas residenciales. En cuanto a la fracción resto industrial, se recoge en el polígono industrial y en las zonas de extrarradio mediante recogida en carga trasera.

El papel y cartón procede de varias fuentes distintas: recogida municipal en contenedor azul de carga lateral, desbordes del contenedor azul y cartón comercial, puntos limpios y contenedores iglú en zona industrial. Tanto los desbordes como el contenido de los iglús se llevan a la sede de Rivamadrid donde se realiza un triaje manual, eliminando aquello que no es papel cartón, y se introduce en una compactadora de cartón. De todas estas fuentes, la de mayor importancia es la procedente de la recogida municipal del contenedor azul de carga lateral.

Principalmente está implantado el sistema de carga lateral con contenedores metaloplásticos de 3.200 L, salvo para la fracción vidrio que se recoge mediante carga superior (iglú) y la fracción resto en la zona industrial y extrarradios que se recoge en carga trasera.

La recogida se realiza diariamente mediante 8 rutas durante 363 días al año empleando diferentes sistemas para ello:

- **5 rutas** diarias con el sistema de carga lateral:
 - Fracción orgánica y resto: 3 rutas que se realizan todos los días que disponen de un total de 275 puntos de recogida. La ruta 1 (Este) dispone 95 puntos de recogida, la ruta 2 (Centro) dispone de 70 y la ruta 3 dispone de 110 (Oeste), (Figura 21).
 - Fracción envases ligeros: 2 rutas que se realizan en días alternos (Figura 22).
 - Fracción papel y cartón: 2 rutas que se realizan en días alternos (Figura 23).

- **1 ruta** diaria con el sistema de carga trasera (fracción resto) de la zona industrial y alternando las dos zonas de extrarradio. Cabe mencionar que la recogida en la zona industrial (polígono) se realiza puerta a puerta, de manera que cada establecimiento dispone de un contenedor propio facilitado por Rivamadrid. De este modo, se evita el vertido de impropios y por lo tanto se garantiza una recogida separada adecuada.

- 2 rutas diarias (mañana y tarde) con el sistema de gancho portacontenedores para podas y voluminosos.



Figura 21. Ruta 1, 2 y 3 respectivamente de residuos orgánicos y resto. Tomada de la página web de Rivamadrid⁵.



Figura 22. Ruta 1 y 2 respectivamente de residuos de envases ligeros. Tomada de la página web de Rivamadrid⁶.

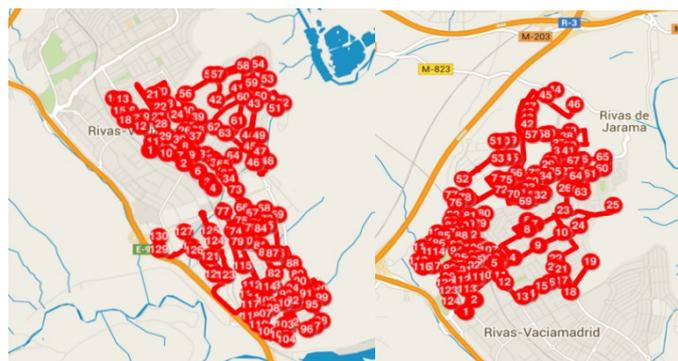


Figura 23. Ruta 1 y 2 respectivamente de residuos de papel y cartón. Tomada de la página web de Rivamadrid⁷.

⁵<https://www.rivamadrid.es/content/rutas-recogida-residuos/>.

⁶<https://www.rivamadrid.es/content/rutas-recogida-residuos/>.

⁷<https://www.rivamadrid.es/content/rutas-recogida-residuos/>.

Además semanal o quincenalmente (según el grado de llenado) se realiza la recogida del papel y cartón de la zona industrial mediante el sistema de carga superior. El horario habitual de recogida se puede observar en la Tabla 14.

Tabla 14. Horario de recogida de las tres fracciones de residuos del municipio de Rivas-Vaciamadrid. Datos proporcionados por Rivamadrid.

Horario habitual de recogida		
Fracción	Lunes a Viernes	Sábados, Domingos y Festivos
Orgánica + resto	6:00 a 13:30	7:00 a 14:30
Envases	14:30 a 22:00	7:00 a 14:30
Papel/cartón	14:30 a 22:00	7:00 a 14:30

En cuanto a la recogida mensual, véase Figura 24, en el 2014 se establece un patrón muy similar respecto al 2013 repitiéndose a lo largo de los años, donde agosto continua siendo el mes en el que menor cantidad de residuos se genera (febrero sólo tiene 28 días), lo que se puede explicar por el descenso de población debido a las vacaciones. En cuanto a los meses que se produce una mayor generación de residuos, en el 2014 son el mes de diciembre, junio, octubre y mayo, mientras que en el 2013 son junio, abril, octubre y enero. Por otro lado, cabe mencionar que la recogida diaria es similar en los siete días semanales, por lo que no se muestran picos en días preferentes.

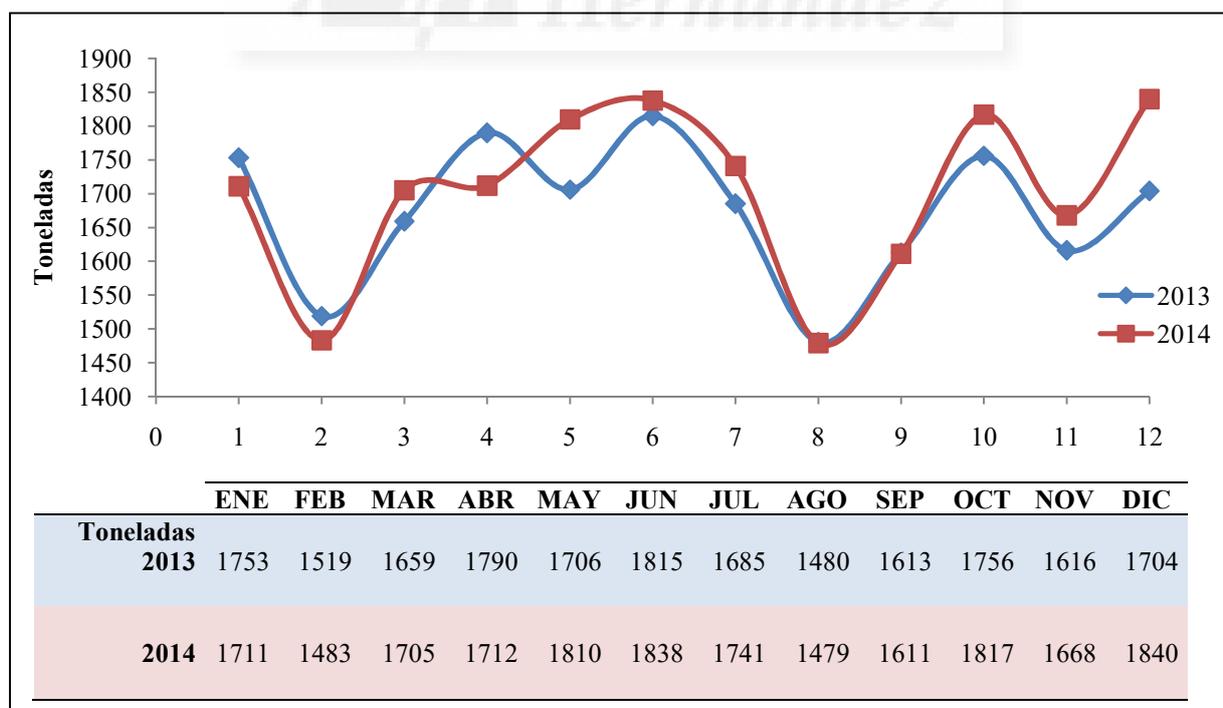


Figura 24. Recogida mensual fracción mezcla (Materia orgánica + resto) 2013-2014. Datos tomados de Rivamadrid (2014).

Una vez realizada la recogida separada, se procede al vertido de los residuos en el Vertedero de la Mancomunidad del Este (Figura 25), ubicado en Alcalá de Henares a 37 km aproximadamente de Rivamadrid.

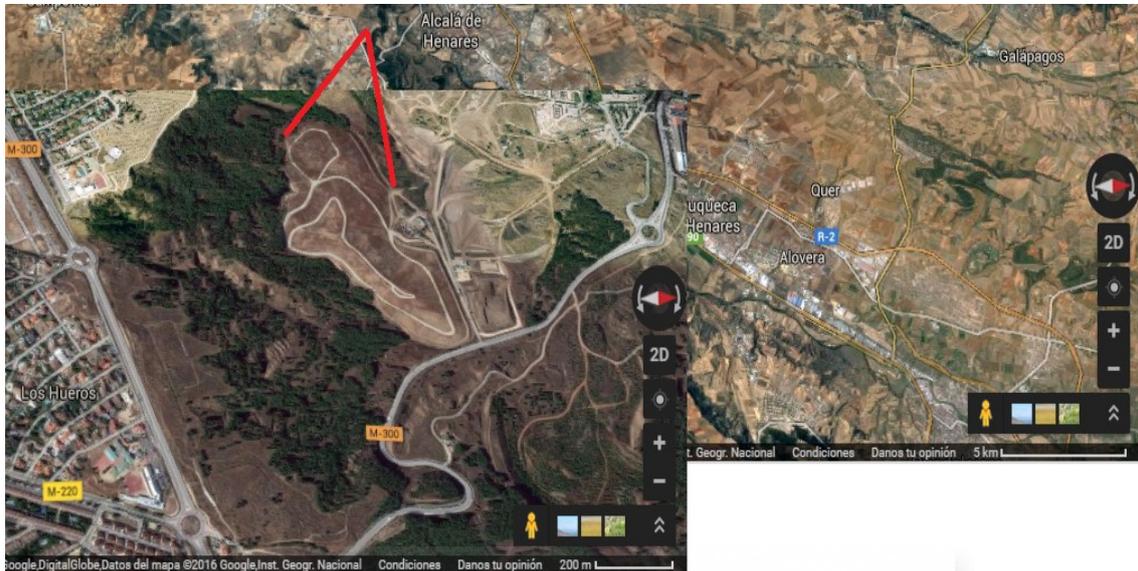


Figura 25. Ubicación geográfica del vertedero de la Mancomunidad del Este. Tomada de Google Maps.

4.2.5.2. Descripción del servicio de puntos limpios en el municipio

El municipio presenta dos Puntos Limpios, donde se gestionan 31 fracciones diferentes de residuos, véase Tabla 15. Como ventaja, presentan días de descanso distintos (uno cierra los lunes y otro los martes) por lo que se garantiza el servicio los 7 días de la semana, excepto en Julio y Agosto durante los cuales el punto limpio de Severo Ochoa cierra sus puertas para optimizar el gasto económico y el servicio público. El horario de apertura es de 10 a 21 horas, excepto sábados, domingos y festivos en el punto limpio de Severo Ochoa que es de 10 a 19 horas. El punto limpio de Severo Ochoa cierra los martes y el punto limpio Fundación los lunes.

Aunque en ambos puntos limpios se recibe el máximo de visitas los sábados, siendo el tramo horario de mayor afluencia de 12 a 13 horas en el punto limpio de c/ Fundación y de 18 a 19 horas en el punto limpio de c/ Severo Ochoa.

Tabla 15. Fracciones gestionadas en los dos Puntos Limpios y su respectiva cantidad. Datos proporcionados por Rivamadrid.

Fracciones de Residuos	
Absorbentes contaminados	Grandes electrodomésticos (lavadoras, microondas)
Aceite de automoción	Maderas
Aceite usado de cocina	Metales (chatarra)
Aparatos de frío	Papel y cartón
Aparatos electrónicos	Pilas
Baterías	Pinturas, barnices
Cloro para piscinas	Plásticos
Colchones	Radiografías
Disolventes	Residuos de jardinería
Envases contaminados metálicos	Ropa y calzado
Envases contaminados plásticos	Tapones de plástico
Escombros	Termómetros
Escombros del Ayuntamiento	Tóner y cartuchos
Filtros de aceite	Tv y monitores
Fitosanitarios	Vidrio
Fluorescentes	Voluminosos / enseres

4.2.5.3. Costes de recogida y tratamiento de residuos

Para analizar los costes del servicio de retirada de residuos sólidos urbanos se ha tomado como fuente los datos proporcionados por el programa de contabilidad de Rivamadrid (Contaplus Elite), y en concreto las cuentas de pérdidas y ganancias de los proyectos o centros de coste en que está dividida la empresa. A continuación (Tabla 16), siguiendo los criterios establecidos para el cálculo del coste efectivo de los servicios prestados por las entidades locales, repartimos los costes indirectos (administración, taller, y gastos financieros) en función del volumen de gasto de los centros de coste directos, obteniendo los siguientes costes totales en la Tabla 17.

Tabla 16. Costes totales de residuos sólidos urbanos, puntos limpios, tasa de vertedero y coste total de todos ellos. Datos aportados por Rivamadrid.

	Costes Directos	Costes Indirectos	Coste Total 2014
Residuos Sólidos Urbanos	1.343.286,79	249.409,53	1.592.696,32
Punto Limpio	165.856,94	30.794,84	196.651,78
Tasa de Vertedero	519.500,45	96.456,22	615.956,67
Total	2.028.644,17	376.660,59	2.405.304,76

En la Tabla 17, se detalla el desglose de los costes de la tasa de residuos urbanos, vertedero y punto limpio.

Tabla 17. Desglose de costes totales anuales de residuos urbanos, vertedero y puntos limpios. Datos aportados por Rivamadrid.

	Residuos Urbanos	Vertedero	Puntos Limpios
Aprovisionamientos	214.709,33		365,23
Consumo de mercancías	2.662,75		143,91
Consumo de materias primas y otras mc	211.121,52		103,68
Variación de existencias de otros aprovisionamientos	1.828,27		224,55
Variación de existencias de materias primas	-903,21		-106,91
Gastos de personal	673.155,24		74.880,82
Sueldos, salarios y asimilados	515.935,40		57.446,75
Otras cargas sociales	157.319,84		17.434,07
Otros gastos de explotación	245.710,78	519.500,45	58.915,76
Servicios exteriores	165.432,36	519.500,45	46.721,59
Arrendamientos y cánones	0,00		0,00
Reparaciones y conservación	132.476,12		1.457,61
Servicios prof.Independientes	1.232,14		151,35
Transportes	12,60		0,00
Primas de seguros	15.879,23		944,98
Servicios bancarios y similares	0,00		0,00
Publicidad prop. Y rp	1.368,26		91,68
Suministro	1.423,95		9.655,59
Otros servicios	4.040,06	519.500,45	34.420,35
Tributos	86.383,51		11.838,61
Otros tributos	3.514,27		214,17
Ajustes negativos en IVA	82.869,24		11.624,44
Otros gastos de Gestión Corriente	2.894,91		355,56
Amortización	209.711,44		31.695,13
Amortización inmovilizado material	209.628,01		31.684,88
Amortización inmovilizado inmaterial	83,43		10,25
TOTAL POR SERVICIO	1.343.286,79	519.500,45	165.856,84

Por último y en función de las toneladas de residuo recogidas en 2014 obtenemos los siguientes costes totales en la Tabla 18.

Tabla 18. Costes totales de hogares, pequeño comercio, restauración, puntos limpios, actividades industriales y actividades comerciales. Datos aportados por Rivamadrid.

	Costes	Porcentaje
Hogares, pequeño comercio y restauración, y Punto Limpio	2.190.261,48	91,06
Actividades industriales y comerciales	215.043,28	8,94

Como se observaba en los datos de recogida mencionados anteriormente, las toneladas agregadas por tipo de servicio serían las que se observan la Tabla 19.

Tabla 19. Toneladas agregadas por tipo de servicio. Datos aportados por Rivamadrid.

Tipo de servicio	Toneladas
Hogares, pequeño comercio y restauración, y Punto Limpio	27.826
Actividades industriales y comerciales	2.732
Total de Toneladas Recogidas	30.558

Para calcular los datos de coste, se proporcionan las siguientes cifras recabadas por el Ayuntamiento de Rivas-Vaciamadrid en la Tabla 20.

Tabla 20. Número de unidades fiscales de vivienda, comercios e industrias, y densidad poblacional. Datos aportados por Rivamadrid.

Datos 1 enero 2014	Unidades
Población censo	80.483
Unidades fiscales de vivienda	28.368
Unidades fiscales uso comercial	1.169
Unidades fiscales uso industrial	993

Así, por último, los costes de la empresa quedan resumidos en la Tabla 21.

Tabla 21. Resumen de los costes de la empresa. Datos aportados por Rivamadrid.

	Indicadores. Coste Total	Coste vertedero	Coste recogida
Coste por habitante	27,21	6,97	20,24
Coste por unidad residencial	77,21	19,77	57,44
Coste por unidad comercial e industrial	99,46	25,47	73,99
Coste por tonelada	78,71	20,16	58,56
Kg. Por habitante	345,74	-	-
Kg. Por unidad residencial	980,89	-	-
Kg. Por unidad comercial e industrial	1.263,64	-	-

4.2.6. Lavado de contenedores

Se realiza mediante un camión lava-contenedores de carga lateral y/o una hidrolimpiadora a presión, ejecutando el lavado de contenedores in situ. Con el camión lava-contenedores, el lavado se realiza una vez se han vaciado los contenedores y siempre adoptando las medidas necesarias para evitar ensuciar la vía pública. Por este motivo el camión lava-contenedores se ha de coordinar con el camión recolector compactador de carga lateral realizando la ruta de recogida en forma de convoy; primero se vacía el contenedor y luego se lava. Las frecuencias establecidas son:

- Contenedores para orgánica y resto: 12 anuales (Objetivo Rivamadrid).
- Contenedores para envases: 8 anuales (Convenio Ecoembes).
- Contenedores para papel/cartón: 3 anuales (Convenio Ecoembes).
- Contenedores para vidrio: 3 anuales (Convenio Ecovidrio).

Con cada lavado de contenedores se procede simultáneamente a lavar el espacio que se ocupa en la calzada utilizando los mismos productos higienizantes y desodorizantes que se usan para los contenedores. Esto es posible a un desarrollo mecánico realizado por Rivamadrid adaptando el circuito hidráulico del camión lavacontenedores.

5. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

A continuación se detallarán las alternativas más adecuadas para la gestión de los biorresiduos obtenidos, teniendo en cuenta un volumen diario de 74.740-65.947 L/día y una densidad de 0,2625 kg/L.

Los sistemas de recogida separada de biorresiduos en el municipio de Rivas-Vaciamadrid se limitan únicamente a la fracción orgánica de los residuos sólidos y la fracción vegetal generados en los domicilios, así como también los residuos similares a urbanos de las actividades comerciales o empresariales pertenecientes al municipio. De modo que la fracción vegetal obtenida de parques y jardines es gestionada de forma separada y no entra dentro de este ámbito. Por lo tanto el ámbito de aplicación de la recogida de biorresiduos se compone de la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos de origen Urbano denominado FORSU en adelante, o FORM, compuesta de los restos orgánicos alimenticios y la fracción vegetal generada en la zona residencial exclusivamente (la zona de polígono y extrarradio no se incluye), esta última compuesta por restos de jardín y fracción vegetal leñosa inferior a 1 cm de diámetro. Por lo que los restos de poda leñosos superiores a 1cm de diámetro se recogerán en los contenedores provistos para recogida de residuos vegetales en los puntos limpios, aunque cabe la posibilidad de su depósito inadecuado en los contenedores de resto.

5.1. Evaluación de las alternativas en materia de compostaje

Conociendo las características del residuo de partida (fracción orgánica separada de los residuos sólidos urbanos del municipio de Rivas-Vaciamadrid), la opción de compostaje es bastante acertada dadas sus características intrínsecas (Tabla 22).

Tabla 22. Resultados obtenidos de los parámetros analizados de la fracción de Biomasa en el laboratorio de EUROCONTROL S.A. y ENAC (IPROMA). Tomado del informe I.13.086.1501.00105 (Véase anexo I).

Parámetro	27/05/2013	29/05/2013	31/05/2013	Media	Unidades
Humedad	49,50	49,60	57,70	52,26	%
Nitrógeno (N)	1,58	1,58	2,08	1,75	%
Oxígeno (O)	26,84	29,87	30,86	29,19	%
Carbono (C)	36,61	36,09	39,32	37,34	%
Relación C/N	23	23	19	21	-

Teniendo en cuenta que la humedad óptima para el crecimiento microbiano se encuentra entre el 50-60 %. La actividad biológica decrece cuando la humedad está por debajo del 30 %. Por encima del 60 % el agua desplaza al aire en los espacios libres existentes entre las partículas, reduciéndose la transferencia de oxígeno y produciéndose la anaerobiosis (Ambrose, 1893; Stentiford, 1987). Cuando se entra en condiciones anaerobias, se originan malos olores y disminuye la velocidad del proceso (Magalhaes et al., 1993). De esta manera, el material planteado presenta un porcentaje de humedad idóneo para ser compostado.

En cuanto a la relación C/N, es uno de los parámetros fundamentales para comprobar si un material es óptimo para ser compostado o no. Esto se debe a que de los muchos elementos requeridos para la descomposición a través de microorganismos, el carbono y el nitrógeno son los dos más importantes y los que más frecuentemente resultan tener el carácter de ser un factor limitante. El carbono es una fuente de energía y elemento estructural básico, por otro lado, el Nitrógeno es un componente decisivo de las proteínas que permite el desarrollo de los microorganismos. De esta manera, una relación C/N de 20-35 mantendrá a estos elementos en un cierto equilibrio, considerándose óptima en torno a 30 (Chica Pérez et al., 2015; Gotaas, 1956; Haugh, 1993). De manera que el material se encuentra dentro del rango razonable.

Teniendo en cuenta una relación C/N próxima al límite inferior, sería conveniente el estudio de la posibilidad de adición de un estructurante. Para aumentar la relación C/N a la vez de homogeneizar y estructurar el material de partida. Algunos ejemplos serían:

- El *serrín* es un material, en general, con bajo contenido en humedad y carbono, su degradabilidad es de moderada a baja. En general, es buen absorbente de humedad y olores. Normalmente está disponible a bajo coste y se trata de un buen enmendante del compostaje.
- Las *astillas de madera*, suelen ser un material seco y con alto contenido en carbono. Tienen gran tamaño de partícula, lo que proporciona una excelente estructura pero muy baja degradabilidad y su coste es moderadamente bajo.
- Las *hojas*, son relativamente secas y tienen un alto contenido en carbono. Presentan buena degradabilidad si están troceadas y su absorción de humedad es moderada. El riesgo potencial de producción de olores es bajo y compostan solas o en mezcla como coadyuvantes. A menudo contiene desechos, piedras, bolsas de plástico sobre todo si proceden de recogida urbana (de las calles). Se trata de un producto muy estacional por lo que es necesario su almacenaje o manejo especial (distribución en el tiempo), aunque se considera un material bueno en compostaje.

Como se observa anteriormente, al incorporar un estructurante a la mezcla no solo aumentaría el porcentaje de carbono y con ello la relación C/N, sino que también disminuiría el porcentaje de humedad. Conociendo que el porcentaje de humedad del residuo es ligeramente inferior al óptimo de 60%, una disminución a causa de la adición de estructurante conllevaría a la corrección de este porcentaje mediante la incorporación de agua en la mezcla. Por todo ello, es necesario elaborar un estudio más detallado donde se determine la necesidad o no de aplicar un estructurante, y en caso afirmativo la cantidad y tipología del mismo más adecuada. En cuanto a la presencia de metales pesados, si se observa la Tabla 23, se puede comprobar que las cantidades son mínimas y no superan los límites de la normativa (Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes).

Tabla 23. Resultados obtenidos de metales pesados analizados de la fracción de Biomasa en el laboratorio de EUROCONTROL S.A. y ENAC (IPROMA). Tomado del informe I.13.086.1501.00105 (Véase anexo I).

Parámetro	27/05/2013	29/05/2013	31/05/2013	Unidades
Arsénico	0,6±0,2	<0,5	<0,5	mg/kg
Bario	0,9±0,2	1,3±0,3	1,4±0,3	mg/kg
Cadmio	<0,020	<0,020	<0,020	mg/kg
Cromo (total)	0,9±0,2	1,6±0,5	0,8±0,2	mg/kg
Cromo VI	No determinado	No determinado	No determinado	mg/kg
Cobre	<0,25	<0,25	<0,25	mg/kg
Mercurio	<0,010	<0,010	<0,010	mg/kg
Molibdeno	<0,10	<0,10	0,11±0,03	mg/kg
Níquel	1,4±0,4	0,9±0,3	1,2±0,4	mg/kg
Plomo	<0,5	<0,5	<0,5	mg/kg
Antimonio	0,07±0,02	0,01±0,02	0,09±0,02	mg/kg
Selenio	<0,07	<0,07	0,1±0,02	mg/kg
Zinc	9±2	8±2	17±4	mg/kg
Cloruros	2.800±600	2.100±500	3.100±700	mg/kg
Fluoruros	0,7±0,1	1,3±0,3	<0,5	mg/kg
Sulfatos	6.000±2.000	5.000±1.000	2.200±600	mg/kg
COD	16.000±4.000	26.000±6.000	21.000±5.000	mg/kg
Sólidos totales	80.000±20.000	80.000±20.000	60.000±10.000	mg/kg
Índice de fenoles	<10	4±1	<5	mg/kg
COT	110.000±20.000	80.000±10.000	100.000±10.000	mg/kg
BTEX	<0,1	<0,1	<0,1	mg/kg
PCB's	<0,2	<0,2	<0,2	mg/kg
Aceite mineral	700±100	1.100±200	530±90	mg/kg

5.1.1. Definición del proceso de compostaje

El **compostaje** es un proceso biológico aerobio, que bajo condiciones de aireación, humedad y temperaturas controladas y combinando fases mesófilas (temperatura y humedad medias) y termófilas (temperatura superior a 45°C), transforma los residuos orgánicos degradables, en un producto estable e higienizado, aplicable como abono o sustrato. Es decir, el compostaje es:

- "Un proceso biológico controlado de conversión y revalorización de los sustratos orgánicos (subproductos de la biomasa, desechos orgánicos de origen biológico, etc.) en un producto estabilizado, higienizado, y semejante a un suelo rico en compuestos húmicos" (Mustin, 1987).
- "El compostaje es un proceso bio-oxidativo controlado, que requiere sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, implica el paso por una etapa termófila y una producción temporal de fitotoxinas, dando lugar al final dióxido de carbono, agua y minerales como productos de los procesos de degradación, así como una materia orgánica estabilizada, libre de fitotoxinas y dispuesta para su empleo en agricultura sin que provoque fenómenos adversos." (Costa et al., 1991).
- "La descomposición y estabilización biológica de sustratos orgánicos, bajo condiciones que permiten el desarrollo de temperaturas termófilas como resultado del calor producido biológicamente, para producir un producto final estable, libre de patógenos y semillas activas, y que puede aplicado de forma beneficiosa al suelo." (Haugh, 1993).

Este proceso se divide en dos etapas independientes, pero con un cierto grado de simultaneidad y velocidades diferentes: descomposición y maduración.

- **Descomposición.** Las moléculas orgánicas e inorgánicas más sencillas se descomponen rápidamente, provocando un aumento rápido de la temperatura, que pasa de un rango mesófilo (<50°C) a un rango termófilo (>50°C). Es interesante que se mantenga el rango termófilo durante un tiempo suficiente para asegurar la inactivación de los patógenos.
- **Maduración.** En esta etapa, se forman macromoléculas nuevas (ácido húmico, ácido fúlvico, etc.) y los compuestos más lentamente degradables continúan su descomposición, formando ácidos grasos. Es necesario dejar tiempo suficiente para que se degraden estos ácidos, pues son fitotóxicos.

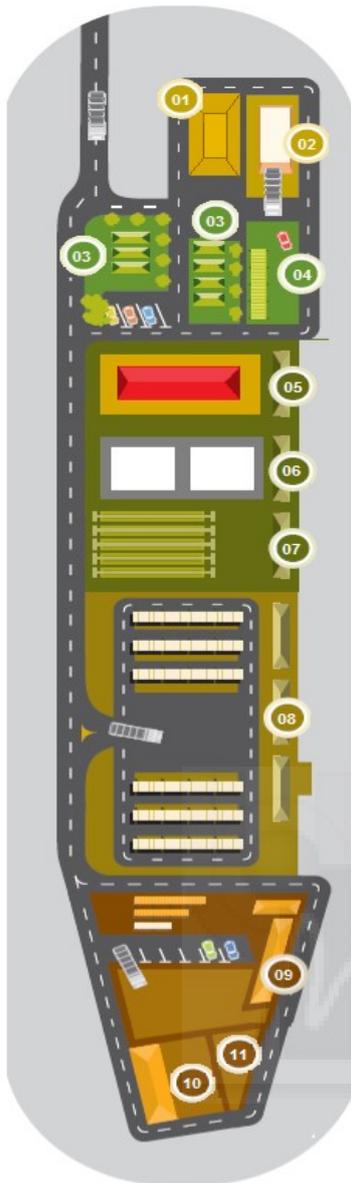
Todos los factores que afectan a los microorganismos afectan al proceso. Estos factores se verán influenciados por las condiciones ambientales (en función de la tecnología y del control del proceso, se tendrá un mayor o menor control sobre ellos) y por las características del residuo. Las condiciones ambientales a tener en cuenta son:

- **Oxígeno y aireación.** El oxígeno es esencial para la actividad biológica, ya que se trata de un proceso aerobio. Su consumo varía a lo largo del proceso, dependiendo de la temperatura, humedad, tiempo de degradación y la porosidad de la masa. Es necesario un mínimo de un 5%.
- **Humedad.** El rango óptimo es de entre un 50-60%. Su importancia se describe en el apartado anterior.
- **Temperatura.** Se recomienda un periodo mínimo de entre una o dos semanas de régimen termófilo para asegurar una buena higienización. Durante la etapa de maduración la temperatura cae hasta alcanzar la temperatura ambiente.
- **Nutrientes.** Los más importantes son el carbono y el nitrógeno. La relación C/N es el parámetro más importante para que se desarrolle adecuadamente el proceso. El valor óptimo es en torno a 30. Si la relación C/N es inferior a un 25%, la velocidad del proceso no se ve afectada, pero hay pérdidas elevadas de nitrógeno en forma amoniacal hasta que se alcanza una relación adecuada. Valores superiores a 35% provocan una disminución de la velocidad del proceso hasta que se consume el excedente de carbono (Andrés y Rodríguez, 2008).

5.1.2. Sistemas abiertos

En los sistemas abiertos el proceso de compostaje se realiza al aire libre, donde el residuo es apilado en hileras o pilas con un espacio entre ellas para el manejo de la maquinaria.

Para llevar a cabo un proceso de compostaje al aire libre, es preciso la adquisición de una parcela alejada del núcleo urbano al menos de 5 km para evitar molestias de olores en la población, por lo que no se podría implantar en las instalaciones disponibles en Rivamadrid. Además, en la planta se desarrollan distintas fases durante el proceso de compostaje, por lo que es preciso diferenciar las áreas para cada fase del proceso, los cuales se pueden observar en el esquema general de la planta en la Figura 26:



01. Foso de descarga de residuos en bruto.
02. Área de recepción de residuos.
03. Área de servicios generales (Administración, servicios y vestuarios).
04. Área de trituración.
05. Almacén de maquinaria y taller interno.
06. Depuración de lixiviados (Depósito de agua reciclada, depuradora y maquinaria).
07. Área de descomposición.
08. Área de maduración.
09. Área de cribado y almacenaje.
10. Área de embolsado y almacén de producto embolsado.
11. Área de almacenamiento de rechazo.

Figura 26. Esquema orientativo de la Planta de Compostaje. Modificado de la página web www.madrid.es⁸.

Foso de descarga de residuos en bruto. Es preciso disponer de un foso de descarga y almacenamiento del residuo. Aproximadamente se calcula una superficie de 3.000 m³.

Área de recepción de residuos y compost. Registro de peso de los residuos y, de peso y destino del compost. Se estiman 50 m².

Área de servicios generales. Instalaciones provistas para el desarrollo de las actividades de administración, así como también servicios y vestuarios. Se estima una superficie de 100 m².

⁸www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Educacion_Ambiental/ContenidosBasicos/Publicaciones/MigasCalientes/PlantaCompostajeMigasCalientes.pdf

Área de trituración. Trituración y desfibrado en el caso que en un futuro se añada restos de poda. Se estiman 30 m².

Almacén de maquinaria y taller interno. Es necesario disponer de una zona de almacén de la maquinaria así como también, disponer de un pequeño taller para las posibles averías de la maquinaria. Superficie estimada de 100 m².

Depuración de lixiviados. Sería conveniente la depuración del agua recogida de los lixiviados para su posterior uso como agua de riego en el propio proceso de compostaje. De este modo, se evita el consumo de agua directamente de la red. Para ello es necesario disponer de una depuradora, maquinaria específica y un depósito para el agua reciclada. Se estiman 300 m².

Área de embolsado y almacén de producto embolsado. Teniendo en cuenta que una de las salidas más importantes del compost es la venta individual a los ciudadanos del municipio, se conveniente disponer de una zona de embolsado del compost en bolsas de 50 L y 25 L para uso individual y comercial. Así mismo, también es necesario disponer de una zona de almacenamiento del compost embolsado. Aproximadamente 300 m² para la zona de embolsar y 2.000 m² para la zona de almacenamiento del compost embolsado.

Área de almacenamiento de rechazo. Como se detallará más adelante, durante el proceso de compostaje se producirá cierta cantidad de rechazo que debe ser gestionado adecuadamente. Para ello se precisa de una zona de almacenamiento donde se pueda acumular para evitar gestionar pequeñas cantidades en un corto periodo de tiempo. Se estiman 500 m².

En el presente trabajo, se estudiará con más detalle el área necesaria para el área de descomposición, maduración y, cribado y almacenamiento, por ser las zonas más importantes y de mayor tamaño.

Área de Descomposición

El material triturado y mezclado, si corresponde, se deposita en el área de fermentación donde se produce la acción de los microorganismos. En esta área, el material se dispone en hileras volteadas o estáticas.

1. Pilas o hileras volteadas

Esta técnica de compostaje se caracteriza por el hecho que la pila se remueve periódicamente para homogeneizar la mezcla y su temperatura, a fin de eliminar el excesivo calor, controlar la humedad y la temperatura.

Los volteos se pueden llevar a cabo mediante una pala cargadora, recogiendo y soltando el material para posteriormente reconstruir la pila. También se puede llevar a cabo mediante maquinaria específicamente diseñada para conseguir un mezclado del compost de máxima eficiencia, que se describirá más adelante.

En esta tecnología, los materiales se amontonan sobre el suelo o pavimento, sin comprimirlos en exceso. La forma y medida de la pila juegan un papel determinante, ya que influyen en una correcta aireación y control de la temperatura. De esta manera, las medidas óptimas oscilan entre 1-2 metros de altura sin llegar a superar los 2,7, siendo el ideal 2 metros. La anchura de la pila es en función de la comodidad y conveniencia para su manipulación. La principal razón de no hacerla muy ancha es propiciar la convección natural que facilitará la difusión de oxígeno, que por lo general suele estar entre 3-4 metros.

Si las pilas son demasiado grandes, el oxígeno no puede penetrar en el centro, mientras que si son demasiado pequeñas no se calentarán adecuadamente. Por lo que el tamaño óptimo varía con el tipo de material y la temperatura ambiente. Como no se disponen de datos suficientes de las características del material a compostar, se ha tenido en cuenta las dimensiones propuestas por Haugh (1993) como se muestran en Figura 27.

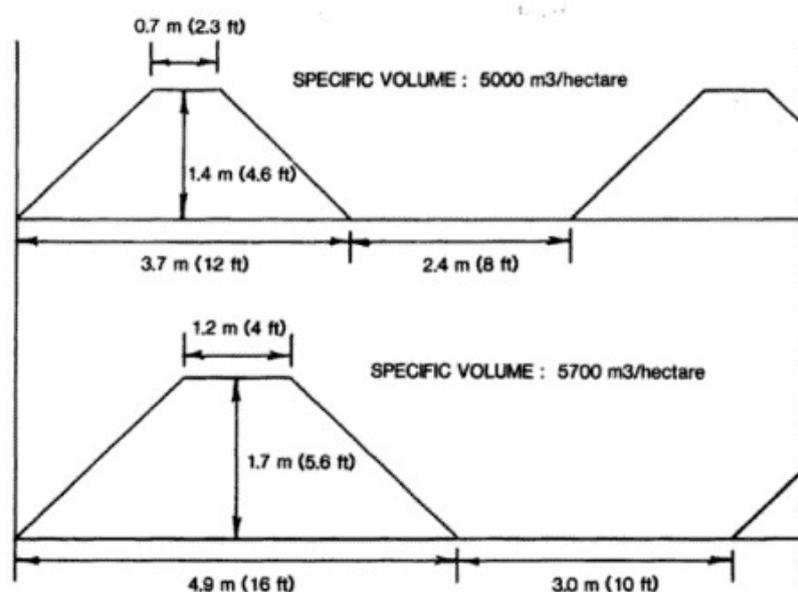


Figura 27. Dimensiones características para sistemas de pilas estáticas (Haugh, 1993).

Los residuos se colocan en hileras o pilas de fermentación de sección trapezoidal dentro del parque de compostaje, preparado para facilitar el movimiento de la máquina volteadora. Teniendo en cuenta la cantidad de residuo generado, sería conveniente la formación de hileras de 4 m de base inferior, 0,7 m de base superior y 1,7 m de altura, dejando un espacio de 2,4 m entre hileras para el paso de maquinaria y operatividad. En teoría la longitud de la pila sería indeterminada y en función de las dimensiones de la parcela o la comodidad en la manipulación. Se recomiendan extensiones de gran tamaño de unos 50 m para facilitar las acciones de maniobra por parte de la volteadora, dado que la longitud de la pila no afecta al tratamiento. El largo de la pila podría ser entre 20-50 m dependiendo de la disponibilidad del terreno, tomando 50 m de referencia. Siendo la duración del proceso de aproximadamente un mes, más el periodo de maduración.

Con estas dimensiones, el volumen de una pila de compostaje sería en torno a los 200⁹ m³. Conociendo un volumen diario de 74.740-65.947 L/día, se puede aproximar el volumen producido en un mes, siendo de 2.242,2-1.978,4 m³/mes. A partir de estos datos, se procede a calcular el número de pilas necesarias, siendo entre 11-9¹⁰ pilas, 10 de media.

Tomando un espacio entre pila y pila de 2,4 m, y un espacio 2,4 m a cada extremo de la pila para el paso de maquinaria (Véase Figura 28), se estima una superficie total del área de descomposición de 3.640 m². El cálculo se muestra a continuación:

Ancho de la parcela	$[(4 + 2,4 \text{ m extremo dcho.}) \cdot 10 \text{ pilas}] + 2,4 \text{ m extremo izqdo.} = 66,4 \text{ m}$
Largo de la parcela	$2,4 \text{ m extremo superior} + 50 \text{ m} + 2,4 \text{ m extremo inferior} = 54,8 \text{ m}$
Superficie de la parcela	$54,8 \text{ m} \cdot 66,4 \text{ m} = 3.638,72 \text{ m}^2$

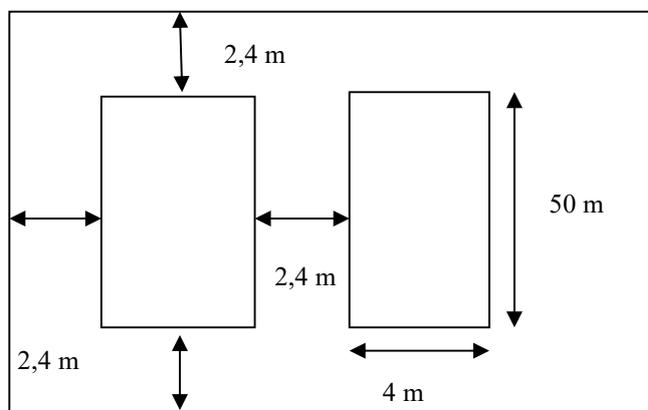


Figura 28. Esquema orientativo de la distribución del espacio.

$${}^9V = \frac{1}{2} \cdot (b + B) \cdot h \cdot L = \frac{1}{2} \cdot (0,7 + 4) \cdot 1,7 \cdot 50 = 199,75 \text{ m}^3$$

$${}^{10} (2.242,2 - 1.978,4 \text{ m}^3/\text{mes}) / 200 \text{ m}^3 = 11,21 - 9,89 \text{ pilas}$$

Una vez construida la pila, la única gestión necesaria es el volteo o mezclado con una máquina adecuada para homogeneizar la mezcla y su temperatura, además de controlar la humedad y aumentar la porosidad para mejorar la ventilación. La frecuencia habitual de volteo oscila cada 6-10 días. Además, durante el proceso es necesario la realización de controles automáticos de temperatura, humedad y oxígeno para determinar el momento óptimo para efectuar el volteo.

Actualmente este sistema de compostaje suele realizarse en naves abiertas cubiertas por un techado, sin paredes, para reutilizar el agua de los lixiviados y de lluvia y de paso controlar la humedad de la pila.

2. Pilas o hileras estáticas con ventilación forzada

La pila de fermentación es estática y en su formación se ha dispuesto un sistema mecánico de ventilación por tuberías perforadas o por un canal empotrado en la solera (Figura 29). Las tuberías se conectan con un ventilador que asegura la entrada de oxígeno y la salida de CO₂. Esta ventilación puede hacerse por succión o inyección de aire o bien, mediante sistemas alternantes de succión e inyección (Chica Pérez et al., 2015).

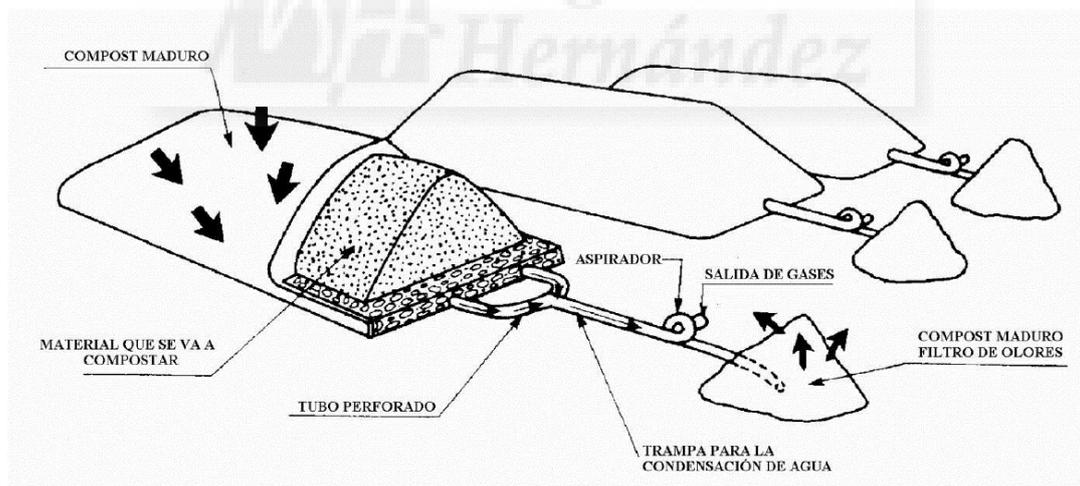


Figura 29. Sistema de Pilas Estáticas con aireación forzada (Wilson, 1980).

La altura de las mismas oscila entre 3-4m, viendo limitada por el equipo que forma las pilas y por el peso de los materiales que se podrían compactar en su porción inferior (Chica Pérez y García Morales, 2008). La anchura y longitud son muy variables dependiendo de la configuración de la instalación.

Debido a que no hay mecanismos para mezclar el material durante el proceso de compostaje, los materiales deben ser mezclados cuidadosamente antes de colocarse en la pila. La mezcla debe ser relativamente porosa y tener una buena estructura para resistir la compactación y el asentamiento (Rynk y Richard, 2004). De esta manera, las pilas estáticas ventiladas se suelen usar para materiales homogéneos como los lodos, que se mezclan con un substrato seco y poroso como astillas de madera, mientras que los materiales heterogéneos como los RSU, tienden a requerir una mayor mezcla (Chica Pérez et al., 2015). Dado que en este caso se necesita mayor cantidad de estructurante para llevar a cabo una mezcla homogénea y los costes de adecuación de una planta de compostaje de pilas estáticas con aireación forzada son mayores, esta alternativa queda descartada.

Área de Maduración

A continuación de la fase activa se requiere un periodo de al menos un mes para que el proceso termine y para que el compost desarrolle las características deseadas para sus posteriores aplicaciones (Chica Pérez et al., 2015). Dado que la fase de maduración depende del tipo de material, las condiciones en que se lleva a cabo, el destino final y como se hayan desarrollado las etapas anteriores, requiere de pocas semanas a varios meses. Generalmente, este periodo de maduración se lleva a cabo en una zona diferente al sitio donde se ha realizado la fase activa del compostaje, por lo que se tendrá en cuenta para la construcción de la planta.

Dado que las pilas en maduración están sufriendo una ligera descomposición, es necesario seguir manteniendo las condiciones aerobias, ya que en condiciones anaerobias se producen malos olores y compuestos tóxicos para las plantas. Si bien en esta etapa no se requieren volteos, las pilas en maduración deben ser lo suficientemente pequeñas para permitir un adecuado intercambio de aire en su interior, sobre todo si la aplicación que se le va a dar requiere productos de alta calidad (utilización como sustrato).

Las condiciones anaerobias también se pueden dar por una excesiva humedad o por una acumulación de agua en la base de la pila. Debido a que las pilas en fase de maduración no producen suficiente calor como para dar lugar a que haya una pérdida de agua por evaporación, la zona de maduración debe estar bien drenada con canalizaciones para recoger el agua de lluvia y evitar que se acumulen en el sitio donde están las pilas.

El método más efectivo para corregir la humedad o las condiciones anaerobias es volverla a mezclar y extenderla sobre una superficie abierta. De esta manera, se introduce

oxígeno en la pila y los compuestos anaeróbicos se descomponen aeróbicamente o bien se evaporan.

En el curso de la maduración las sustancias húmicas evolucionan, no sólo cuantitativa sino también cualitativamente, con el predominio, a medida que transcurre el proceso, hacia compuestos de elevado peso molecular (ácidos húmicos) sobre aquellos de peso molecular más bajo (ácidos fúlvicos).

La valoración entre las diversas fracciones, así como la relación existente entre ellas, resulta un importante índice de evolución del proceso y de la madurez del compost final.

Para conocer las dimensiones de esta área, se estima una pérdida entre 20% humedad de la fase de descomposición (Figura 30) tomado como referencia el estudio de Huertas et al 2008, estimándose un periodo de un mes de retención en esta fase como se había mencionado.

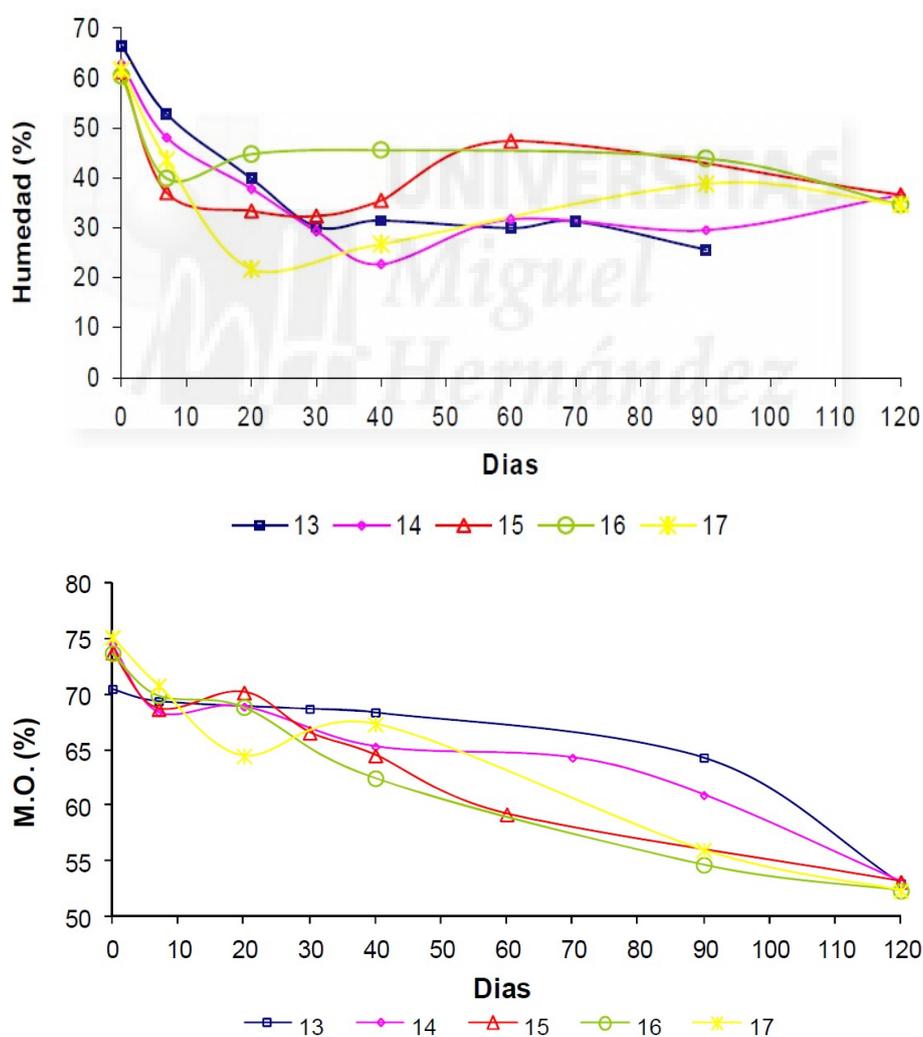


Figura 30. Evolución de distintos parámetros a lo largo del compostaje de la fracción orgánica de residuos municipales y restos de poda (Huertas et al 2008). Donde los datos 13, 14, 15, 16 y 17 se refieren a diferentes ensayos.

Por otro lado se ha tomado el mínimo del periodo establecido para la fase de maduración, es decir un mes. También se produce una reducción de la materia orgánica, observado la Figura 30, se estima una reducción de 2,5% de materia orgánica en un mes. De manera que si se partía de un volumen de 2.242,2-1.978,4 m³/mes, 2.110,3 m³/mes de media, con la reducción de la humedad y materia orgánica se obtiene un volumen de 1.635,5 m³/mes.

En cuanto al dimensionamiento de las pilas del área de maduración, como se ha mencionado anteriormente si no se lleva a cabo un volteo de las mismas, es preciso que sean de menor tamaño para no producir procesos de anaerobiosis. De este modo, para evitar una mayor extensión del terreno y favorecer el aporte de oxígeno, lo cual a su vez favorece una descomposición más rápida de la fracción orgánica, sería conveniente mantener las dimensiones de las pilas de la fase de descomposición y continuar con el volteo aéreo. De esta manera, se evitan las zonas anaeróbicas y se contribuye a la obtención de un compost homogéneo y de buena calidad en un tiempo menor.

En primer lugar, se procede a calcular el número de pilas necesarias, siendo de 8¹¹ pilas. Tomando un espacio entre pila y pila de 2,4 m, y un espacio 2,4 m a cada extremo de la pila para el paso de maquinaria, se estima una superficie total del área de maduración de 2.940 m². El cálculo se muestra a continuación:

Ancho de la parcela	$[(4 + 2,4 \text{ m extremo dcho.}) \cdot 8 \text{ pilas}] + 2,4 \text{ m extremo izqdo.} = 53,6 \text{ m}$
Largo de la parcela	$2,4 \text{ m extremo superior} + 50 \text{ m} + 2,4 \text{ m extremo inferior} = 54,8 \text{ m}$
Superficie de la parcela	$54,8 \text{ m} \cdot 53,6 \text{ m} = 2.937,28 \text{ m}^2$

Área de cribado y almacenamiento

Una vez madurado y estabilizado, el producto pasa a la zona de cribado, donde se procede a su afino y cribado. Esta operación se realiza mediante una máquina cribadora provista de un trómel. El cribado se puede realizar a un calibre de 20 mm, con posibilidad de variar dicho calibre empleando paneles intercambiables para variar el calibre según el destino final del compost. En el cribado se estima una pérdida de material debido a elementos gruesos de rechazo de cribado, en torno a un 15%, además de la pérdida de humedad que se ha producido en la fase de maduración. Aproximadamente, la humedad se reduce un 5% más en el área de maduración, por lo que de un 55% de humedad de partida se reduce a un 30%, tomando como referencia los valores estimados por Huertas et al, 2008 (Figura 30).

¹¹ $(1.635,5 \text{ m}^3/\text{mes}) / 200^{11} \text{ m}^3/\text{pila} = 8,175 \text{ pilas}$

También se produce una reducción de la materia orgánica a lo largo del proceso, en torno a 7,5% de reducción con respecto al área de maduración, siendo un 10% de reducción de la materia orgánica con respecto al inicio del compostaje. De manera que si se partía de un volumen de 1.635,5 m³/mes de media, con la reducción de la humedad y materia orgánica se obtiene un volumen de 1.349,3 m³ al cabo de dos meses (un mes transcurrido en el área de descomposición y otro mes en el área de maduración). Finalmente con la reducción del porcentaje impropios, se obtendría un volumen de 1.147 m³ transcurridos dos meses.

Dado que el uso y la venta de compost son generalmente estacionales, con picos en determinadas épocas, como en primavera y otoño, es necesario almacenar el compost durante periodos comprendidos entre los tres y seis meses. Los compost acabados que se han dejado madurar adecuadamente, todavía tienen, aunque baja, cierta actividad microbiana, por lo que se deben evitar, en lo posible, condiciones que aumenten el riesgo de crear condiciones anaerobias. La altura de las pilas no debe superar los 4 metros (Chica Pérez et al., 2015), ya que a medida que aumenta la altura, se incrementa el riesgo de que pueda tener lugar una combustión espontánea. En caso de que las pilas estén húmedas o desarrollen anaerobiosis, se pueden utilizar las medidas recomendadas para las pilas que están en maduración. En general, una práctica segura es desmontar las pilas grandes y hacer varias de menor tamaño unas semanas antes de su utilización o venta.

Contado que al área de almacenamiento llega un volumen de 1.147 m³ y este permanece un periodo máximo de seis meses, el volumen a almacenar correspondería en torno a los 6.881,4 m³.

Teniendo en cuenta lo anterior, la altura de la pila se estima 4 m, el largo se mantiene igual (50 m) y en cuanto a la base superior e inferior, se estiman 9,4 y 1,6 m respectivamente (El cálculo se ha llevado a cabo mediante una razón de semejanza). El volumen de una pila corresponde a 1.100 m³, y por tanto 6¹² pilas aproximadamente.

No es preciso dejar un espacio entre pila y pila para el paso de maquinaria, puesto que en esta área no se lleva a cabo un volteo. Se recomienda la construcción de un tabique que separe las pilas. De esta manera se estima una superficie total del área almacenamiento de 2.820 m² sin contar con la superficie requerida para el cribado. El cálculo se muestra a continuación:

¹² $6.881,4 \text{ m}^3 / 1.100 \text{ m}^3 = 6,25 \text{ pilas}$

<i>Ancho de la parcela</i>	$9,4 \cdot 6 \text{ pilas} = 56,4 \text{ m}$
<i>Largo de la parcela</i>	50 m
<i>Superficie de la parcela</i>	$50 \text{ m} \cdot 56,4 \text{ m} = 2.820 \text{ m}^2$

5.1.3. Sistemas cerrados

Estos son los sistemas que podríamos llamar industrializados, puestos en marcha por entidades públicas o privadas y que generalmente se utilizan para compostar residuos en las proximidades de ciudades de tamaño medio o grande.

En estos sistemas, la fase inicial de fermentación se realiza en reactores que pueden ser de dos tipos: horizontales o verticales, mientras que la fase final de maduración se hace al aire libre o en naves abiertas. Son sistemas desarrollados para reducir considerablemente las superficies de compostaje y lograr un mejor control de los parámetros de fermentación y controlar los olores de forma más adecuada.

Aunque estos sistemas requieren costos de instalación superiores a los anteriores, presentan la ventaja de ser más rápidos y por tanto requerir menos espacio, además de no producir malos olores.

1. Túneles cerrados

Este tipo de tecnología implica la construcción de una serie de contenedores de hormigón, u otros materiales, de unos 3 metros de alto por 4 o 5 de ancho y 20 o 30 de fondo (Figura 31). El contenedor está dotado de un sistema de aireación forzada, normalmente a través de ranuras en el suelo, de sondas de temperatura, de humedad y de nivel de oxígeno; recogida de gases y de lixiviados; y sistema de riego (Chica Pérez et al., 2015).

En ellos, un sistema automatizado de control mide y regula la aireación, temperatura y humedad. En función de los valores del nivel de oxígeno y de temperatura en el contenedor se puede realizar la aireación con aire fresco, con aire reciclado o con una mezcla de ambos. El control de la temperatura puede realizarse fijando patrones de comportamiento en los que se suele delimitar un periodo termófilo y otros mesófilos. Y la humedad óptima del proceso se regula por control del riego de la mezcla en función de las condiciones de entrada del material y de operación. Estos controles están automatizados y se regulan desde un ordenador central a través de un programa interfaz que permite al operario de Planta visualizar las condiciones de operación y modificarlas si lo considera necesario.

En estos túneles se introduce el material a compostar, llenándose hasta unos dos tercios de altura del túnel. En ellos se realiza la fase más energética de la fermentación o descomposición, en la que las necesidades de oxígenos, de homogeneidad de la temperatura para una correcta higienización, y de aporte de agua para contrarrestar la que se pierde por evaporación, así como la generación de gases, son más elevadas y constantes (Chica Pérez et al., 2015).



Figura 31. Túneles de compostaje. Tomado de Chica Pérez et al. (2015).

El tiempo de residencia que se da a los residuos oscila entre dos (es lo más habitual) y seis semanas. El producto que sale de los túneles no está acabado, por lo que debe mantenerse en maduración controlada al menos 2-3 meses, manteniendo los volteos y riegos en función del avance de la instalación del producto. (Sánchez Ferrer et al., 2014)

Este sistema presenta numerosas ventajas frente al anterior, ya que permite mantener valores constantes y controlados de las variables críticas y además, permite recoger los gases que se producen y enviarlos a un biofiltro o cualquier otro sistema de desodorización. Los lixiviados se recogen también fácilmente, y después de analizarlos y filtrarlos se utilizan para el riego. Al ser ésta la fase en la que se produce la biodegradación más rápida, se desarrollan gran cantidad de microorganismos que permanecen encerrados y no se difunden al ambiente ni llegan a los trabajadores. Sin embargo los costes de inversión y operatividad son más elevados.

Para determinar el número de túneles necesarios, se estiman unas dimensiones de los mismos de 3 metros de alto por 5 de ancho y 30 de fondo (siendo el volumen útil 2/3 del total según Sánchez Ferrer et al., 2014), y un periodo de retención de dos semanas (Chica Pérez et

al., 2015). De manera que el volumen útil de uno de ellos es de 300^{13} m^3 , y contando que el volumen en dos semanas es de $1.068,255^{14} \text{ m}^3$, el número necesario de túneles es de 4^{15} . Por lo que la superficie requerida para la fase de descomposición sería de 600 m^2 . El cálculo se muestra a continuación:

Ancho	$5 \cdot 4 \text{ túneles} = 20 \text{ m}$
Largo	30 m
Superficie	$20 \text{ m} \cdot 30 \text{ m} = 600 \text{ m}^2$

En cuanto al área de maduración, se mantienen las dimensiones de las pilas del sistema de pilas volteadas, así como también las condiciones de reducción de humedad y materia orgánica. Si en 15 días se producen 1.055 m^3 y el 22,5% se reduce (disminución de humedad y materia orgánica), se obtienen de los túneles $817,62 \text{ m}^3$ quincenales. Este volumen permanece en el área de maduración en torno a los 2 meses, por lo que se genera un volumen de $3.270,5 \text{ m}^3$. Conociendo que el volumen de una pila es de 200 m^3 , se precisan 16 pilas.

Tomando un espacio entre pila y pila de 2,4 m, y un espacio 2,4 m a cada extremo de la pila para el paso de maquinaria, se estima una superficie total del área de maduración de 5.920 m^2 . El cálculo se muestra a continuación:

Ancho de la parcela	$[(4 + 2,4 \text{ m extremo dcho.}) \cdot 16 \text{ pilas}] + 2,4 \text{ m extremo izqdo.} = 108 \text{ m}$
Largo de la parcela	$2,4 \text{ m extremo superior} + 50 \text{ m} + 2,4 \text{ m extremo inferior} = 54,8 \text{ m}$
Superficie de la parcela	$54,8 \text{ m} \cdot 108 \text{ m} = 5.918,4 \text{ m}^2$

Finalmente, para el área de cribado y almacenamiento se tendrán en cuenta las dimensiones de las pilas establecidas en el sistema de pilas volteadas, así como también los mismos porcentajes de reducción por humedad, materia orgánica e impropios. Contado un 50% de reducción (20% de humedad, 10% materia orgánica y 15% impropios durante la fase de descomposición y maduración), se obtiene un volumen de 2.110 m^3 proveniente de la fase

$$^{13} \frac{2}{3} \cdot \text{Altura} \cdot \text{Ancho} \cdot \text{Largo} = \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 5 \cdot 30 = 300 \text{ m}^3$$

¹⁴ El volumen diario es de 74.740-65.947, la media 70.343 L/ día. En dos semanas se producen $(70.343 \text{ L/ día} \cdot 15 \text{ días}) / 1000 \text{ m}^3/\text{L} = 1.055 \text{ m}^3$

¹⁵ $1.055 \text{ m}^3 / 300 \text{ m}^3 = 3,5 \text{ túneles}$

de maduración, el cual permanece seis meses y por tanto el volumen a almacenar correspondería en torno a los 12.660 m³.

Teniendo en cuenta lo anterior, la altura de la pila se estima 4 m, el largo se mantiene igual (50 m) y en cuanto a la base superior e inferior, se estiman 9,4 y 1,6 m respectivamente (El cálculo se ha llevado a cabo mediante una razón de semejanza). El volumen de una pila corresponde a 1.100 m³, y por tanto 12 pilas aproximadamente.

No es preciso dejar un espacio entre pila y pila para el paso de maquinaria, puesto que en esta área no se lleva a cabo un volteo. Se recomienda la construcción de un tabique que separe las pilas. De esta manera se estima una superficie total del área almacenamiento de 5.640 m² sin contar con la superficie requerida para el cribado. El cálculo se muestra a continuación:

<i>Ancho de la parcela</i>	$9,4 \cdot 12 \text{ pilas} = 112,8 \text{ m}$
<i>Largo de la parcela</i>	50 m
<i>Superficie de la parcela</i>	$50 \text{ m} \cdot 112,8 \text{ m} = 5.640 \text{ m}^2$

Una vez determinada la superficie para las áreas de descomposición, maduración y, cribado y almacenamiento, se ha observado que la superficie requerida es mayor que en el sistema de pilas estáticas volteadas. Esto se debe a que el tiempo estimado en la maduración es un mes superior en el sistema de túneles horizontales y por tanto el volumen de producto acumulado es mayor y con ello la superficie destinada a tal fin.

En cuanto a la ubicación, los túneles de compostaje se pueden instalar dentro de la superficie disponible en Rivamadrid, puesto que no se generan malos olores. Sin embargo, es preciso disponer de un foso de almacén de los residuos en bruto, lo cual presenta malos olores que pueden molestar a la población del municipio. Esto junto a la necesidad de incorporar un área de maduración, cribado y almacenamiento que suponen una superficie importante, es preciso que la instalación se realice fuera de las instalaciones de Rivamadrid. Dado que este caso el problema de olores se reduce, no es necesario buscar una ubicación alejada del núcleo urbano como en el caso anterior.

Por otro lado, la distribución de la planta de compostaje utilizando túneles horizontales se mantendrá igual que el caso anterior. La única diferencia es que el área de descomposición, en este caso, se conformara por los túneles de compostaje en lugar de pilas.

5.1.4. Rendimiento de la producción de compost y coste de mantenimiento e inversión de la planta de compostaje.

Contado un 50% de reducción entre las fases de descomposición y maduración, como se detalla anteriormente (en base a la Figura 30), si se parte de una cantidad media de 6.740 toneladas anuales de biorresiduo, la cantidad total de compost que se produciría es de 3.370 toneladas anuales. Conociendo que el coste por tonelada de compost a partir de los precios del compost COGERSA es de 25,38 €/tonelada¹⁶, se estima un coste total de 85.527 euros anuales de beneficio con la venta de compost. Mientras que el compostaje supone entre 40-70 €/tonelada tratada¹⁷ (Tabla 24), 270.000-472.000 euros anuales, sin contar con la inversión necesaria para la construcción de la planta que oscila en torno a los 600.000-900.000 euros en el caso de pilas volteadas y 950.000-2.700.000 euros para túneles de compostaje (Tabla 24). Por lo que económicamente no resulta rentable, aunque se cumpliría con lo exigido en la normativa y produciría un gran beneficio ambiental.

Tabla 24. Costes asociados al tratamiento de RSU mediante compostaje. Tomado de Flotats & Solé (2008).

Capacidad (toneladas/año)	Sin aireación forzada		Con aireación forzada	
	Inversión (€)*	Operación (€)**	Inversión (€)*	Operación (€)**
2.000	300.000	130.000	550.000-800.000	270.000
5.000	600.000	240.000	950.000-1.500.000	550.000
10.000	900.000	400.000	1.600.000-2.700.000	950.000
20.000	1.300.000	730.000	2.700.000-4.700.000	1.600.000
50.000	2.200.000	1.350.000	5.400.000-9.400.000	2.700.000
100.000	4.500.000	2.600.000	9.400.000-16.100.000	5.400.000

* Costes de inversión incluyen el precio del sitio, la planificación, construcción y maquinaria.

** Costes de operación excluyen los costes de disposición de los residuales, costes de personal, e ingresos de la venta de residuos/subproductos.

¹⁶www.cogersa.es/metaspaces/portal/14498/19176

¹⁷www.dival.es/sites/default/files/portal-de-transparencia/TAXA%20TRACTMENT-RESIDUS%2010-09.pdf

5.1.5. Resumen de alternativas

	Pilas o Hileras volteadas	Túnel estático horizontal
superficie requerida	15.980 m ² . Alejada del núcleo urbano 5 km.	18.740 m ² . Alejada del núcleo urbano 5 km.
Distribución	<p>Foso de descarga de residuos en bruto: 3.000 m³.</p> <p>Área de recepción de residuos y compost: 50 m².</p> <p>Área de servicios generales: 100 m².</p> <p>Área de trituración: 30 m².</p> <p>Almacén de maquinaria y taller interno: 100 m².</p> <p>Depuración de lixiviados: 300 m².</p> <p>Área de descomposición: 3.640 m².</p> <p>Área de maduración: 2.940 m², la cual debe estar techada para evitar desajustes en los parámetros de humedad, temperatura, aireación, etc.</p> <p>Área de cribado y almacenamiento (ligeramente superior debido a que no se ha contado la superficie requerida para el cribado): 2.820 m².</p> <p>Área de embolsado y almacén de producto embolsado: 2300 m².</p> <p>Área de almacenamiento de rechazo. 500 m².</p> <p>Superficie para accesos y maniobras: 200 m²</p> <p>La superficie debe estar cimentada para evitar la percolación de lixiviados al suelo.</p>	<p>Todas las instalaciones igual que en el sistema anterior, salvo:</p> <p>600 m² Área de descomposición mediante túneles de hormigón. 5.920 m² de Área de maduración, la cual debe estar techada para evitar desajustes en los parámetros de humedad, temperatura, aireación, etc. 5.640 m² de Área de cribado y almacenamiento (ligeramente superior debido a que no se ha contado la superficie requerida para el cribado).</p> <p>La superficie debe estar cimentada para evitar la percolación de lixiviados al suelo.</p>
Maquinaria	<p>Volteadora de compost. Máquinas que mediante diversos mecanismos remueven o trasladan el composta permitiendo su correcta aireación.</p> <p>Pala cargadora. Para la formación de las pilas y el traslado del material. Existe la opción de utilizar esta maquinaria para el volteo de las pilas, pero el compost obtenido es de menor calidad y se requieren mayores tiempos de maduración.</p> <p>Trituradora. Se procede a una molienda que acelera el proceso de compostaje con la reducción de tamaños de partícula para favorecer el proceso. También se puede emplear al final del proceso para obtener un producto con una granulometría más fina.</p> <p>Trómel. Para separa las distintas clases de materiales que constituyen el residuo. Como se parte de una recogida selectiva en origen, no debe haber grandes partículas por lo que es conveniente su utilización al final del proceso.</p>	<p>Pala cargadora.</p> <p>Trómel.</p> <p>Trituradora.</p>
Frecuencia de volteo	Es variable dependiendo de las características del material así como de su humedad y de la rapidez que se desee realizar el proceso, siendo habitual realizar u volteo cada 6-10 días.	
Sistemas de control	Para mantener la humedad, se puede emplear un sistema de riego manual. Es necesario realizar controles automáticos de temperatura, humedad y oxígeno para determinar el momento apropiado para efectuar el volteo.	Empleo de biofiltros u otro sistema de desodorización. Sistema automatizado de control para medir y regular la aireación, temperatura y humedad

5.2. Evaluación de las alternativas en materia de digestión anaerobia

5.2.1. Definición del proceso de digestión anaerobia.

La digestión anaerobia es un proceso biológico en el que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de bacterias específicas, se descompone en productos gaseosos o “biogás” (CH_4 , CO_2 , H_2 , H_2S , etc.), y en digestato, que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuestos de difícil degradación.

El biogás contiene un alto porcentaje en metano, CH_4 (entre 50-70%), por lo que es susceptible de un aprovechamiento energético mediante su combustión en motores, en turbinas o en calderas, bien sólo o mezclado con otro combustible (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2007).

El proceso controlado de digestión anaerobia es uno de los más idóneos para la reducción de emisiones de efecto invernadero, el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos y el mantenimiento y mejora del valor fertilizante de los productos tratados.

Los beneficios asociados a la digestión anaerobia son:

- Reducción significativa de malos olores
- Mineralización
- Producción de energía renovable si el gas se aprovecha energéticamente y sustituye a una fuente de energía fósil
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la reducción de emisiones incontroladas de CH_4 , (que produce un efecto invernadero 20 veces superior al CO_2), y reducción del CO_2 ahorrado por sustitución de energía fósil (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2007).

La digestión anaerobia se puede resumir en tres etapas diferentes, pero con cierto grado de simultaneidad, donde intervienen diferentes grupos de microorganismos (Figura 32):

- **Hidrólisis.** En esta etapa, los polímeros orgánicos complejos como lípidos, proteínas e hidratos de carbono son degradados por un grupo de bacterias facultativas (sobreviven en condiciones de aerobiosis) dando lugar a productos solubles y fácilmente degradables, como azúcares, aminoácidos, alcoholes, etc. La actividad hidrolítica tiene una importancia significativa en residuos de alto contenido orgánico y puede convertirse en la fase limitante del proceso.

- **Acidogénesis.** La degradación de las sustancias intermedias hasta ácidos grasos de cadena corta o volátiles (AGV) u otros compuestos sencillos como los alcoholes, corre también a cargo de un grupo de bacterias facultativas. También se produce ácido acético (CH_3COOH), hidrógeno (H_2) y dióxido de carbono (CO_2).
- **Acetogénesis.** En esta etapa los compuestos intermedios se convierten en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono gracias a la actividad de las bacterias acetogénicas.
- **Metanogénesis.** En esta última etapa, se forma el metano gracias a un grupo de bacterias llamadas metanogénicas. Estas son anaerobias estrictas (la presencia de oxígeno inhibe su crecimiento) y muy sensibles a tóxicos o inhibidores. La formación de metano a través de dos rutas metabólicas:
 - Metanogénesis acetoclástica, a partir de la degradación de ácido acético.
 - Metanogénesis hidrogenófila, a partir del H_2 y del CO_2 .

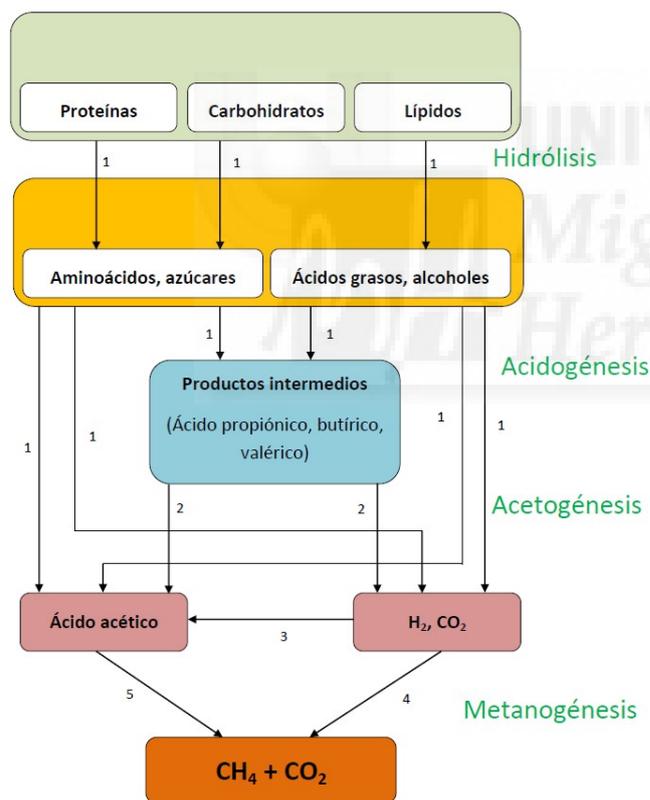


Figura 32. Fases del proceso de digestión anaerobia. Tomado de Nayono (2009).

De la misma manera que en el compostaje, todos los factores ambientales que afectan a los microorganismos, en este caso anaeróbicos, afectan al proceso:

- **Humedad.** Para un correcto desarrollo del proceso, se necesita una humedad superior al 70%, ya que las reacciones metabólicas se desarrollan en medio líquido. Este grado de humedad permite también una distribución homogénea de nutrientes y microorganismos.

- **pH.** A pesar de que cada uno de los grupos de microorganismos que toman parte en el proceso anaerobio tiene un rango propio de pH óptimo, el proceso se desarrolla correctamente si el pH está próximo a la neutralidad.
- **Poder tampón.** Capacidad de amortiguar la modificación del pH. Se considera que es suficiente un poder tampón superior a 1,5 g/L CaCO₃.
- **Potencial redox.** Es un indicador de la presencia/ausencia de oxígeno. Los potenciales redox óptimos son inferiores a los -350 mV.
- **Nutrientes.** Es imprescindible la presencia de macronutrientes (N, P, K) y micronutrientes en concentraciones adecuadas. El exceso de nitrógeno en forma amoniacal provoca problemas por inhibición de las bacterias metanogénicas.
- **Temperatura.**
- **Tiempo de retención.** Se define como el tiempo en el que el sustrato (residuo) pasa dentro del reactor, sometido a la actividad de los microorganismos. Por lo tanto, a mayor tiempo de retención más degradación de la materia orgánica y mayor generación de biogás. No obstante, se debe llegar a un compromiso con el tiempo de retención y la inversión necesaria para la construcción del reactor.

5.2.2. Elección del tipo de reactor.

Tecnologías avanzadas

Los procesos de digestión anaerobia pueden considerarse vía húmeda o seca dependiendo de la concentración de sólidos en el residuo de alimentación. Según Ward et al. (2008) los sistemas húmedos son aquellos en los que el valor de los sólidos totales (ST) es un 16 % o menos, mientras que los sistemas secos tienen entre 22 y 40 % de ST, considerándose los que se encuentran entre ambos valores de sistemas semisecos.

En los procesos de digestión húmeda, el residuo sólido debe ser condicionado a una apropiada concentración de sólidos añadiendo agua al proceso o recirculando una parte del efluente líquido, o mediante la co-digestión con otro residuo líquido (Nayono, 2009). La aplicación de estos sistemas tiene diversas ventajas como la dilución de sustancias inhibitoras debido al agua utilizada en el proceso y el requerimiento de equipos mecánicos menos sofisticados. También tiene desventajas como el complicado pre-tratamiento y el elevado consumo de agua y energía para el calentamiento (Vandevivere et al., 2003).

Por otro lado, pueden clasificarse en función de la temperatura de trabajo, mesofílica (30-400°C) o termofílica (50-700°C), o según la configuración del sistema (una etapa o dos) y según el tipo de reactor utilizado. La configuración de los sistemas de dos etapas se refiere a la separación en reactores diferentes de los procesos de hidrólisis y acidificación (primer reactor) y acetogénesis y metanogénesis (segundo reactor). Aunque el 90% de las instalaciones (escala industrial) de metanización de la fracción orgánica contenida en los residuos municipales son instalaciones de una sola etapa, por lo que se tendrán en cuenta dichos sistemas. En la Tabla 25 se muestra un resumen de la tipología de reactores en función del proceso de digestión y el sistema aplicado.

Tabla 25. Clasificación de los sistemas de tratamiento anaerobio de la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FORSU). Cada uno puede ser a su vez mesófilo o termófilo. Tomado de Elías Castell (2012).

Sistema	Denominación	Configuración
Continuo, una etapa	Digestión húmeda (ST<15%)	Reactor de mezcla completa
	Digestión seca (20-40 ST)	Reactor flujo pistón
	Sin retención de biomasa	2 Reactores de mezcla completa o flujo pistón
Continuo, dos etapas	Con retención de biomasa	Primer reactor de mezcla completa y segundo de retención de biomasa (fracción líquida)
Discontinuo	-	Recirculación de lixiviado y percolación

Teniendo en cuenta lo anterior y la Tabla 25, se tendrán en cuenta los reactores de tipo mezcla completa y flujo pistón.

El sistema de digestión seca se utiliza normalmente con residuos sólidos municipales o vegetales (Ward et al., 2008) ya que presentan un % de ST superior al 20%. Debido a su viscosidad, los residuos fermentados tienen un flujo tipo pistón dentro del reactor, al contrario que en los sistemas húmedos, donde normalmente se emplean reactores de mezcla completa (Vandevivere et al., 2003). El mismo autor nos da algunas ventajas como un pre-tratamiento menos costoso y un menor consumo de energía para calentamiento (reactores más pequeños), y desventajas como una menor opción de diluir las sustancias inhibidoras y la necesidad de equipo mecánico más sofisticado (Díaz de Basurto, 2013)

Por otro lado, el reactor de mezcla completa, se aplica a sistemas de digestión húmeda (Figura 33), siendo la configuración más utilizada tradicionalmente a escala industrial. Sin embargo, pese a ser los más utilizados, sería conveniente la implantación de un reactor de flujo pistón (Figura 34) para tratar la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos debido a la gran cantidad de sólidos totales que presenta. De esta manera, para optimizar la

concentración de sólidos totales en la degradación anaerobia y mantener los nichos biológicos, los sistemas secos requieren equipamientos más caros para el trasiego de materia, lo que puede significar en un balance económico a medio o largo plazo un ahorro respecto los sistemas húmedos, en los que es necesario realizar las tareas de homogeneización y dilución (los cuales suponen un coste permanente a lo largo del tiempo de vida del sistema). Además, se añade un factor técnico a considerar como es la posibilidad de alcanzar y mantener el reactor a temperaturas termófilas (temperaturas donde se obtiene mayor rendimiento del reactor), lo que es más fácilmente logable en los sistemas secos que en los húmedos.

Es por este conjunto de razones que se considera para este estudio la elección de sistemas secos mediante flujo pistón, siendo la configuración más empleada a partir de la tecnología DRANCO, KOMPOGAS o VALORGA.

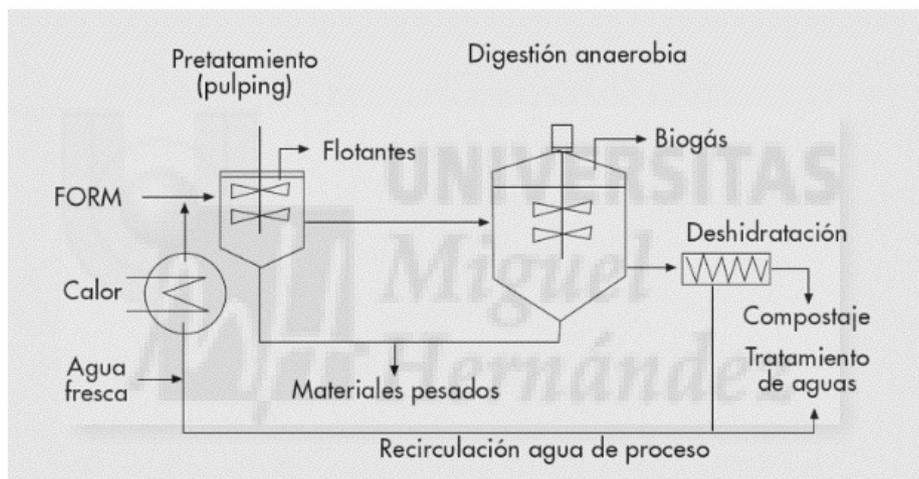


Figura 33. Esquema de un sistema de digestión húmeda de una etapa. Tomado de Elías Castell et al. (2012).

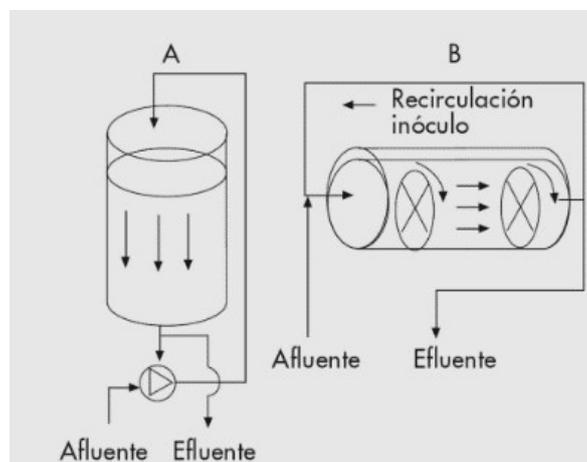
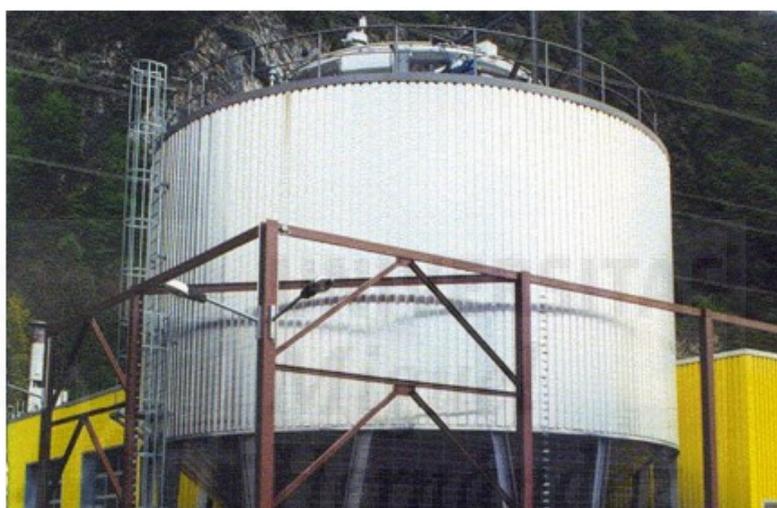


Figura 34. Esquema de un reactor de flujo pistón, diseño Dranco. Tomado de Elías Castell et al. (2012).

Conociendo lo anterior, se ha tomado como referencia la planta de digestión anaerobia de Villeneuve, Switzerland, de tecnología KOMPOGAS (Figura 35) por su mayor ajuste a las necesidades de capacidad anual que podría presentar el municipio de Rivas-Vaciamadrid. Dicha planta, presenta un digester de 940 m³ con una capacidad de 10.000 toneladas por año, lo cual se aproxima a las 7.161,3-6.318,15 tn/año (6.739,73 tn/año de media) estimadas en el municipio. Además, teniendo en cuenta el Plan General de Ordenación Urbana por el que se prevé un aumento de la población a 120.000-125.000 habitantes de los 81.473 actuales, se llegaría a gestionar un total de 10.000-9.600 tn/año, ajustándose aún más a la capacidad diseñada de la planta de Villeneuve.



Location	Villeneuve, Switzerland
Plant capacity	10.000 tons per year
Waste type	Biowaste
Reactor volume	940 m ³

Figura 35. Planta de digestión anaerobia de Villeneuve, Switzerland. Tomada de www.ows.be/biogas-plants/references.

5.2.3. Rendimientos de la producción de biogás

La comparación entre sistemas no es simple, ya que el rendimiento en la producción de biogás depende básicamente de la composición del residuo a tratar y en menor medida de la tecnología utilizada. Por ello, para determinar una aproximación más ajustada del rendimiento de la producción de biogás a partir del residuo digerido, se ha de tener en cuenta los datos aportados por Xavier Elías (2012) (Tabla 26) y en cuanto a la tecnología, la

memoria interna de la planta de digestión anaerobia de Botarell (Tabla 27), la cual emplea tecnología de KOMPOGAS (Tecnología empleada en la Planta de Villeneuve, Switzerland).

Tabla 26. Rendimiento de la producción de biogás a partir del residuo digerido. Tomado de Xavier Elías (2012).

Componente	L CH ₄ /Kg SV	Referencia
Residuos de cocina, restaurantes	600-790	Kübler et al., 1999
FORM separada en origen	240-280	Kübler et al., 1999
FORM separada en origen	200-300	Ahring et al., 1992
FORM recogida selectiva	477	Mata et al., 1991
FORM separación mecánica	117-254	Cecchi et al., 1990, 1991; citado por Mata (1997)
Papel prensa	84-100	Clarkson, 1999

Tabla 27. Producción anual de biogás y electricidad de la planta de Botarell¹⁸.

Capacidad anual	Producción anual de biogás	Producción anual de electricidad	Producción anual de digestato
54.000 toneladas	4.300.000 m ³	9.900.000 KWh	40.000 toneladas

En base a los datos anteriores, se ha elaborado la Tabla 28 teniendo en cuenta por un lado los datos aportados por Kübler et al. (1999) y por otro los datos de la planta de Botarell.

Tabla 28. Estimación aproximada de la producción de biogás que se obtendría a partir del biorresiduo de Rivas-Vaciamadrid.

	Kübler et al. (1999)	Planta de Botarell
Capacidad anual (toneladas)	6740	6740
% Sólidos Volátiles	64,43 (Tabla 8, página 31)	-
Cantidad de Sólidos Volátiles (toneladas)	4343	-
m ³ CH ₄ /tonelada	240 (Figura 50)	79,26
Producción anual de biogás (m ³ CH ₄)	1042231	534191
kWh/m ³ CH ₄	2,3	2,3
Producción anual de electricidad (kWh)	2.397.131	1.228.638

¹⁸www.hz-inova.com/cms/en/home?page_id=1870&lang=es

Los resultados obtenidos muestran una producción de anual de electricidad de entorno 1.228.638-2.397.131 kWh, y 102-200 kWh mensuales (inferior al consumo de un hogar¹⁹) frente a los 380 kWh de consumo mensual en 2014 en Rivamadrid²⁰. Teniendo en cuenta una recogida separada del 80 %, lo cual es probable que sea menor. Además de que el rendimiento es bajo en comparación con la inversión que debería realizarse (2,9-5,6 millones de euros según la Tabla 29) y mantenimiento (entre 120.000-220.000 euros, según la Tabla 29), hay que tener en cuenta la cantidad de digestato que se produciría. Partiendo de los datos de Botarell se puede estimar en torno a un 72 % de generación de digestato que se ha de gestionar o bien mediante depósito en vertedero o compostaje. Por lo que esta alternativa presenta excesivos costes para los beneficios que se obtendrían.

Tabla 29. Costes asociados a la digestión anaerobia de RSU. Tomado de Flotats & Solé (2008).

Capacidad (toneladas/año)	Digestión vía seca		Digestión vía húmeda	
	Inversión (€)	Operación (€)	Inversión (€)	Operación (€)
5.000	2,9-3,1 millones	120.000	3,7-4,5 millones	130.000
10.000	5,3-5,6 millones	220.000	4,6-5,5 millones	150.000
20.000	9,5-10,0 millones	400.000	10,5-12,5 millones	350.000

* Se excluyen conversión energética motor de gas, impuestos, tasas de diseño y planificación.

** Se excluyen costes de transporte, deposición de residuos, costes de personal, ingresos de la venta de residuo/subproductos e ingresos de la venta neta de energía. Incluyen los costes anuales de mantenimiento estimados como el 4% del capital inicial.

*** Se excluyen costes de transporte, deposición de residuales, costes de personal, ingresos de la venta de residuos/subproductos e ingresos de la venta neta de energía. Incluyen los costes anuales de mantenimiento estimados como el 3% del capital inicial.

5.3. Evaluación de otro tipo de alternativas

Otra posibilidad teóricamente más económica, es la utilización del residuo procedente de la fracción mezcla como bioestabilizado, empleando la tecnología provista en Rivamadrid (esterilización del residuo mediante autoclavado, véase anexo II) mediante WASTE CLEANER²¹.

Teniendo en cuenta los parámetros de humedad, relación C/N y de metales pesados que presenta el producto bioestabilizado (Tabla 30) una vez esterilizado, la cual se puede

¹⁹ www.comparatarifasenergia.es/comparar-precios-de-energia/consumo-medio

²⁰ www.rivamadrid.es/pdfonline/informe_ambiental/files/downloads/informe_ambiental_2014.pdf

²¹ Definición en www.ecohispanica.es/objetivos/cuatro

extrapolar a las características que presentaría el biorresiduo esterilizado como se había comentado anteriormente, y el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes (Figura 36). Se comprueba que el material obtenido no cumpliría con la normativa en todos los parámetros establecidos a priori, dado que la humedad y la relación C/N se encuentran ligeramente por encima del límite establecido. Sin embargo, en cuanto a la humedad, se dispone de un estudio elaborado por Eurocontrol, S.A donde se ha comprobado que la humedad disminuye un 15 % transcurridas 24 horas una vez finalizado el proceso de esterilización. Después de 48 horas un 10 % y tras las 72 horas otro 10 % más de reducción de la humedad, por lo que este parámetro cumpliría con la normativa.

Con respecto a la relación C/N, se comprueba que el valor es superior al límite de la normativa, sin embargo, se ha de tener en cuenta que este dato se ha calculado a partir del residuo sólido urbano de la fracción mezcla. Aunque las características que presenta el producto esterilizado de la fracción separada de los residuos sólidos urbanos sería similar al producto esterilizado de la fracción mezcla, este último presenta materiales como celulosa procedentes de pañales, papel de cocina, entre otros, que originan un aumento en la cantidad de carbono y por tanto propician un valor mayor de la relación C/N. Como el producto esterilizado obtenido de la FORM no presentaría este tipo de impropios, es muy probable que la relación C/N se adecue a los límites establecidos, aunque se debería realizar una caracterización para determinar los valores exactos de este material.

Tabla 30. Resultados obtenidos de los parámetros analizados de la fracción de Biomasa en el laboratorio de EUROCONTROL S.A. y ENAC (IPROMA).

Parámetro	27/05/2013	29/05/2013	31/05/2013	Unidades
Humedad	49,5	49,6	57,7	%
Relación C/N	23,1708861	22,8417722	18,9038462	%
Cadmio	<0,020	<0,020	<0,020	mg/kg
Cobre	<0,25	<0,25	<0,25	mg/kg
Níquel	1,4±0,4	0,9±0,3	1,2±0,4	mg/kg
Plomo	<0,5	<0,5	<0,5	mg/kg
Zinc	9±2	8±2	17±4	mg/kg
Mercurio	<0,010	<0,010	<0,010	mg/kg
Cromo (total)	0,9±0,2	1,6±0,5	0,8±0,2	mg/kg
Cromo VI	No determinado	No determinado	No determinado	mg/kg

Compost			
Humedad	< 40 %		
C/N	< 20		
MOT	> 35 % en masa		
	A	B	C
Zn mg/kg ms	200	500	1.000
Cu mg/kg ms	70	300	400
Ni mg/kg ms	25	90	100
Pb mg/kg ms	45	150	200
Cr mg/kg ms	70	250	300
Hg mg/kg ms	0,4	1,5	2,5
Cd mg/kg ms	0,7	2	3

Figura 36. Parámetros para clasificar el compost según el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.

Por otro lado, el único parámetro no disponible corresponde al porcentaje de materia orgánica en masa, el cual se ha estimado teniendo en cuenta el porcentaje de materia orgánica que proponen López et al. (2010) y Huerta-Pujol et al. (2011) para la fracción orgánica separada de los residuos sólidos urbanos (Tabla 31).

A partir de la Tabla 31, se ha seleccionado una media del parámetro de materia orgánica de la columna FORSU-SM y FORSU-SO. Teniendo en cuenta un porcentaje de materia orgánica total de 78,2 (media de los valores de la Tabla 31), un porcentaje de 52,26 de humedad (media de los valores de la Tabla 30) y un porcentaje de 47,74 de materia seca (diferencia del 100% de materia húmeda, y el 52,26 de agua), se ha procedido a su cálculo partiendo de una masa de 1000 kg:

$$\% \text{ masa} = \frac{477,4 \cdot 0,782}{(1000 \cdot 0,5226) + (1000 \cdot 0,4774)} \cdot 100 = 37,33268 \%$$

Tabla 31. Propiedades fisicoquímicas de la Fracción Orgánica de los residuos urbanos recogidos en masa y separados mecánicamente (FORSU-SM) y de la fracción orgánica separada selectivamente en origen (FORSU-SO). Tomado de López et al. (2010) y Huerta-Pujol et al. (2011).

Parámetro	FORSU-SM	FORSU-SO	Unidades
Humedad	49	71	%
Relación C/N	20	17	%
Materia orgánica total	71,2	85,2	% sms
Nitrógeno orgánico	1,82	2,65	% sms

Tras realizar el cálculo se comprueba que presenta un porcentaje de 37, lo cual supera el 35 % de materia orgánica en masa. Por lo que cumpliría con todos los parámetros de la normativa, pudiéndose clasificar como un compost de calidad A.

Conociendo todo lo anterior, se observa que tras realizar el tratamiento de autoclavado se podría obtener un producto equiparable a un compost de calidad A, pero en un periodo de tiempo de 30 minutos aproximadamente que es lo que dura el proceso de esterilización. Por lo que, no sería necesario la adquisición de terreno para llevar a cabo las fases de descomposición y maduración de las que se ha hablado anteriormente para la elaboración de compost. Gracias a esta tecnología se puede obtener un producto de alta calidad en un breve periodo de tiempo, inocuo e inodoro, y sin la necesidad de disponer de una gran extensión de terreno alejada del núcleo urbano para su tratamiento. Sin embargo, este producto se obtiene exento de microorganismos tras el proceso de esterilización, y además, según el Anexo I del Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, se denomina compost al *"producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), bajo condiciones controladas, de materiales orgánicos biodegradables del Anexo IV (donde se incluye la fracción orgánica separada de los residuos municipales), recogidos separadamente"*. Por ello, pese a que el material obtenido presenta unas características idóneas para ser denominado compost, según la normativa vigente, no es posible por no ser obtenido mediante un proceso de descomposición biológica aerobia.

Aunque en la actualidad, existen técnicas de inoculación de microorganismos, nutrientes o micronutrientes, lo que se denomina compost "a la carta", se refieren a técnicas por las que se mejora o potencia las características beneficiosas del compost. Un ejemplo sería la inoculación de microorganismos agentes de control biológico de plagas de fitopatógenos de los cultivos. La inoculación de este tipo de microorganismos atribuye al compost un efecto supresivo del mismo que permite actuar como plaguicida frente a plagas de los cultivos donde se aplique. Sin embargo, este tipo de técnicas se llevan a cabo partiendo de un producto obtenido tras un proceso de compostaje, el cual presenta todas las características para ser denominado compost y una alta diversidad microbiológica adquirida a lo largo del proceso biológico.

En este caso, la situación es diferente, el producto obtenido se encuentra libre de microorganismos y realizar una inoculación microbiana equiparable a la que presentaría si se hubiera realizado el proceso de compostaje, no es una tarea sencilla ya que el compost presenta una gran diversidad microbiana adquirida durante un largo periodo de tiempo donde

los cambios de temperatura, pH y materia orgánica propician un desarrollo microbiológico difícil de simular.

Otra técnica sería la activación microbiana del producto esterilizado con un compost ya desarrollado, de manera que se procedería a la mezcla de ambos materiales y tras un periodo de maduración se obtendría un producto semejante al obtenido en el proceso de compostaje, y además se podría corregir los niveles de humedad y la relación C/N. Sin embargo, no se han encontrado estudios que desarrollen esta práctica y por lo tanto no se puede establecer un criterio de conformidad.

Al margen de todo lo anterior, tras revisar la normativa vigente sobre productos fertilizantes y sobre sustratos de cultivo, Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes y en el Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo, por los que se establece la normativa básica en materia de productos fertilizantes y sustratos de cultivo, y las normas necesarias de coordinación con las comunidades autónomas. Se ha podido comprobar los materiales de partida para llevar a cabo abonos o enmiendas, de los cuales la fracción orgánica separada de los residuos sólidos urbanos queda reflejada. En cambio, tras revisar la tipología de productos fertilizantes y sustratos de cultivo registrados se comprobó que el único material elaborado con la FORM podía ser el compost. En ambas normativas, queda reflejado que ha de presentar un proceso de descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), bajo condiciones controladas para denominarse compost.

De esta manera, en base a la normativa, el producto obtenido de la esterilización del biorresiduo mediante la tecnología disponible en Rivamadrid no puede denominarse compost, pese a las características idóneas que presenta para ello, puesto que el sistema de tratamiento para la obtención de ese producto aún no está reflejado en la normativa. Por ello, la alternativa disponible para la obtención de compost es el proceso de compostaje como se detalla en el apartado 8.1.

5.4. Discusión de las alternativas de tratamiento

Como se ha desarrollado en apartados anteriores, las alternativas para el tratamiento del biorresiduo obtenido de la recogida separada de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, se componen del proceso de compostaje y la digestión anaerobia. Debido a que la normativa estatal actual de fertilizantes y sustratos de cultivo (Real Decreto 506/2013 y 865/2010, respectivamente) no contempla el producto obtenido tras la esterilización de

FORM por la tecnología de Rivamadrid, dado que no puede ser considerado compost ni ningún otro material de los que se recogen en dicha normativa, esta alternativa queda descartada.

Sin embargo, dicho material esterilizado si puede emplearse como bioestabilizado según Decálogo para la utilización del material bioestabilizado y del compost no inscrito en el registro de productos fertilizantes mediante la operación R10²², del 25 de junio de 2013 (Véase anexo III). En él, se establecen las características que ha de cumplir el producto obtenido para ser denominado como bioestabilizado (Tabla 32), cumpliéndose los parámetros establecidos (Véase Tabla 11 y 12 de la página 50) del posible biorresiduo a gestionar.

Tabla 32. Requisitos del material bioestabilizado. Tomado del Decálogo para la utilización del material bioestabilizado y del compost no inscrito en el registro de productos fertilizantes mediante la operación R10, del 25 de junio de 2013.

Parámetros agronómicos	Valor	Unidades
Materia orgánica total	≥ 25	%
Humedad	20-40	%
C _{orgánico} /N _{orgánico}	<20	---
Partículas que pasan por la malla de 25 mm	≥90	%
Impurezas	valor	Unidades
Piedras y gravas de diámetro superior a 5 mm	≤5%	%
Impurezas (metales, vidrios y plásticos) eventualmente superior a 2 mm	≤3%	%
Madurez		Unidades
RotteGrade	Mínimo III	---
Higienización	Valor	Unidades
Salmonella	Ausente en 25 g de material bioestabilizado	---
Escherichia Coli	<1000	NMP/g
Metales Pesados	Valor	Unidades
Cadmio	<3	
Cobre	<400	
Níquel	<100	
Plomo	<200	Mg/Kg de materia seca
Zinc	<1.000	
Mercurio	<2.5	
Cromo (total)	<300	

Por otro lado, las alternativas de implantación de una planta de compostaje o de digestión anaerobia requieren de una gran inversión económica para la adquisición de terreno como la obtención de maquinaria para el desarrollo adecuado del proceso. Además del

²²Operación de Valorización R10 (Anexo II de la Ley 22/2011, de 28 de julio, de Residuos y Suelos Contaminados): Tratamiento de los suelos que produzca un beneficio a la agricultura o una mejora ecológica de los mismos.

elevado coste de inversión, la rentabilidad del proceso se encuentra limitado debido a la escasa generación de biorresiduo estimado que se produciría (6.740 toneladas anuales de media contando con una recogida del 80 %), siendo ambas alternativas adecuadas para el tratamiento de grandes cantidades de residuo, como se muestra en la Tabla 33, donde se puede apreciar que las plantas de digestión anaerobia implantadas presentan una capacidad anual superior de las 20.000 toneladas.

Al igual que en las plantas de digestión anaerobia, las plantas de compostaje se sustentan de una gran capacidad de residuo a tratar, aunque en este caso si se ha comprobado la existencia de plantas de compostaje de una capacidad anual de 3.500 toneladas como es el caso de la planta de compostaje de Lapatz²³ (Consortio de Residuos de Gipuzkoa). Sin embargo, la inversión necesaria como los gastos de mantenimiento son excesivamente elevados para los beneficios obtenidos en la venta del compost obtenido, aunque el beneficio ambiental si es de gran importancia.

Tabla 33. Resumen de capacidad anual de residuos sólidos urbanos en plantas de digestión anaerobia en España y Francia. Diferenciando el material de entrada entre MOR (fracción orgánica procedente del RSU) y FORSU (fracción orgánica recolectada selectivamente). Datos tomados de Urbaser²⁴.

Nombre	MOR (t/año)	FORSU (t/año)	Inicio Operación
P.D.A. Del Parque de Tecnologías Ambientales Mallorca (Baleares)	-	32.000	2000
P.D.A. De RSU Y FORSU del "ECOPARC 1" (Barcelona)	20.000	60.000	2002
P.D.A. De RSU "Avila Norte" (Urraca Miguel, Ávila)	20.000	-	2003
P.D.A. De RSU y FORSU "ECOPARC 2" (Montcada i Reixach, Barcelona)	30.000	60.000	2004
P.D.A. De RSU "Madrid Sur" (Pinto, Madrid)	40.000	-	2004
P.D.A. De RSU "ECOPARC 3" (Sant Adrià del Besós, Barcelona)	20.000	-	2005
P.D.A. De RSU y FORSU de Nostión (A Coruña)	20.000	40.000	2005
P.D.A. De RSU de León (San Román de la Vega, León)	30.000	-	2005
P.D.A. De RSU Varennes Jarcey (Francia)	45.000	25.000	2005
P.D.A. De RSU "Sierra Sur" (Jaén)	30.000	-	2006
P.D.A. De RSU de Palencia	15.000	-	2008
P.D.A. De FORSU de Calais (Francia)	0	20.000	2008
P.D.A. De RSU "La Paloma" (Madrid)	100.000	-	2008
P.D.A. De RSU de Zaragoza	80.000	-	2009
P.D.A. De RSU de Marsella (Francia)	111.000	-	2010
P.D.A. De RSU de la Isla de Guadeloupe (Francia)	40.000	-	Constr.
P.D.A. De RSU de Romainville (Francia)	140.000	-	Constr.

²³ www.ghk.eus/es/infraestructuras/lapatx

²⁴ www.urbaser.es/seccion-15/Plantas-de-Digestion-Anaerobia

Conociendo que la implantación de alternativas de digestión anaerobia como aerobia (compostaje) presenta una excesiva inversión para la escasa rentabilidad que suponen, se vuelve al punto de partida del reciclado del biorresiduo como material bioestabilizado.

Como se dispone en el Decálogo para la utilización del material bioestabilizado y del compost no inscrito en el registro de productos fertilizantes mediante la operación R10, dicho material puede ser empleado en suelos agrícolas como en revegetación de taludes, cobertura de vertederos clausurados, restauración de canteras y minas y jardinería pública.

En el caso de la utilización en suelo agrícola, para asegurar un beneficio a la agricultura o una mejora ecológica de los suelos es necesario conocer determinadas características agronómicas de los suelos, la concentración de nutrientes disponibles en los suelos para los cultivos y la concentración de metales pesados. Por ello, los análisis de los suelos permiten dosificar adecuadamente y prevenir la contaminación.

Para aquellas aplicaciones en las que se aporten hasta un máximo de 5 t de m.s./ha y año de material bioestabilizado se recomienda disponer de análisis de los suelos de los parámetros indicados en la Tabla 34.

Tabla 34. Parámetros agronómicos y los metales pesados a analizar en el suelo receptor para las aplicaciones que superen la dosis de 5 t m.s./ha y año. Tomado del Decálogo para la utilización del material bioestabilizado y del compost no inscrito en el registro de productos fertilizantes mediante la operación R10, del 25 de junio de 2013.

Parámetros	Unidades
Parámetros agronómicos	
pH	---
C/N	---
Materia orgánica oxidable	% sms
Nitrógeno (N)	% sms
Fósforo Olsen (P)	
Potasio asimilable (K)	
Calcio asimilable (Ca)	mg/Kg sms
Manganeso asimilable (Mg)	
Hierro asimilable (Fe)	
Metales Pesados	
Cadmio (Cd)	
Cobre(Cu)	
Níquel (Ni)	
Plomo (Pb)	mg/Kg sms
Zinc (Zn)	
Mercurio (Hg)	
Cromo (Cr)	

En aquellos casos en los que no se disponga de los análisis de metales pesados en los suelos, podrá servir como aproximación la información obtenida en el estudio de “*Metales pesados, materia orgánica y otros parámetros de los suelos agrícolas y pastos de España*” (Referencia). En estos casos, y, si según el estudio, en los suelos próximos se supera alguno de los valores límite de metales pesados indicados en la Tabla 35, deberá realizarse un análisis de los metales pesados de los suelos donde vaya a realizarse la aplicación. En todo caso, el material bioestabilizado no podrá aplicarse en suelos agrícolas cuya concentración en metales pesados sea igual o superior a los valores siguientes (Tabla 35).

Tabla 35. Valores límite de metales pesados en los suelos agrícolas receptores. Tomado del Decálogo para la utilización del material bioestabilizado y del compost no inscrito en el registro de productos fertilizantes mediante la operación R10, del 25 de junio de 2013.

Metales pesados	Valores límite (mg/Kg sms)	
	Suelos con pH <7	Suelos con pH >7
Cadmio (Cd)	1	3
Cobre(Cu)	50	210
Níquel (Ni)	30	112
Plomo (Pb)	50	300
Zinc (Zn)	150	450
Mercurio (Hg)	1	1.5
Cromo (Cr)	100	150

Así mismo, los criterios de dosificación para su aplicación en suelo agrícola como para su aplicación en revegetación de taludes, cobertura de vertederos clausurados, restauración de canteras y minas y jardinería pública, requiere del cumplimiento de dicho Decálogo.

En adición a todo lo anterior, cabe mencionar que según la Ley 22/2011, de 28 de julio, de Residuos y Suelos Contaminados el material orgánico obtenido de las plantas de tratamiento mecánico biológico de residuos mezclados, se denominará material bioestabilizado.

De tal manera, tras analizar las alternativas propuestas para el tratamiento de la FORM se converge a la utilización del biorresiduo como material bioestabilizado, pero según la normativa ese material se denomina a la fracción mezcla de los residuos urbanos no separados. Por lo tanto, si la solución es la utilización del material separado como bioestabilizado, éste carece de sentido separarlo en origen, puesto que sin ser separado presenta la cualidad de bioestabilizado.

6. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO Y VALORIZACIÓN ÓPTIMA

Por todo lo anterior, se plantean tanto la alternativa de compostaje como la de bioestabilizado. Ambas permiten la posibilidad de reciclar el residuo generado en Rivas-Vaciamadrid (en el caso de compostaje se reciclaría el biorresiduo, en el caso de bioestabilizado se reciclaría parte de la fracción mezcla), sin embargo, la primera de ellas permite la producción de un producto higienizado y estabilizado de gran valor, mientras que de la segunda se obtendría un producto de menor calidad. Esta menor calidad, se asocia principalmente a su elaboración con residuos mezclados que originan un producto generalmente de menor cantidad de materia orgánica, mayor cantidad de metales pesados y menor cantidad de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio (Tras la comparativa de la Figura 36 y la Tabla 35 que muestran las restricciones de ambos materiales en sus respectivas normativas). Teniendo en cuenta su mayor variabilidad en cuanto a su calidad y menor rendimiento, hacen que este material se encuentre en inferior categoría que el compost, y por tanto su precio es inferior o nulo.

En el caso de seleccionar la alternativa de compostaje, sería preciso la implantación de un sistema de recogida separada lo cual incrementarían aún más los costes.

Por lo que la alternativa de bioestabilizado necesitaría una menor inversión dado que la tecnología de WASTE CLEANER se encuentra en a disposición de Rivamadrid, sin embargo, habría que invertir en terreno para el almacén de producto obtenido, así como los gastos de electricidad que oscilan en torno a los 27 €/tonelada tratada (datos proporcionados por Rivamadrid). Mientras que el compostaje supone entre 40-70 €/tonelada tratada²⁵, además de la inversión de la planta. Por todo ello, sería preciso realizar un estudio económico acerca del coste de la puesta en funcionamiento de la tecnología de esterilización para evaluar su viabilidad económica.

El caso de emplear la alternativa de compostaje, sería conveniente utilizar un sistema de túneles de compostaje como se describe en apartados anteriores. El túnel está dotado de un sistema de aireación forzada, normalmente a través de ranuras en el suelo, de sondas de temperatura, de humedad y de nivel de oxígeno; recogida de gases y de lixiviados; y sistema de riego. En ellos, un sistema automatizado de control mide y regula la aireación, temperatura

²⁵www.dival.es/sites/default/files/portal-de-transparencia/TAXA%20TRACTMENT-RESIDUS%2010-09.pdf

y humedad. En función de los valores del nivel de oxígeno y de temperatura en el contenedor se puede realizar la aireación con aire fresco, con aire reciclado o con una mezcla de ambos. El control de la temperatura puede realizarse fijando patrones de comportamiento en los que se suele delimitar un periodo termófilo y otros mesófilos. Y la humedad óptima del proceso se regula por control del riego de la mezcla en función de las condiciones de entrada del material y de operación. Estos controles están automatizados y se regulan desde un ordenador central a través de un programa interfaz que permite al Operario de Planta visualizar las condiciones de operación y modificarlas si lo considera necesario.

Por todo ello, se consigue un mayor control de las variables del proceso, en especial de la aireación dada su importancia en el control de anaerobiosis. Además, del exhaustivo control, se consigue una regulación y reducción de olores desagradables al exterior, ya que este tipo de tecnología presenta una serie de biofiltros para captar el olor y filtrarlo. Esta última ventaja, hace que este tipo de tecnología sea más adecuada que los sistemas abiertos en cuanto a lodos de depuradora o FORM, ya que ambos generan malos olores.



7. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE APLICACIÓN DEL PRODUCTO OBTENIDO

7.1. Productos orgánicos estabilizados aeróbicamente. Compost.

Como se ha mencionado anteriormente, el compost es un material orgánico, higienizado y estable, de color oscuro y olor a tierra, libre de patógenos, semillas, malas hierbas y propios, resultante de la descomposición aerobia de la materia orgánica recogida separadamente mediante el proceso de compostaje. Puede resultar beneficioso para el suelo y/o el desarrollo de las plantas, aportando importantes beneficios al suelo como enmienda orgánica:

- Aportación de materia orgánica, estabilizando el nivel de carbono orgánico en niveles superiores
- Retención de carbono en el suelo, por tanto, incrementa el potencial del suelo como sumidero de carbono
- Aportación de nutrientes con la consiguiente biofertilización del suelo
- Mejora de la estructura y la retención hídrica, con la consiguiente disminución de la erosión, degradación del suelo y desertificación.
- Sustitución de fertilizantes químicos, dando lugar a beneficios ambientales como económicos.

Este material se pueda utilizar en distintos ámbitos y actividades gracias a sus características físicas, químicas y biológicas, obteniendo resultados muy positivos como:

- Abono natural en agricultura extensiva y ecológica
- Fertilizante en jardinería pública o privada, y en la formulación de sustratos.
- Material en restauración de suelos degradados y en proyectos de obra pública (clausura de vertederos, regeneración de taludes, restauración de actividades extractivas, etc.)

Todos los usos anteriores del compost quedan regulados por el Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes, por el que se establece la normativa básica

de productos fertilizantes y los procedimientos necesarios de coordinación con las comunidades autónomas.

7.1.1. Formulación de sustratos de cultivo

La formulación de sustratos de cultivo ha sido ampliamente utilizada para la agricultura intensiva, horticultura como semilleros, viveros o invernaderos. Aunque también se han empleado en paisajismo o recuperación de suelos degradados (Pascual Valero et al., 2015).

En primer lugar, se ha de definir el concepto sustrato, siendo todo material sólido, natural, de síntesis o residual, inorgánico (arenas, perlitas o gravas) u orgánico (turba o fibra de coco) y distinto del suelo, que colocado en un contenedor puro o en forma de mezcla, permite el anclaje del sistema radicular de las plantas permitiendo su soporte (Abad et al., 2005). Tradicionalmente solo se contemplaba esta última característica, sin embargo, actualmente se ha ampliado su potencial desarrollando sustratos mezclados, lo cual ofrece múltiples posibilidades ya que permite combinar distintos materiales (como compost) y esto se traduce en la obtención de productos con propiedades mejoradas en aspectos como el aprovechamiento de nutrientes, control de enfermedades o bioaumentación de especies microbianas beneficiosas. Todo ello, ha propiciado un cambio en el concepto de sustratos de cultivo y en el grado de tecnificación alcanzado, y por ende en su gestión (Pascual Valero et al., 2015).

Como se ha comentado, en la actualidad, el concepto de sustratos de cultivo no solo hace referencia al soporte físico de la planta, sino que también permite el adecuado crecimiento del sistema radicular proporcionando los nutrientes, el aire y el agua que precisan. De acuerdo a estas propiedades que presenta, es necesario controlar las características físicas, químicas y biológicas de los sustratos para su correcta aplicación en el cultivo, e incluso controlar en primer lugar las características del material de partida. Es por ello, que aunque el compost es un material idóneo para la obtención de sustratos de cultivo, antes de ser utilizado para tal finalidad, debe verificarse su capacidad para cubrir todos los requerimientos nutricionales de la planta e igualar las propiedades físico-químicas de otros materiales como la turba (Blok & Verhagen., 2009).

En cuanto a este material de origen vegetal, la turba, ha sido el sustrato más demandado en la actualidad debido a sus buenas propiedades de estabilidad por su alto nivel de humus. Se caracteriza por ser un sustrato con gran reservorio nutricional que permite la

liberación secuencial de nutrientes a medida que su concentración disminuye en la fracción acuosa a consecuencia de la absorción de la planta, limitando así pérdidas por lixiviación. Dadas sus excelentes propiedades, ha conducido a su excesiva extracción ocasionando un gran impacto ambiental a causa de la explotación masiva de los espacios donde se desarrolla.

De este modo, para garantizar un equilibrio entre el uso racional de los recursos como el mantenimiento de la calidad ambiental, es necesario emplear materiales de desecho reciclados como residuos urbanos, agrícolas, ganaderos, industriales, etc. En este ámbito se destaca el empleo de compost de residuos orgánicos, dado que en numerosos estudios se ha demostrado que presenta excelentes resultados (Tabla 36) tras un correcto proceso de compostaje (Pérez-Murcia et al., 2006).

Tabla 36. Producción comercial en tomate y melón comparando dos sustratos orgánicos. Tomado de Pascual Valero et al., 2015.

Tratamiento	Tomate						Melón	
	cv Josefina		cv Daniela		cv Pitenza		cv Danubio	
	Kg m ⁻²	Nº m ⁻²						
Fibra coco	6,82	790	4,68	43	7,64	99	5,89	5,11
Compost	6,00	712	4,75	44	7,72	99	5,29	4,63

Nº: número de frutos

Estos excelentes resultados combinan propiedades bioestimulantes, fertilizantes y supresoras de enfermedades que posibilitan la aplicación de fertilizantes y plaguicidas de un modo más ecológico (Pascual Valero et al., 2015). Para ello, el compost siempre ha de cumplir una serie de características físico-químicas y microbiológicas como las que se muestran en la Tabla 37 pertenecientes a un material de turba.

Tabla 37. Intervalos óptimos para las propiedades físicas de los sustratos de cultivo. Tomado de Pascual Valero et al., 2015.

Propiedad	Intervalo óptimo	Unidades
Tamaño de Partícula	0,25-2,5	mm
Densidad Aparente	<0,4	g/m ³
Densidad de Partícula	1,45-2,65	g/m ³
Espacio Poroso Total	>85	%(v:v)
Retención de Agua a Potencial:		
-1 kPa	55-70	%(v:v)
-5 kPa	31-40	%(v:v)
-10 kPa	25-31	%(v:v)
Capacidad de Aireación ¹	20-30	%(v:v)
Agua Fácilmente Disponible ²	20-30	%(v:v)
Agua de Reserva ³	4-10	%(v:v)
Agua Total Disponible ⁴	24-40	%(v:v)
Contracción ⁵	<30	%(v:v)

Contenido de aire a un potencial de -1 kPa: Contenido de humedad entre potenciales de -1 y -5 kPa; Contenido de humedad entre potenciales de -5 y -10 kPa; Contenido de humedad entre potenciales de -1 y -10 kPa; Pérdida de volumen respecto al volumen aparente inicial al secarse a 105 °C.

En el caso del compost elaborado a partir de residuos sólidos urbanos, requiere de mayor control al tratarse de un residuo heterogéneo y complejo. Este tipo de residuos presentan un alto contenido en salinidad debido al empleo de la sal común para cocinar y elementos punzantes. En este caso, al tratarse de un residuo con alta cantidad de resto de poda y jardinería la problemática de la salinidad se ve reducida por una dilución de los restos de comida más salados por otros restos orgánicos de jardinería. En el caso de elementos punzantes como huesos, de difícil degradación durante el compostaje, sería conveniente la introducción de un sistema de afino del compost (Sánchez Ferrer, 2014).

Teniendo en cuenta estas recomendaciones, así como un exhaustivo control del proceso de compostaje, se obtendría un producto de alta calidad como sustrato orgánico para semilleros hortícolas, plantas ornamentales, viveros forestales o cultivos en contenedores. En este caso, en el municipio de Rivas-Vaciamadrid se ubican varias empresas dedicadas a la jardinería ornamental como son Garden Rivas, Viveros Ángel y Centro de Jardinería Aragón cercanas a la empresa de Rivamadrid (Véase Figura 37), las cuales podrían consumir el producto obtenido tras el proceso de compostaje.

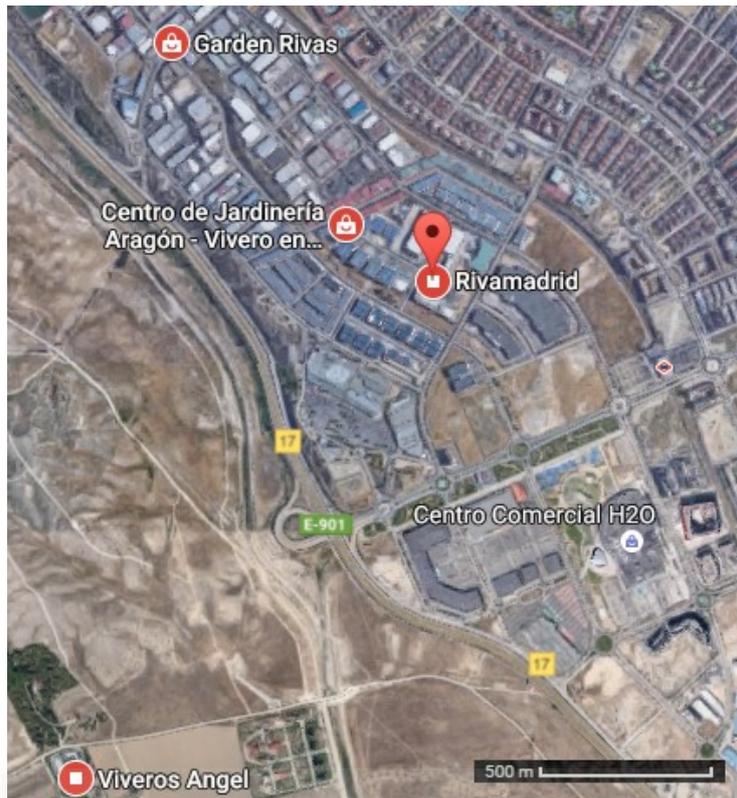


Figura 37. Ubicación de las empresas dedicadas a la jardinería en Rivas-Vaciamadrid y la empresa de Rivamadrid. Tomado de Google Maps.

7.1.2. Formulación de enmiendas o abonos orgánicos

Mientras los sustratos de cultivo se emplean para el cultivo de plantas en macetas, jardineras o cualquier otro tipo de contenedor, las enmiendas orgánicas resultan beneficiosas para mejorar las características físicas del suelo como incrementar la retención de agua, nutrientes y actividad biológica, aumentar la porosidad, aireación o permeabilidad del suelo. Por otro lado, los abonos orgánicos pueden sustituir total o parcialmente a los fertilizantes minerales, aportando al suelo materia orgánica humificada que mejora las propiedades físicas y biológicas del suelo (Ansorena, 2016).

Teniendo en cuenta lo anterior, el compost obtenido además de emplearse como sustrato de cultivo en las empresas anteriormente descritas, puede utilizarse en jardinería urbana y paisajismo como espacios verdes, parques, glorietas, jardines públicos y privados, teniendo en cuenta que el municipio presenta una gran cantidad de espacios verdes y sobre todo, teniendo en cuenta que la mayor parte de las viviendas son unifamiliares y ajardinadas. De modo que siguiendo la Norma Técnica de Jardinería (Colegio Técnicos Agrícolas de

Cataluña, 2006) referente al uso de compost en espacios verdes se establece las siguientes posibilidades de uso del compost en este ámbito:

- Enmienda orgánica general del suelo
- Enmienda orgánica de la tierra vegetal de obra
- Enmienda orgánica de plantación en hoyos y zanjas
- Enmienda orgánica de implantación de parterres de flor
- Enmienda orgánica de implantación de céspedes
- Recebo
- Acolchado orgánico natural
- Enmienda orgánica para sustratos de jardinería y contenedores
- Enmienda orgánica para la recuperación de suelos degradados

Para la utilización en cada uso, la Norma establece una clasificación de las clases de compost en función de distintos parámetros de calidad, fundamentalmente basada en criterios de conductividad eléctrica (salinidad) y granulometría (Tabla 38). Siendo el valor más restrictivo en cuanto a la salinidad para las aplicaciones como sustrato para céspedes y parterres de flor, y el menos restrictivo para recuperación de suelos degradados. Por otro lado, la granulometría más fina se aconseja para el uso del compost como recebo o sustrato, y la más gruesa para acolchado. Para cada clase, se establece una clasificación del compost y una guía de aplicación según las clases de los composts (Véase Tabla 39).

Tabla 38. *Parámetros de calidad caracterizados por las clases de compost. Tomado de Colegio Técnicos Agrícolas de Cataluña (2006).*

Parámetros de Calidad	Unidades	Límites		
		Clase I	Clase II	Clase III
Conductividad eléctrica	dS/m	≤ 2	≤ 3	≤ 4
pH	Sin	6-8	6-8,5	6-9
Nitrógeno amoniacal	Mg/kg sms	≤ 500	≤ 1.000	≤ 1.500
MOT ¹	% sms	> 45	> 45	> 40
Grado de estabilidad	%	> 50	45-50	<45
Potencial de autocalentamiento	Clase de estabilidad del TA	TA Clase 5	TA Clase 4	TA Clase 3-4
Metales pesados	Mg/kg sms	Clase A-B	Clase A-B	Clase C
Impurezas (metales, vidrios y plásticos) > 2 mm	% peso smsa	< 0,5 Ausente en C. vegetal y en C. de estiércol	< 0,5 Ausente en C. vegetal y en C. de estiércol	< 3 Ausente en C. vegetal y en C. de estiércol

¹Materia Orgánica Total por Calcificación

Tabla 39. Guía de uso y aplicación según clases de los composts en los espacios verdes. Tomado de Colegio Técnicos Agrícolas de Cataluña (2006).

Aplicaciones del compost	CE (1:5 v/v)	Grado de finura (Método 7 RD 1110/1991)	Dosis de aplicación	Profundidad aportación
Compost de clase I				
Enmienda orgánica general del suelo	≤ 2	≥ 99% pasa por 25 mm ≥ 90% pasa por 10 mm	Capa de compost de 25-75 mm de grosor	Incorporación a una profundidad mínima de: - 300 mm en plantaciones - 200 mm en siembras
Enmienda orgánica de la tierra vegetal de obra	≤ 2	≥ 99% pasa por 25 mm ≥ 90% pasa por 10 mm	Volumen de compost de 2,5-7,5 m ³ para 100 m ³	Aportación superficial
Enmienda orgánica de plantación en hoyos y zanjas	≤ 2	≥ 99% pasa por 25 mm ≥ 90% pasa por 10 mm	Proporción suelo o tierra: compost v/v: - 3:1 en arbustos - 4:1 en árboles - 5:1 en suelos o tierras de buena calidad	Aportación al hoyo o zanja de plantación
Enmienda orgánica de implantación de parterres de flor	≤ 1,5	≥ 99% pasa por 25 mm ≥ 90% pasa por 10 mm	Capa de compost de 25-50 mm de grosor	Incorporación a una profundidad mínima de 150 mm
Enmienda orgánica de implantación de céspedes	≤ 1,5	≥ 99% pasa por 25 mm ≥ 90% pasa por 10 mm	Capa de compost de 25-50 mm de grosor	Incorporación a una profundidad mínima de 200 mm
Aportación de recebo	≤ 2	100% pasa por 10 mm	Capa de compost de 5-10 mm de grosor	Aportación superficial
Aportación de componente de sustratos para jardineras y contenedores	≤ 1,5	100% pasa por 10 mm	Proporción sustrato: compost v/v de 4:1 - 3:2	Aportación a la jardinería o contenedor
Acolchado orgánico natural	≤ 2	≥ 25% pasa por 10 mm ≥ 99% pasa por 75 mm	Capa de compost de 25-75 mm de grosor	Aportación superficial
Compost de clase II				
Enmienda orgánica general del suelo	≤ 3	≥ 99% pasa por 25 mm ≥ 90% pasa por 10 mm	Capa de compost de 25-75 mm de grosor	Incorporación a una profundidad mínima de: - 300 mm en plantaciones - 200 mm en siembras
Enmienda orgánica de la tierra vegetal de obra	≤ 3	≥ 99% pasa por 25 mm ≥ 90% pasa por 10 mm	Volumen de compost de 2,5-7,5 m ³ para 100 m ³	Aportación superficial
Enmienda orgánica de plantación en hoyos y zanjas	≤ 3	≥ 99% pasa por 25 mm ≥ 90% pasa por 10 mm	Proporción suelo o tierra: compost v/v: - 3:1 en arbustos - 4:1 en árboles - 5:1 en suelos o tierras de buena calidad	Aportación al hoyo o zanja de plantación
Aportación de recebo	≤ 2,5	100% pasa por 10 mm	Capa de compost de 5-10 mm de grosor	Aportación superficial
Acolchado orgánico natural	≤ 3	≥ 25% pasa por 10 mm ≥ 99% pasa por 75 mm	Capa de compost de 25-75 mm de grosor	Aportación superficial
Compost de clase III				
Enmienda orgánica para la recuperación de suelos degradados	≤ 4	≥ 90% pasa por 25 mm	Aplicación de 5 Ton ms/ha y año como máximo	Según cada caso

Teniendo en cuenta la clasificación de compost y sus distintos usos, el empleo del compost en el municipio tanto en las diferentes empresas de jardinería como en las zonas verdes municipales o su distribución a la ciudadanía para su incorporación en zonas ajardinadas privadas, garantiza los beneficios ambientales del compost debido a la cercanía de

su uso, evitando el transporte a largas distancias. Por otro lado, los entes municipales disponen de la posibilidad de usar las partidas de compost de menor calidad o sobrantes en actuaciones como el sellado de vertederos y escombreras, o en la rehabilitación de suelos degradados. Incluso disponen de mecanismos legales para potenciar la salida del compost en sus ámbitos de competencia.

7.1.3. Recuperación de suelos degradados

El suelo está formado por material inorgánico (arena, limo y partículas arcillosas), materia orgánica, agua, gases y organismos vivos (lombrices, insectos, algas, bacterias, hongos, etc.), entre los que se produce un intercambio continuo de moléculas mediante procesos físicos, químicos y biológicos. Por otro lado, considerando el suelo desde una perspectiva más compleja, existen diversos factores que determinan su formación y evolución dando lugar a un complicado entramado sobre el que se plantea la vida en la tierra (Pascual Valero et al., 2015).

Este entramado es la base de la agricultura y los diferentes ecosistemas, además de un recurso natural imprescindible y por lo tanto, existe la obligación de mantenerlo y conservarlo para las presentes y futuras generaciones. Esto implica la necesidad de adaptarlo a diversos usos como la agricultura, industria o suelo urbano, pero siempre de modo sostenible y manteniendo su calidad controlada y ordenadamente.

En el suelo, la materia orgánica es un importante constituyente, así como la principal fuente de nutrientes y energía para los organismos vivos que en él habitan. De hecho, el papel que la materia orgánica juega en el suelo, es imprescindible para el mantenimiento de la actividad biológica, siendo indispensable mantener unos niveles aceptables de materia orgánica en el suelo para garantizar su sostenibilidad.

Si se hace referencia al suelo de la Península Ibérica, y observando la Figura 38 se puede observar una clara degradación de suelo en prácticamente toda la Península, especialmente en la zona mediterránea y aún más en Andalucía, aunque también en la zona sur y este de la Comunidad de Madrid. Además, en la Figura 39, se puede comprobar que la presencia de materia orgánica en los suelos de algunas zonas de España es realmente muy escasa, no superando en muchos casos, valores del 2%. En la Comunidad de Madrid, las zonas más afectadas por la pérdida de materia orgánica se encuentran en la zona sur y este de la comunidad, representando un porcentaje en torno a 2,6-0,9 de materia orgánica en el suelo.

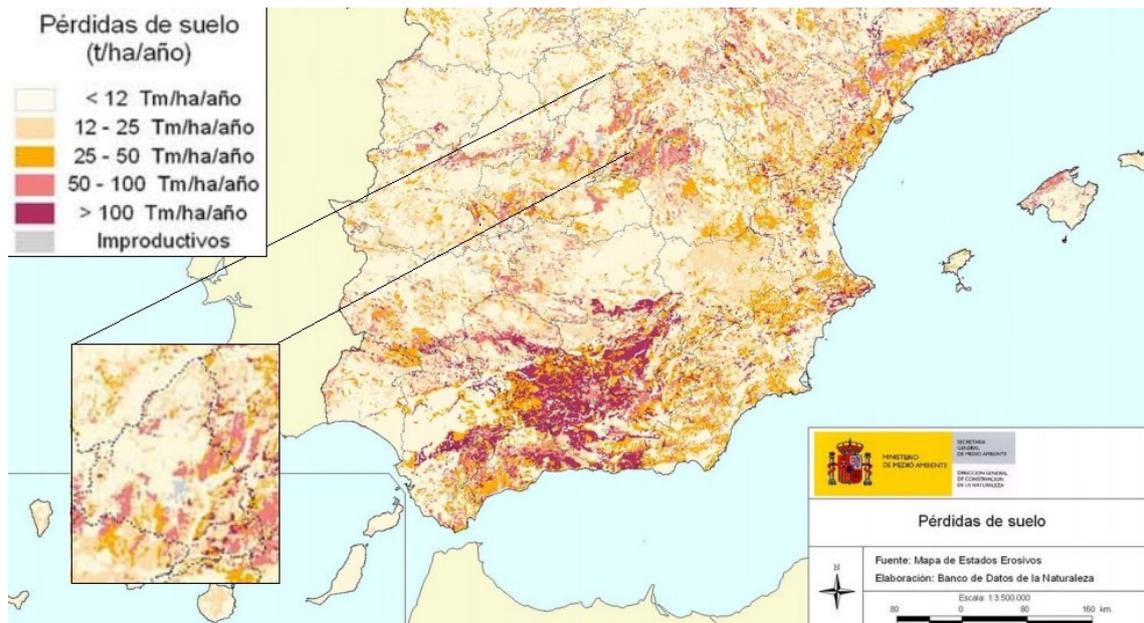


Figura 38. Pérdida del suelo peninsular. Modificado de la página web www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/descargar_mapa_perdidas_suelo.aspx.

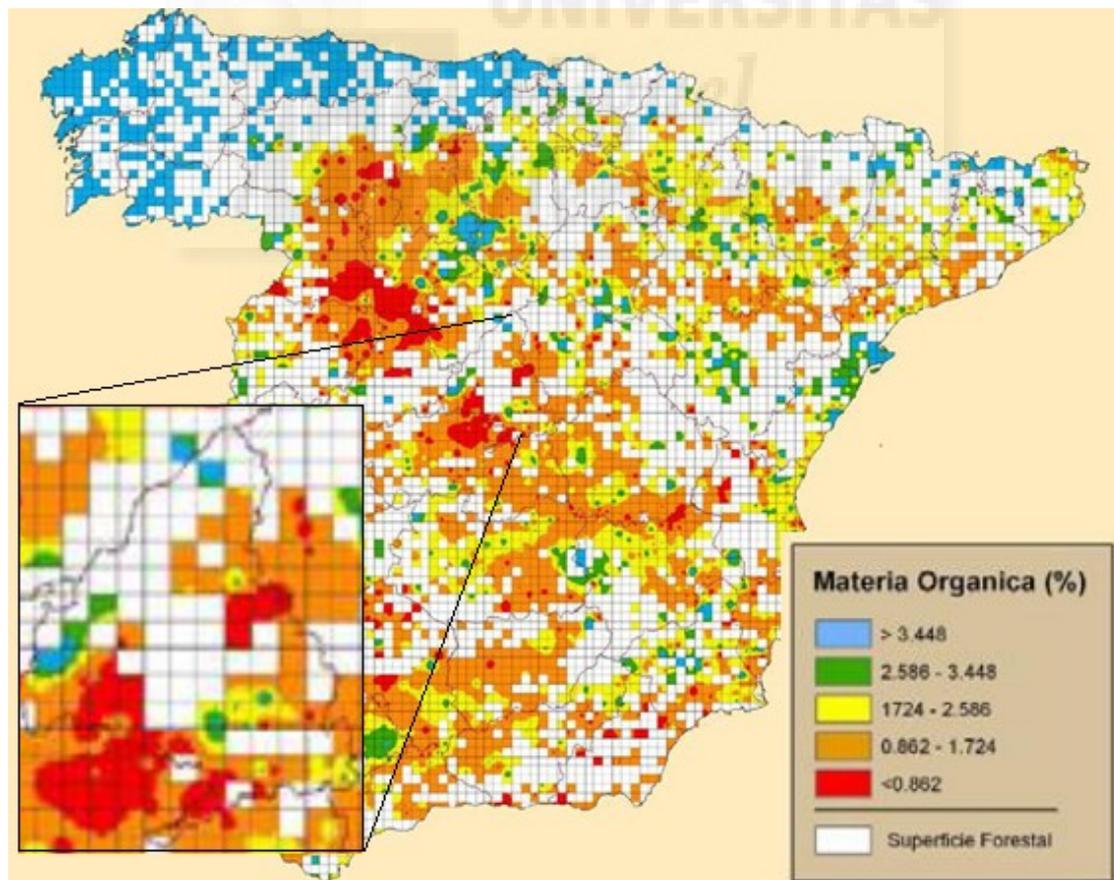


Figura 39. Contenido en Materia Orgánica del suelo peninsular. Modificado del Amlinger et al., 2013.

Las condiciones edáficas y climáticas de España de altas temperaturas y elevada insolación así como una óptima aireación de los suelos, favorecen los procesos de oxidación natural de la materia orgánica. Junto a ello, se suma la naturaleza caliza del suelo del sureste de la Comunidad de Madrid, el cual favorece en gran medida la degradación y pérdida de materia orgánica. Teniendo en cuenta que niveles por debajo del 1% podrían dar lugar a suelos muy degradados que, en condiciones climáticas secas y semiáridas como las típicas de la zona mediterránea, podrían desencadenar la desertización del territorio (Loveland & Webb, 2003). Se converge en la necesidad de reponer de forma periódica la materia orgánica del suelo con objeto de mantener la fertilidad y calidad del mismo.

Conociendo que la materia orgánica puede mejorar la calidad de los suelos de cultivo o bien, rehabilitar y recuperar suelos degradados o contaminados (Pascual Valero et al., 2015). En este último caso, la incorporación de materia orgánica minimiza el deterioro del suelo, de modo que evita que se sobrepase su nivel de resiliencia, que ocasionaría un proceso de degradación de no retorno (Ros et al., 2006). Una aportación de materia orgánica a estos suelos puede ser un factor muy beneficioso y recomendable, y una buena forma de hacerlo puede ser a través de biorresiduos mediante el compostaje. Además, el aporte de residuos orgánicos en forma de compostaje al suelo, favorece el desarrollo de las poblaciones microbianas autóctonas, debido a la mejora de las propiedades físicas y al aporte de carbono fácilmente biodegradable. Esta mejora en la población microbiana se traduce en un incremento de las reacciones que intervienen en los procesos de mineralización e inmovilización de nutrientes en el suelo y, por tanto en la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Perucci, 1990).

De esta manera, la presencia de materia orgánica estabilizada contribuye a mejorar las características estructurales del suelo como el aumento de la porosidad, incrementando su disposición para actuar como hábitat idóneo para la microbiota edáfica. Además, dicho efecto estimulante también es ocasionado por el importante aporte nutricional (Pérez Piqueres et al., 2006), traduciéndose en una mejora de la fertilidad potencial del suelo.

Todo ello, se puede comprobar en un experimento de campo de cinco años de duración, donde se incorporaron dosis altas y bajas de compost elaborado a partir de la FORSU a un suelo degradado. El resultado fue una mejora en la fertilidad biológica y bioquímica del suelo, relacionada con la actividad microbiana. En todas las parcelas enmendadas se observó un crecimiento espontáneo de la vegetación natural tras los tres primeros meses de tratamiento, estableciéndose durante los cinco años del estudio. De manera que la materia seca generada producida en los suelos enmendados mostró mayor cantidad que

en el suelo control sin enmienda (Véase Figura 40). La aparición de vegetación espontánea en las parcelas donde se enmendó con compost, ocasionó menores pérdidas de suelo por escorrentía debido a la fijación de las raíces en el suelo, además esta vegetación contribuyó a un aporte extra de materia orgánica al suelo que condujo en una mejora de la calidad del suelo (Ros, 2000; Pascual Valero et al., 2015).

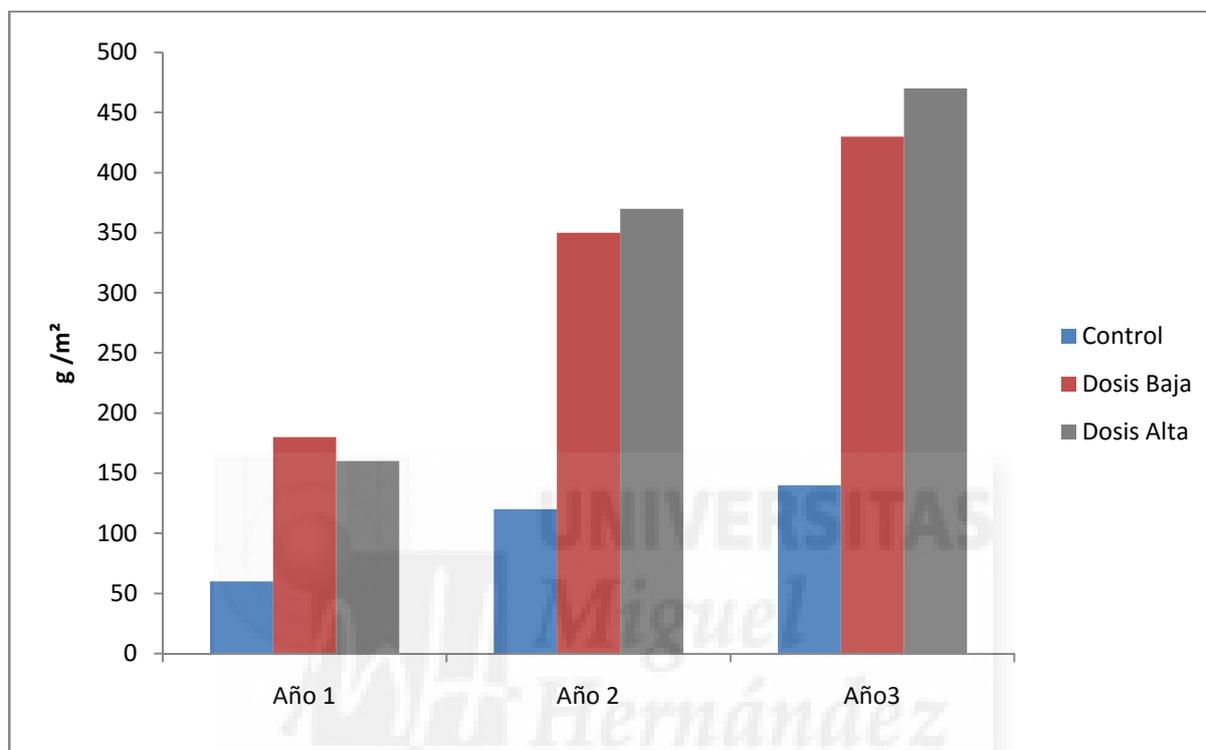


Figura 40. Cantidad de materia seca en gramos por metro cuadrado de suelo generado en las diferentes parcelas de estudio. Tomado de Pascual Valero et al., 2015.

Si se observan la Tabla 40, se puede afirmar que además de lo anteriormente descrito, el compost puede repercutir tanto en las propiedades físicas (aumento de la porosidad, capacidad de retención de agua, etc.) como nutricionales (incremento del contenido en fósforo y nitrógeno) y aumentar la cantidad de materia orgánica.

También se ha observado que el aporte de enmiendas orgánicas a suelos degradados puede mejorar los parámetros microbiológicos y bioquímicos dando lugar a una mejora en la calidad biológica que ocasiona una recuperación del suelo degradado. En la Tabla 40 se observa como la respiración basal y algunas actividades enzimáticas fueron superiores en los suelos enmendados y aún más en los que las dosis eran superiores, poniendo de manifiesto la recuperación de la actividad microbiana de los suelos enmendados.

Tabla 40. Valores de algunos parámetros determinados en suelos degradados con compost obtenidos a partir de la fracción orgánica de residuos urbanos. Tomado de Pascual Valero et al. (2015).

PARÁMETRO	Suelo control	Suelo dosis baja	Suelo dosis alta
FÍSICOS			
Porosidad (%)	57,50	59,58	61,25
Capacidad de Retención Hídrica (%)	54,48	58,50	67,40
FÍSICO-QUÍMICOS			
pH	8,80	8,44	7,62
CE (dS m ⁻¹)	1,20	2,62	3,60
NUTRICIONAL			
Nitrógeno total (g kg ⁻¹)	0,40	0,82	2,38
Fósforo total (g kg ⁻¹)	0,58	0,93	1,03
MATERIA ORGÁNICA			
COT (g/kg)	5,45	12,46	20,88
C soluble agua (mg/kg)	180	295	610
BIOLÓGICOS Y BIOQUÍMICOS			
C Biomasa mic. (mg/g)	590	720	980
Respiración basal (ngCO ₂ /g)	23	51	84
Act. Deshidrogenasa (mg INTF/g*h)	0,52	1,15	2,18
Act. Fosfatasa mol (PNP/g*h)	24	55	162

Por otro lado, se ha de destacar que la zona de estudio pertenece al Parque Regional del Sureste (Figura 41), el cual es un espacio protegido que comprende una zona muy alterada por la acción humana pero en el que se incluyen áreas con características propias y diferenciadas del resto del territorio.

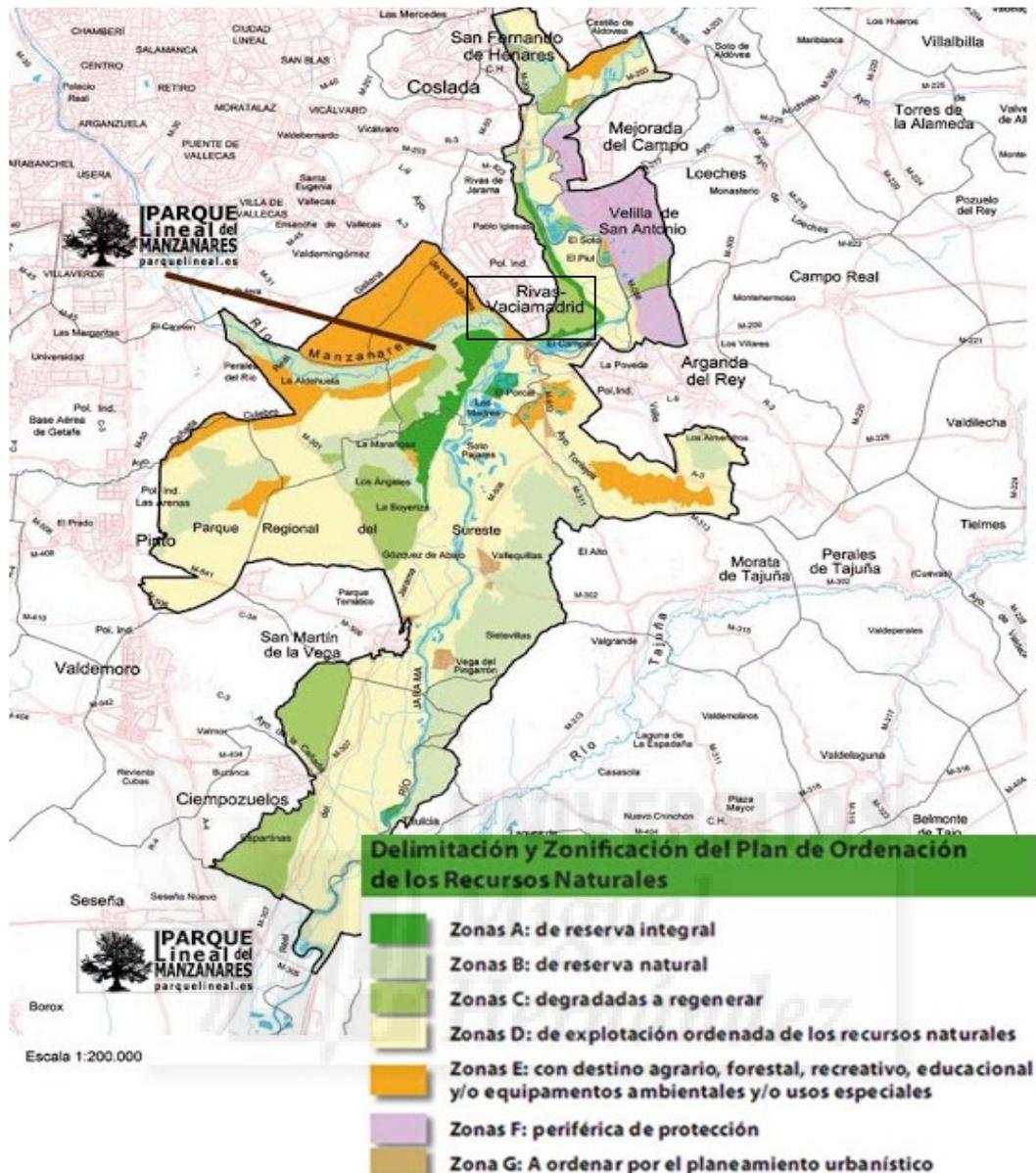


Figura 41. Mapa del parque regional del sureste. Tomado de la página web www.parquelineal.es/naturaleza-y-geologia/proteccion-patrimonio-medioambiental/.

Se encuentra sobre un terreno que comprende principalmente el valle del Jarama, desde el término de San Fernando de Henares hasta Titulcia, ya en el límite sur de la Comunidad de Madrid. A él se une también el tramo final del valle del Manzanares, comprendido en los términos municipales de Getafe y Rivas. En la zona del parque se produce la desembocadura en el Jarama de los ríos Henares, al norte y del Tajuña al sur, ambos desembocando desde el este. Estos ríos transcurren en esta zona por una llanura cuyos materiales tienen su origen en el Mioceno, hace unos 10 millones de años. Dentro del parque se desarrollan distintos ecosistemas como páramos calizos, llanuras cerealistas, áreas gipsícolas (sobre yesos) y las vegas de los ríos así como varias lagunas de origen artificial,

donde se destacan las Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) de la Red Natura 2000, los Lugares de Importancia Comunitaria (LIC) y las Zonas de Protección Especial (ZPE).

En dicho territorio un gran porcentaje de los suelos presentan una degradación biológica entre moderada y alta, que contribuirá a la degradación progresiva de la estructura edáfica del horizonte superficial de estos suelos, desencadenando un fuerte proceso de degradación física. Por tanto, la aplicación de materia orgánica a estos suelos debe considerarse como un hecho muy positivo y recomendable para contribuir a la mejora de la calidad del mismo, sobre todo en estos sistemas con importantes figuras de protección, así como.

7.1.4. La supresión biológica, un valor añadido del compost

En primer lugar cabe destacar que el compostaje es un proceso de biotransformación en el que se produce la descomposición aerobia de restos orgánicos bajo condiciones controladas. Para que se desarrolle dicho proceso, es necesario que diversos microorganismos actúen sobre las materias primas originando un producto estable con excelentes cualidades como fertilizante y bioestimulante denominado compost. Para que ocurra el proceso de compostaje de forma satisfactoria, es necesario la presencia de una microbiota fúngica y bacteriana que a lo largo del proceso desarrolle una gran variedad de microorganismos aerobios mesófilos, termotolerantes y termófilos que incluyen bacterias, actinomicetos, mohos y levaduras, cuya formación depende del tipo de sustrato de partida, del tipo de operación y las condiciones ambientales externas.

La importancia de la microbiota no solo corresponde a la formación satisfactoria de compost, sino que además está íntimamente ligada a la supresividad. De manera que la supresividad se atribuye en gran medida a la riqueza y actividad de las poblaciones microbianas presentes en este material.

En cuanto al término de supresividad, se corresponde con la capacidad que manifiesta el compost para minimizar o eliminar los daños ocasionados por microorganismos patógenos. De modo, que los sustratos supresivos son aquellos, en los que a pesar de la presencia de cultivos susceptibles y de condiciones favorables a la aparición de la enfermedad, los patógenos no son capaces de manifestarse, su presencia no determina el desarrollo de la enfermedad, o ésta comienza a manifestarse pero tiende después a desaparecer, lo que implica

que en estos medios se entorpecen o impiden una o varias etapas de la patogénesis o la instalación del patógeno (Trillas-Gay, 2014).

Esto se debe a mecanismos biológicos, siendo los principales implicados relacionados con la competición por la disponibilidad de nutrientes o de espacio, la producción de sustancias antibióticas, hiperparasitismo, inducción de genes de resistencia en plantas, producción de compuestos volátiles estimuladores o tóxicos a partir del compost y cambios en las propiedades físicas del sustrato o del suelo (Moreno y Moral, 2008).

Como se ha mencionado anteriormente, la supresividad se debe en mayor medida a la riqueza y actividad de las poblaciones de microorganismos presentes en el compost que recolonizan la pila de compostaje o formaban parte de los materiales de partida, sin embargo, dicha capacidad también depende de aspectos como la composición de la materia orgánica a degradar, el sistema de compostaje y las condiciones ambientales que facilitarán la recolonización de microorganismos después de la fase termofílica y durante la fase de maduración, además de las características físico-químicas del compost (Trillas-Gay, 2014).

De este modo, la necesidad actual de combatir numerosas plagas y enfermedades vegetales, ha conducido el creciente interés en su conocimiento y comercialización. No solo servirá para elaborar programas de control biológico o control biológico integrado de enfermedades o evitar su deterioro por fitopatógenos, sino que también se contribuirá a la asignación de valor añadido a un producto que originalmente se consideraba un residuo, favoreciendo su reciclado y reduciendo un importante problema tanto a nivel nacional como global. También favorecerá la reducción de la aplicación de productos fitosanitarios de origen químico como plaguicidas, los cuales han derivado en una pérdida importante de la microbiota autóctona, ha generado razas de fitopatógenos resistentes, ha incidido negativamente en la fertilidad del suelo provocando su erosión y en algunos casos esterilidad de forma irreversible.

Por lo tanto, la supresividad natural del compost ha sido ampliamente estudiada, y se ha corroborado por numerosos estudios su efecto supresivo frente a fitopatógenos (Tabla 41).

En relación al compost elaborado a partir de la FORSU, se ha comprobado que manifiestan una clara supresividad natural frente a distintos fitopatógenos (Tabla 42). El empleo de estos compost a partir de la FORSU ha disminuido la acción de algunos fitopatógenos causantes de enfermedades y marchitamiento como en el estudio de Widmer et al., (1998) o en varios estudios del área metropolitana de Barcelona (Trillas-Gay, 2014).

Tabla 41. Resultados de los artículos revidados de compost que presentan capacidad supresora.

Tipo de residuo	Supresividad	Referencia
Corcho	Supresividad de un 53% de <i>Rhizoctonia solani</i> en plantas de pepino.	Trillas et al. (2006)
Residuos de naranja, orujo de oliva, y los recortes de hierba	Supresividad contra <i>Rhizoctonia solani</i> en pepino.	Reis & Coelho (2013)
Residuo de vinagre	Supresividad de <i>Fusarium oxysporum</i> en plantas de pepino.	Du et al. (2015)
Alperujo	Supresividad contra <i>Verticillium dahliae</i> , el agente causal de la marchitez de la oliva por <i>Verticillium</i> .	Vitullo et al. (2013)
Orujo remolacha azucarera; orujo de uva	Efecto supresor de nematodos	Renco et al. (2011)
Alperujo	Efecto supresor de nematodos	Sasanelli et al. (2011)
Cáscara de almendra	Supresión de <i>Rosellinia necatrix</i> , el agente causante de la pudrición de la raíz de aguacate blanco.	Vida et al. (2016)
A partir de lodo de depuradora.	Efecto supresivo de <i>Rhizoctonia solani</i> y <i>Pythium ultimum</i> en cultivo de guisantes.	Lewis et al. (1992)
A partir de lodo de depuradora.	Supresión de <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>melonis</i> en cultivo de melón y <i>Xanthomonas campestris</i> en el cultivo de tomate.	Suárez-Estrella et al. (2013)

Tabla 42. Resumen de artículos revisados donde se muestra carácter antagonico por parte de determinados agentes de control biológico hacia fitopatógenos empleando compost a partir de la FORSU.

ACBs	Fitopatógeno	Acción	Referencia
<i>Enterobacter agglomerans</i> y <i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Rhizoctonia solani</i> y <i>Fusarium oxysporum</i>	Se redujo la gravedad en un 80 y 95%, de la enfermedad vasinfestum por el patógeno en las plantas de algodón.	Cohen et al. (1998)
Actinomicetos	<i>Rhizoctonia solani</i>	Se comprobó una reducción significativa de <i>Rhizoctonia solani</i> por el antagonismo microbiano.	Tuitert et al. (1998)
No identificado	<i>Fusarium oxysporum</i>	La adición de compost incrementó el efecto supresivo del suelo, reduciéndose la actividad del patógeno.	Serra-Wittling et al. (1996)
No identificado	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i> y <i>Botrytis cinerea</i>	La aplicación de compost de RSU mezclados con restos de poda urbana, mostró supresividad natural en torno al 20% de incidencia de enfermedad frente a patógenos en plantas de pepino.	Trillas-Gay (2014)
No identificado	<i>P. nicotidae</i>	La aplicación de compost de residuos sólidos urbanos redujo en un 95% la acción del fitopatógeno <i>P. nicotidae</i> en cultivos frutales.	Widmer et al. (1998)

Sin embargo, esta supresividad no ha de ser exclusivamente natural, sino que puede ser inducida por la inoculación de microorganismos durante el compostaje. Hay diversos estudios donde se demuestra la mejora en la supresividad natural de compost o de sustratos conductores (turba, fibra de coco, perlita, vermiculita, etc.) con la incorporación de agentes de control biológico, como en el estudio de Sant et al. (2010) donde se determinó que *Trichoderma asperellum* cepa T34 incorporado a turba o perlita, redujo de forma significativa los niveles de severidad frente a *Fusarium oxysporum* en plantas de clavel, y de tomate en el estudio de Sagarra et al. (2010). Dado que son numerosos los estudios relacionados con el aumento de supresividad del compost gracias a la inoculación de agentes de control biológico, se ha realizado una tabla resumen (Tabla 43) de los artículos encontrados donde se demuestra un carácter antagonico hacia determinados fitopatógenos.

Tabla 43. Tabla resumen de artículos revisados donde se muestra carácter antagonico por parte de determinados agentes de control biológico hacia fitopatógenos.

Agente de control biológico	Fitopatógeno inhibido	Tipo de compost	Referencia
<i>Trichoderma. T34</i>	Supresividad natural frente a <i>F. oxysporum f.sp. lycopersici</i> .	Compost de residuos sólidos, restos de poda y de mercado, lodos de depuradora, formulado con perlita y vermiculita.	Cotxarrera et al. (2002)
<i>Trichoderma. T34</i>	Mejoró la supresividad natural del producto frente a <i>Rhizoctonia solani</i> en plantas de pepino.	Compost maduro de residuo de alperujo y de residuo agotado de champiñón.	Trillas et al. (2006)
<i>Trichoderma. T34</i>	Mejoró la supresividad natural del producto frente a <i>Phytophthora capsici</i> en plantas de pimiento.	Compost maduro de residuo de alperujo y de residuo agotado de champiñón.	Segarra et al. (2013)
Cepa de <i>Bacillus pumilus</i>	Excelentes resultados frente a la enfermedad causada por <i>Xanthomonas campestris</i> en tomate, reduciendo en un 95% la incidencia de la misma en plántulas.	Compost elaborados con residuos agroindustriales.	Suárez-Estrella et al. (2014).

Conociendo la importante trascendencia que supone el enriquecimiento del compost con agentes de control biológico, es importante conocer estos agentes para poder llevar a cabo una supresividad inducida con éxito. De tal modo, tras realizar una búsqueda se ha

comprobado que se conocen importantes agentes de control biológico procedentes de suelos y compost que muestran una importante supresividad natural.

Entre los agentes más conocidos destacan bacterias del género *Pseudomonas* (*P. putida* y *P. fluorescens*), como es el caso de algunas cepas aisladas a partir de ciertos suelos supresivos de Salinas y San Joaquín (California), así como algunas formas no patógenas del género *Fusarium* (Fo47) aisladas de suelos de la región de Chateurenard (Francia) (Fuchs et al., 1997). También un número importante de microorganismos se ha asociado a fenómenos de supresividad como bacterias del tipo *Bacillus spp.*, *Enterobacter spp.*, *Flavobacterium balustinum*, entre otros y ciertos actinomicetos y hongos entre los que se encuentran *Streptomyces spp.*, *Trichoderma spp.* o *Gliocladium virens*.

De entre todos ellos, la especie del género *Trichoderma* han sido ampliamente estudiados y usados como AGB_s en agricultura siendo una alternativa real al uso de productos químicos (Alabouvette et al., 2006). De entre las especies de *Trichoderma* más importantes por su capacidad antagonista destacan *T. atroviride*, *T. harzianum*, *T. virens* y *T. asperellum* (Benítez et al, 2004).

Con todo lo anterior se comprueba que numerosas publicaciones confirman la presencia de microorganismos agentes de control biológico en compost supresores (Suárez-Estrella et al., 2007), de los cuales han sido aislados diversos agentes fúngicos y bacterianos. La identificación de nuevas cepas bacterianas de *Bacillus subtilis*, *B. licheniformis*, *B. pumilus* y *Acetobacter indonesiensis*, así como de algunas especies fúngicas como *Paecilomyces variotii*, *Penicillium chrysogenum* o *Acremonium spp.*, demuestra la enorme biodiversidad que se puede encontrar en relación al potencial carácter supresivo de un compost.

Por otro lado, en la Comunidad de Madrid, los principales cultivos hacen referencia a la cebada, el olivar y el trigo. En la Tabla 44 se puede comprobar las distintas enfermedades por determinados fitopatógenos que afectan a estos cultivos.

Tabla 44. Enfermedades de los principales cultivos en la Comunidad de Madrid y sus respectivos fitopatógenos responsables. Tomado de aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/4218/mod_resource/content/0/Programa_de_FITOPATOLOGIA.pdf.

Cultivo	Tipo de enfermedad y fitopatógeno asociado
Cebada	Carbón volador (<i>Ustilago nuda</i> var. <i>hordei</i>)
	Escaldadura (<i>Rynchosporium secalis</i>)
	Mancha borrosa (<i>Cochliobolus sativus</i> ; anamorfo : <i>Bipolaris sorokiniana</i>)
	Mancha listada (<i>Pyrenophora graminea</i> ; anamorfo : <i>Drechslera graminea</i>)
	Mancha en red (<i>Pyrenophora teres</i> ; anamorfo : <i>Drechslera teres</i>)
	Oídio (<i>Erysiphe graminis</i> ; anamorfo : <i>Oidium monilioides</i>)
	Roya amarilla (<i>Puccinia striiformis</i> var. <i>hordei</i>)
Olivo	Roya enana (<i>Puccinia hordei</i>)
	Roya negra (<i>Puccinia graminis</i> var. <i>tritici</i> y <i>secalis</i>)
Trigo	Tuberculosis (<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>savastanoi</i>)
	Carbón volador (<i>Ustilago nuda</i> var. <i>tritici</i>)
	Caries o Carbón hediondo (<i>Tilletia</i> spp.)
	Cornezuelo (<i>Claviceps purpurea</i> ; anamorfo : <i>Sphacelia segetum</i>)
	Mancha de la gluma y nudo (<i>Leptosphaeria nodorum</i> ; anamorfo : <i>S. nodorum</i>)
	Mancha de la hoja (<i>Mycosphaerella graminicola</i> ; anamorfo : <i>Septoria tritici</i>)
	Mancha del escudete o tizón del nudo (<i>Cochliobolus sativus</i> ; anamorfo: <i>Bipolaris sorokiniana</i>)
	Mancha bronceada (<i>Drechslera tritici-repentis</i>)
	Pietin (<i>Gaeumannomyces graminis</i>)
	Podredumbre radical y tizón (<i>Gibberella zeae</i> ; anamorfo <i>Fusarium graminearum</i>)
	Oídio (<i>Erysiphe graminis</i> var. <i>tritici</i> ; anamorfo : <i>Oidium monilioides</i>)
	Roya anaranjada (<i>Puccinia recondita</i> var. <i>tritici</i>)
	Roya amarilla (<i>Puccinia striiformis</i> var. <i>tritici</i>)
Roya negra (<i>Puccinia graminis</i> var. <i>tritici</i>)	

Se han evidenciado resultados de antagonismo de *Mycosphaerella graminicola*, patógeno del trigo, con cepas de *Trichoderma harzianum* (Stocco, 2014). En el caso de la roya de la cebada (*Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*), Castrejón & González (1994), con la aplicación de *Helminthosporium tritici-repentis*, redujeron el desarrollo final de la roya en 40 % y obtuvieron un incremento en la producción de grano de cebada. Por lo que, el empleo de compost enriquecido con microorganismos de control biológico es una buena alternativa para la mejora del desarrollo de los cultivos, incorporando al compost un alto valor añadido.

7.2. Material bioestabilizado.

Como se ha mencionado anteriormente, dicho material puede ser empleado en suelos agrícolas como en revegetación de taludes, cobertura de vertederos clausurados, restauración de canteras y minas y jardinería pública. Sin embargo, en muchos casos, la propia apariencia visual del material bioestabilizado ha conducido a su denominación como compost gris. Esta denominación, junto a su contenido en plásticos, vidrio y otras impurezas a causa de la recogida sin separación de la fracción mezcla, ha provocado el rechazo de sus potenciales

usuarios (Ansorena, 2016). Por ello, las salidas del material bioestabilizado son más limitadas que en el caso del compost y se reducirían a su empleo en el municipio en jardinería pública, como tierra vegetal para obras o en revegetación de taludes.

En el caso de estudio, el material bioestabilizado es sometido previamente a una serie de separaciones en las que en primer lugar se aísla la biomasa inferior a 10 mm y se separa al 100% en el trómel rotativo. De esta manera la cantidad de impurezas de vidrio, plástico o metal se reduce en gran medida en comparación con otros materiales bioestabilizados. Aunque la cantidad de impropios es limitada, sería conveniente la realización de estudios previos que garanticen una calidad apta para su empleo en jardinería (debido a que esta alternativa sería la más restrictiva en cuanto a calidad). De manera que asegurando cierta calidad del producto, se garantiza el uso sostenible del material sin comprometer la estabilidad ambiental.

Sin embargo, aunque se garantice la inocuidad del material bioestabilizado, el rechazo generalizado que se asocia actualmente conduce a la complejidad de obtener beneficios en su venta y por lo tanto para dar salida a dicho producto sería conveniente donarlo.

Como se ha mencionado anteriormente, los entes municipales disponen de mecanismos legales para potenciar la salida del producto en sus ámbitos de competencia. Esta solución sería la más acertada, pudiéndose emplearse en el sellado de vertederos y escombreras, en la rehabilitación de suelos degradados o incluso en relleno como tierra vegetal para obras aprovechando la continua y ascendente actividad constructora en el municipio.

Sin embargo, sería necesario llevar a cabo un estudio de planta piloto para caracterizar de manera detallada las características que presentaría el material bioestabilizado. En dicho estudio, se ha de incidir en las características del carbono, ya que este puede presentar un porcentaje idóneo y en consonancia con el porcentaje de nitrógeno pero que por el contrario no se considere asimilable para las plantas.

8. CONCLUSIONES

La cantidad estimada de FORM es escasa para implantar un tratamiento aerobio (compostaje) o anaerobio (digestión anaerobia). En especial para un tratamiento anaerobio, debido a que presenta un excesivo coste de inversión y mantenimiento, con una rentabilidad muy baja por la escasa cantidad de biorresiduo que se generaría. Por todo ello, esta alternativa se descarta.

Otra alternativa, es la utilización del biorresiduo como material bioestabilizado. De cara futuro se considera una medida provisional hasta el comienzo de una normativa europea conjunta. Debido a la gran heterogeneidad de normativa en los distintos países europeos, materiales como el compost adquieren diferente clasificación en función de la separación en origen de la FORM. Sin embargo, se prevé una unificación de la normativa en el futuro, de manera que el compost no inscrito actualmente (denominado bioestabilizado) podría considerarse compost en un futuro.

Con lo anterior, la alternativa de bioestabilizado supondría un ahorro económico dado que no sería necesario la inversión y mantenimiento de la implantación del quinto contenedor. Sin embargo, sería preciso realizar un estudio económico sobre la puesta en funcionamiento y un estudio acerca de sus características donde se corrobore que el material es apropiado para su uso en agricultura, sin perjuicio del medio ambiente y de la salud de las personas.

El tratamiento aerobio basado en el compostaje también se considera una medida idónea debido a la obtención de un material higienizado, enmendante y estabilizado de gran valor para la recuperación de suelos y desarrollo vegetal. Pese a presentar altos costes de inversión, se considera una posible alternativa de cara al futuro debido a su potencial ambiental y dadas las excelentes cualidades que presenta la materia orgánica de partida. El producto obtenido, compost, es un material mejor catalogado que el material bioestabilizado desde una perspectiva ambiental. Sin embargo, se estima que esta medida es más costosa que la anteriormente citada y económicamente no resulta rentable.

En el caso del compostaje, se recomienda la implantación de túneles de compostaje al tratarse de FORM. Debido a la heterogeneidad (tanto física como química), elevada biodegradabilidad y alto contenido en humedad del residuo, se producen situaciones de anaerobiosis y malos olores.

Las posibles salidas del compost son diversas, centrándose en el sustrato de cultivo o enmienda orgánica en las tres empresas dedicadas a la jardinería en el municipio (Garden Rivas, Viveros Ángel y Centro de Jardinería Aragón), así como también su utilización en parques y jardines públicos del municipio y privados mediante su venta a la ciudadanía. La venta a los vecinos de Rivas-Vaciamadrid, es de gran importancia debido al predominio de viviendas unifamiliares con extensiones ajardinadas.

Otro punto fuerte para dar salida al compost, corresponde a su utilización en la recuperación de suelos degradados teniendo en cuenta que la zona de estudio se encuentra en el Parque Regional del Sureste (el cual presenta figuras importantes como ZEPA, LIC y ZPE) caracterizado por presentar suelos gipsícolas de escasa cantidad de materia orgánica y degradados. Además, todas estas salidas podrían verse favorecidas en el caso de tener en cuenta la inoculación de microorganismos agentes de control biológico que originarían un producto de alto valor añadido.

En el caso del material bioestabilizado, las salidas son más escasas debido a su inferior calidad y a su rechazo generalizado, por lo que la venta sería limitada y tendría que ser donado. Las salidas hacen referencia al sellado de vertederos y escombreras, en la rehabilitación de suelos degradados o incluso en relleno como tierra vegetal para obras aprovechando la continua y ascendente actividad constructora en el municipio. También podrían emplearse en jardinería pública del municipio, aunque los controles de calidad serían más restrictivos.

Tanto para el reciclaje del material bioestabilizado como el compost, se han de considerar factores políticos y sociales que condicionarán el correcto desarrollo de la alternativa propuesta.

9. BIBLIOGRAFÍA

Legislación

Bruselas. Directiva 1999/31/CE de 26 de abril de 1999. DO núm. 182 de 16 de julio de 1999. Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea.

Bruselas. Directiva 2008/98/CE de 19 de noviembre de 2008. DO núm. 312 de 22 de noviembre de 2008. Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea.

Comisión Europea. Paquete de nuevas medidas sobre la economía circular, presentado el 2 de diciembre de 2015.

España. Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. BOE núm. 25 de 29 de Enero de 2002.

España. Tasa por Servicios y Actividades Relacionadas con el Medio Ambiente. BO. Ayuntamiento de Madrid 22/11/2001 núm. 5470 pag. 3831.

España. Ley 5/2003, de 20 de marzo, de residuos de la Comunidad de Madrid. BOCM núm. 76 de 31 de Marzo de 2003 y BOE núm. 128 de 29 de Mayo de 2003.

España. Real Decreto Legislativo 2/2004, de 5 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley Reguladora de las Haciendas Locales. BOE núm. 59 de 10 de Marzo de 2004.

España. Ordenanza fiscal reguladora da taxa por prestación do servizo de recollida de lixo e residuos solidos urbanos. BOP. Ayuntamiento de Lugo de 20 de diciembre de 2005 núm. 289 pág. 60-61.

España. Ordenanza de Gestión de Residuos Urbanos y Residuos de Construcción y Demolición, Limpieza de Espacios Públicos y Mantenimiento de Solares. BO. Ayuntamiento de Madrid de 24 de marzo de 2009 núm. 5904 pág. 6-24.

España. Real Decreto Legislativo 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo. BOE núm. 170 de 14 de Julio de 2010.

España. Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. BOE núm. 181 de 29 de Julio de 2011. España. Real Decreto Legislativo 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. BOE núm. 164 de 10 de Julio de 2013.

España. Ordenanza fiscal reguladora de la tasa por servicios relativos al tratamiento de los residuos sólidos urbanos. Ayuntamiento de Palma, el 1 de Enero de 2014.

España. Ordenanza fiscal reguladora de las tasas por recogida, tratamiento y aprovechamiento o eliminación de residuos y demás actividades prestadas en relación con dicho servicio para el año 2015. Entidades Locales de Navarra.

Estrategia de Residuos de la Comunidad de Madrid 2006-2016. Acuerdo de 18 de Octubre de 2007.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2007). Biomasa: Digestores anaerobios. Madrid.

PEMAR. Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos 2016-2022. Ministerio de Agricultura, alimentación y medio ambiente.

Bibliografía

Abad, M.; Noguera, P.; Carrión, C. (2005). *Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación*. En: Cadahía, C. (ed). *Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. 3ª ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. pp. 299-354.

Alabouvette, C.; Olivain, C.; Steinberg, C. (2006). Biological control of plant disease: the Europeansituation. *Eur. J. Plant Pathol* 114, 329-341..

Ambrose, J. A. (1893). Developments in the composting of refuse. *Practical Waste Management*, 399-414.

- Amlinger, F.; Giró, F.; Muñoz, J.; Grima, A.; Jofra, M.; Masanas, M.; Moreno, J.; Nohales, G.; Puig, I.; Soliva, M.; Vila, M. (2013). *Gestión de Biorresiduos de Competencia Municipal. Guía para la implantación de la recogida separada y tratamiento de la fracción orgánica*. MAGRAMA, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid. 355 pp
- Andrés, P; Rodríguez, R. (2008). Gestión y tratamiento de residuos sólidos urbanos. En: Andrés, P; Rodríguez, R. (Eds). *Evaluación y Prevención de Riesgos Ambientales en Centroamérica*. Documenta Universitaria. Girona, España.
- Ansonera, J. (2016). *El compost de biorresiduos. Normativa, calidad y aplicaciones*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid
- Benítez, T.; Rincon, A.M.; Limon, M.C.; Codon, A.C. (2004). Biocontrol mechanisms of *Trichoderma strains*. *Int. Microbiol* 7, 249-260
- Bernal, M. P.; Gondar, D. M. (2008). Producción y gestión de los residuos orgánicos: situación actual a nivel mundial, comunitario y estatal. En: *Compostaje*. Eds. Moreno, J y Moral, R. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, pp. 9-41.
- Blok, C.; Verhagen, H. (2009). Trends in rooting media in dutch horticulture during the period 2001-2005. The new growing media project. *ISHS Acta Horticulturae* 819, 47-58.
- Castrejón, S.; González, I. (1994). Posibilidad de control biológico de *Puccinia striiformis* f. sp. hordei en cebada, bajo condiciones de campo. pp. 33. En: *Memorias del XXI Congreso Nacional de Fitopatología*. Cuernavaca, Morelos, México.
- Chica Pérez, A.; García Morales, J. L. (2008). Aspectos técnicos en el desarrollo y control del proceso de compostaje. En: *Compostaje*. Edts. Moreno Caso, J. y Moral Herrero, R. pp. 141-164. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

- Chica Pérez, A. F.; Artola Casacuberta, A.; Rosal Raya, A.; Solé-Mauri, F.; Fernández Morales, F. J.; García-Morales, J. L.; Dios Pérez, M.; Díaz Blanco, M.; Plana González-Siera, R.; Font Segura, X. (2015). *Ingeniería y aspectos técnicos de la estabilización aeróbica*, Mundi-Prensa. Editores científicos, Madrid. 289 pp.
- Cohen, R.; Chefetz, B.; Hadar, Y. (1998). Suppression of Soil-Borne Pathogens by Composted Municipal Solid Waste. *Municipal and Industrial By-product*, 113-130.
- Colegio Técnicos Agrícolas de Cataluña. (2006). *Composts: calidad y aplicación en espacios verdes*. Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo Fundació de l'Enginyeria Agrícola Catalana, Barcelona, p. 54.
- Cotxarrera, L.; Trillas-Gay, M. I.; Steinbeg, C.; Alabouvette, C. (2002). Use of sewage sludge compost and *Trichoderma asperellum* isolates to suppress Fusarium wilt of tomato. *Soil Biology and Biochemistry* 34, 467-476.
- Costa, F.; García, C.; Hernández, T.; Polo, A. (1991). *Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Murcia. 181 pp.
- Díaz de Basurto Burgos, A. (2013). *Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor anaerobio con residuos orgánicos generados en el mercado de Tiquipaya* (Bolivia). Tesis doctoral.
- Du, N.; Shi, L.; Du, L. (2015). Effect of vinegar residue compost amendments on cucumber growth and *Fusarium* wilt. *Environmental Science and Pollution Research* 22, 19133-19141.
- Elías Castells, X. (2012). *Tratamiento y valorización energética de residuos*. Ediciones Díaz de Santos, Madrid.
- Elías Castells, X.; Flotats Ripoll, X.; Campos Pozuelo, E. (2012). *Procesos biológicos. la digestión anaerobia y el compostaje*. Ediciones Díaz de Santos, Madrid.

- Flotats, X.; Solé, F. (2008). Situación actual en el tratamiento de los residuos orgánicos: aspectos científicos, económicos y legislativos. En: Moreno, J.; Moral, R. *Compost*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 570 pp.
- Fuchs, J. G.; Moëgne-Loccoz, Y.; Defago, G. (1997). Nonpathogenic *Fusarium oxysporum* strain Fo47 induces resistance to *Fusarium* wilt tomato. *PlantDisease* 81, 492-496.
- Gotaas, H. B. (1956). Composting-Sanitary Disposal and Reclamation of Organic Wastes. *World Health Organisation Monograph Series* nº 31.
- Haugh, R. T. (1993). *The practical Handbook of Compost Engineering*, Lewis Publishers. Boca Raton, Florida, EE.UU.
- Huertas, O.; López, M.; Soliva, M.; Zaloña, M. (2008). Compostaje de Residuos Municipales: control del proceso, rendimiento y calidad del producto. En: *Informe de la Escuela Superior de Agricultura de Barcelona para la Agencia de Residuos de Cataluña*, Barcelona, España.
- Huerta-Pujol, O.; Gallart, M.; Soliva, M.; Martínez-Farré, F. X.; López, M. (2011). Effect of collection system on mineral content of biowaste. *Resour. Conserv. Recycl.*, 55: 1095-1099.
- Lewis, J.A.; Lumsden, R.D.; Millner, P.D. (1992). Suppression of damping-off of peas and cotton in the field with composted sewage-sludge. *Crop Protection* 11, 260-266.
- López, M.; Soliva, M.; Martínez-Farré, F. X.; Fernández, M.; Huerta-Pujol, O. (2010). Evaluation of MSW organic fraction for composting: Separate collection or mechanical sorting. *Resour. Conserv. Recycl.*, 54: 222-228.
- Loveland, P.; Webb, J., (2003). Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil and Tillage Research* 70, 1-18.

- Magalhaes, A. M. T.; Shea, P. J.; Jawson, M. D., Wicklund, E. A., Nelson, D. W.(1993). Practical simulation of composting in the laboratory. *Waste management and research*, 11(2): 143-154.
- Moreno, J.; Moral, R. (2008). *Compost*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 570 pp.
- Mustin, M. (1987). *El compost. Gestión de la materia orgánica*. Ediciones F. Dubusc, París 954 pp.
- Nayono, S. E. (2009). *Anaerobic digestion of organic solid waste for energy production*. Tesis Doctoral, Universitat Fridericiana zu Karlsruhe (TH), 148 p.
- Pérez-Murcia, M. D.; Moral, R.; Moreno-Caselles, J.; Pérez-Espinosa, A; Paredes, C. (2006). Use of composted sewage sludge in growth media for broccoli. *Bioresource Technology* 97, 123-130.
- Pérez Piqueres, A.; Edel-Hermann, W.; Alabouvette, C.; Steinberg, C. (2006). Response of soil microbial communities to compost amendments. *Soil Biology and Biochemistry* 38, 460-470.
- Perucci, P. (1990). Effect of the addition of municipal solid-waste compost on microbial biomass and enzyme-activities in soil. *Biology and Fertility of Soils* 10, 221-226.
- Pascual Valero, J. A.; Moreno Casco, J.; Ros Muñoz, M.; Vargas García, M. C. (2015). *Aspectos biológicos de la estabilización aeróbica*, Mundi-Prensa. Editores científicos, Madrid. 317 pp.
- Reis, M.; Coelho, L. (2013). *Controlling Rhizoctoniasolani in cucumber using compost of Agro-Industrial residues*. International Symposium on Growing Media, Composing and Substrate Analysis Location. Barcelona, España 1013, 499-505.
- Renco, M.; Sasanelli, N.; Kovacik, P. (2011). The effect of soil compost treatments on potato cyst nematodes *Globoderaro rostochiensis* and *Globodera pallida*. *Helminthologia* 48, 184-194.

- Ros, M. (2000). *Recuperación de suelos agrícolas abandonados mediante el reciclaje en los mismos de residuos orgánicos de origen urbano*. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.
- Ros, M.; García, C.; Hernández, M. T. (2006). A full scale study of treatment of pig slurry by composting: Kinetic changes in chemical and microbial properties. *Wastw Management* 26, 1108-1118.
- Rynk, R.; Richard, T. (2004). Sistemas de producción comercial de compost. En: Stofella, P. (Eds). *Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola*. pp: 51-93. Mundi-Prensa. Madrid.
- Sagarra, G.; Casanova. E.; Avilés, M.; Trillas, M. I. (2010). *Trichoderma asperellum* Strain T34 controls *Fusarium* wilt disease in tomato plants in soil culture through competition for iron. *Microbial Ecology* 59, 141-149.
- Sánchez Ferrer, A.; Artola Casacuberta, A.; Barrena Gómez, R.; Dios Pérez, M.; García Gil, J. C.; López Núñez, R.; Pérez Murcia, M. D.; Puig Ventosa, I.; Soto Castiñeira, M.; Gea Leiva, T. (2014). *Residuos Urbanos*, Mundi-Prensa. Editores científicos, Madrid. 356 pp.
- Sant, D.; Casanova, E.; Segarra. G.; Avilés, M.; Reis, M.; Trillas, M. I. (2010). Effects of *Trichoderma asperellum* strain T34 on *Fusarium* wilt and water usage in carnation grown on compost-based growth medium. *Biological Control* 53, 291-296.
- Sasanelli, N.; D'Addabbo, T.; Mancini, L. (2011). *Suppressive effect of composted olive mill wastes soil amendements on the root-knot nematode meloidogyne*. International Symposium on Tomato diseases. Ischia, Italia 914, 229-231.
- Segarra, G.; Avilés, M.; Casanova. E.; Borrero, C.; Trillas, I. (2013). Effectiveness of biological control of *Phytophthora capsici* in pepper by *Trichoderma asperellum* strain T34. *Phytopatologia Mediterranea* 52, 77-83.

- Serra-Wittling C.; Houot S.; Alabouvette C. (1996). Increased soil suppressiveness to *Fusarium* wilt of flax after addition of municipal solid waste compost. *Soil Biol. Biochem* 28, 1207-1214.
- Stocco, C. M. (2014). *Control biológico de Mycosphaerella graminicola, patógeno del trigo, con cepas de Trichoderma harzianum caracterizadas por su morfología, fisiología, actividad enzimática y molecular*. Tesis Doctoral.
- Stentiford, E. I. (1987). Recent developments in composting. En: *Compost, Production, Quality and Use*. Eds. Betoldi, M.; Ferranti, M.; L'Hermite, P.; Zuicconi, F. Ed. Elsevier, London, pp. 52-60.
- Suárez-Estrella, F.; Vargas-García, C.; López, M. J., Capel, C., Moreno, J. (2007). Antagonistic activity of bacteria and fungi from horticultural compost against *Fusarium oxysporum f.sp. melonis*. *Crop Protection* 26, 46-53.
- Suárez-Estrella, F.; Arcos-Nievas, M. A.; López, M. J.; Vargas-García, M. C.; Moreno, J. (2013). Biological control of plant pathogens by microorganisms isolated from agroindustrial compost. *Biological Control* 67, 509-515.
- Suárez-Estrella, F.; Ros, M.; Vargas-García, M. C.; López, M. J.; Moreno, J. (2014). Control of *Xanthomonas campestris pv. vesicatoria* using agroindustrial waste-based compost. *Journal of Plant Pathology* 96, 243-248.
- Trillas, M.I.; Casanova, E.; Cotxarrera, L.; Ordovás, J.; Borrero, C., Avilés, M. (2006). Composts from agricultural waste and the *Trichoderma asperellum* strain T-34 suppress *Rhizoctonia solani* in cucumber seedlings. *Biological Control* 39, 32-38.
- Trillas-Gay, M. I.; Avilés, M.; Suárez-Estrella, F.; Moreno, J. (2014). *Compost y control biológico de las enfermedades de las plantas*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 125 pp.

- Tuitert, G.; Szczecch, M.; Bollenm, G. J. (1998). Suppression of *Rhizoctonia solani* in potting mixtures amended with compost made from organic household waste. *Phytopathology* 88, 764-773.
- Vandevivere, P., De Baere, L., Verstraete, W. (2003). *Types of anaerobic digesters for solid wastes*. Amsterdam: IWA publishing company.
- Vida, C.; Bonilla, N.; de Vicente, A. (2016). Microbial profiling of a suppressiveness-induced agricultural soil amended with composted almond shells. *Frontiers in Microbiology* 7, 1-14.
- Vitullo, D.; Altieri, R.; Esposito, A. (2013). Suppressive biomasses and antagonist bacteria for an eco-compatible control of *Verticilliumdahliae* on nursery-grown olive plants. *International Journal or Enviromental Science and Technology* 10, 209-220.
- Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., Jones, D. L. (2008). Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource Technology* 99 (2008) 7928–7940.
- Widmer, T. L. (1998). Composted Municipal Waste Reduces Infection of Citrus Seedlings by *Phytophthora nicotianae*. *PlantDisease* 82, 683-688.
- Wilson, G. B.(1980). *Manual for Composting Sewage Sludge by Areated Static Pile Method*. US. EPA. Cincinnati. Ohio. USA. 64p.

10. ANEXOS

1. Anexo I



MUESTRA	MASA (Kg)		VOLUMEN (L)	DENSIDAD (Kg/L)	
Entrada de RSU	102,86		770	0,134	
Salida en bruto	269,47		340	0,793	
Salida en bruto (24 h. secado)	38,68	41,80	95	0,407	0,440
Salida en bruto (72 h. secado)	28,96	28,55	95	0,305	0,301

- Estudio analítico de las muestras:

Los resultados obtenidos de los parámetros analizados tanto en el laboratorio propio de Eurocontrol S.A., como del laboratorio subcontratado acreditado por ENAC (IPROMA), se muestran en las siguientes tablas:

PARÁMETRO	SALIDA EN BRUTO			UNIDADES
	27.05.2013	29.05.2013	31.05.2013	
PCI base seca	3.777,51	3.705,98	3.977,27	Kcal /Kg
PCI base húmeda	1.496,65	1.865,31	1.846,89	Kcal /Kg
Humedad	52,30	42,90	46,70	%
Hidrógeno (H)	5,65	6,06	6,04	%
Nitrógeno (N)	1,72	1,60	1,77	%
Oxígeno (O)	29,63	30,60	31,95	%
Carbono (C)	40,10	43,22	43,43	%
Cloro (Cl)	9,03	4,39	14,48	%
Azufre (S)	0,21	0,27	0,22	%
Sólidos Volátiles	71,20	67,90	72,70	%

Fuente: Eurocontrol S.A.

	PASANTE			
PARÁMETRO	27.05.2013	29.05.2013	31.05.2013	UNIDADES
PCI base seca	3.657,66	3.744,74	3.777,51	Kcal /Kg
PCI base húmeda	1.812,44	1.788,04	1.710,05	Kcal /Kg
Humedad	43,50	45,20	47,40	%
Hidrógeno (H)	5,52	5,72	5,51	%
Nitrógeno (N)	1,73	1,43	1,75	%
Oxígeno (O)	28,38	30,53	32,78	%
Carbono (C)	40,36	40,73	40,34	%
Cloro (Cl)	27,45	5,65	45,36	%
Azufre (S)	0,29	0,21	0,20	%
Sólidos Volátiles	68,50	62,10	76,40	%

Fuente: Eurocontrol S.A.

	BIOMASA			
PARÁMETRO	27.05.2013	29.05.2013	31.05.2013	UNIDADES
PCI base seca	3.012,68	2.917,94	3.234,21	Kcal /Kg
PCI base húmeda	1.232,06	1.192,82	1.030,86	Kcal /Kg
Humedad	49,50	49,60	57,70	%
Hidrógeno (H)	4,97	5,05	5,41	%
Nitrógeno (N)	1,58	1,58	2,08	%
Oxígeno (O)	26,84	29,87	30,86	%
Carbono (C)	36,61	36,09	39,32	%
Cloro (Cl)	27,64	1,97	18,55	%
Azufre (S)	0,36	0,31	0,20	%
Sólidos Volátiles	59,50	66,00	67,80	%

Fuente: Eurocontrol S.

PARÁMETRO	BIOMASA					UNIDADES	
	27.05.2013	29.05.2013	31.05.2013	2003/33/ce Residuos Inertes	2003/33/ce Residuos No Peligrosos		2003/33/ce Residuos Peligrosos
Arsenico (As)	0,6 ± 0,2	< 0,5	< 0,5	0,5	2	25	mg / kg
Bario (Ba)	0,9 ± 0,2	1,3 ± 0,3	1,4 ± 0,3	20	100	300	mg / kg
Cadmio (Cd)	< 0,020	< 0,020	< 0,020	0,04	1	5	mg / kg
Cromo total (Cr)	0,9 ± 0,2	1,6 ± 0,5	0,8 ± 0,2	0,5	10	70	mg / kg
Cobre (Cu)	< 0,25	< 0,25	< 0,25	2	50	100	mg / kg
Mercurio (Hg)	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,01	0,2	2	mg / kg
Molibdeno (Mo)	< 0,10	< 0,10	0,11 ± 0,03	0,5	10	30	mg / kg
Niquel (Ni)	1,4 ± 0,4	0,9 ± 0,3	1,2 ± 0,4	0,4	10	40	mg / kg
Plomo (Pb)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,5	10	50	mg / kg
Antimonio (Sb)	0,07 ± 0,02	0,1 ± 0,02	0,09 ± 0,02	0,06	0,7	5	mg / kg
Selenio (Se)	< 0,07	< 0,07	0,1 ± 0,02	0,1	0,5	7	mg / kg
Zinc (Zn)	9 ± 2	8 ± 2	17 ± 4	4	50	200	mg / kg
Cloruros	2800 ± 600	2.100 ± 500	3100 ± 700	800	15.000	25.000	mg / kg
Fluoruros	0,7 ± 0,1	1,3 ± 0,3	< 0,5	10	150	500	mg / kg
Sulfatos	6000 ± 2000	5.000 ± 1000	2200 ± 600	1.000	20.000	50.000	mg / kg
COD	16000 ± 4000	26.000 ± 6000	21000 ± 5000	500	800	1.000	mg / kg
Sólidos totales	80000 ± 20000	80.000 ± 20000	60000 ± 10000	4.000	60.000	100.000	mg / kg
Indice de Fenoles	< 10	4 ± 1	< 5,0	0,3	-	-	mg / kg
COT	110000 ± 20000	80.000 ± 10000	100.000 ± 10000	30.000	-	-	mg / kg
BTEX	< 0,1	< 0,1	< 0,1	6	-	-	mg / kg
PCB's	< 0,2	< 0,2	< 0,2	1	-	-	mg / kg
Aceite mineral C10-C40	700 ± 100	1.100 ± 200	530 ± 90	500	-	-	mg / kg
HPA	-	-	-	Pendiente de establecer	-	-	µg / kg
Humedad	55 ± 5	47 ± 5	61 ± 6	-	-	-	%

Fuente IPROMA

PARÁMETRO	PASANTE						UNIDADES
	27.05.2013	29.05.2013	31.05.2013	2003/33/ce Residuos Inertes	2003/33/ce Residuos No Peligrosos	2003/33/ce Residuos Peligrosos	
Arsenico (As)	0,5 ± 0,1	< 0,5	< 0,5	0,5	2	25	mg / kg
Bario (Ba)	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,3	1 ± 0,2	20	100	300	mg / kg
Cadmio (Cd)	< 0,020	< 0,020	< 0,020	0,04	1	5	mg / kg
Cromo total (Cr)	0,9 ± 0,3	0,8 ± 0,3	0,7 ± 0,2	0,5	10	70	mg / kg
Cobre (Cu)	0,26 ± 0,08	< 0,25	< 0,25	2	50	100	mg / kg
Mercurio (Hg)	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,01	0,2	2	mg / kg
Molibdeno (Mo)	< 0,10	0,15 ± 0,05	0,13 ± 0,04	0,5	10	30	mg / kg
Niquel (Ni)	0,9 ± 0,3	1 ± 0,3	1,1 ± 0,3	0,4	10	40	mg / kg
Plomo (Pb)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,5	10	50	mg / kg
Antimonio (Sb)	0,09 ± 0,02	0,11 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,06	0,7	5	mg / kg
Selenio (Se)	< 0,07	0,08 ± 0,01	0,12 ± 0,03	0,1	0,5	7	mg / kg
Zinc (Zn)	8 ± 2	9 ± 2	14 ± 4	4	50	200	mg / kg
Cloruros	2800 ± 600	2.200 ± 500	3000 ± 700	800	15.000	25.000	mg / kg
Fluoruros	0,8 ± 0,2	1,6 ± 0,3	< 0,5	10	150	500	mg / kg
Sulfatos	5000 ± 1000	4.000 ± 1000	2400 ± 600	1.000	20.000	50.000	mg / kg
COD	11000 ± 3000	13.000 ± 3000	22000 ± 5000	500	800	1.000	mg / kg
Sólidos totales	70000 ± 20000	70.000 ± 20000	60000 ± 20000	4.000	60.000	100.000	mg / kg
Índice de Fenoles	5	< 5,0	< 5,0	0,3	-	-	mg / kg
COT	120000 ± 20000	90.000 ± 10000	100000 ± 10000	30.000	-	-	mg / kg
BTEX	< 0,1	< 0,1	< 0,1	6	-	-	mg / kg
PCB's	< 0,2	< 0,2	< 0,2	1	-	-	mg / kg
Aceite mineral C10-C40	1200 ± 200	800 ± 100	600 ± 100	500	-	-	mg / kg
HPA	-	-	-	Pendiente de establecer	-	-	µg / kg
Humedad	56 ± 6	47 ± 5	58 ± 6	-	-	-	%

Fuente IPROMA

PARÁMETRO	SALIDA EN BRUTO						UNIDADES
	27.05.2013	29.05.2013	31.05.2013	2003/33/ce Residuos Inertes	2003/33/ce Residuos No Peligrosos	2003/33/ce Residuos Peligrosos	
Arsenico (As)	<0,5	<0,5	<0,5	0,5	2	25	mg / kg
Bario (Ba)	0,5 ± 0,1	1,1 ± 0,2	0,9 ± 0,2	20	100	300	mg / kg
Cadmio (Cd)	0,02 ± 0,004	<0,020	<0,020	0,04	1	5	mg / kg
Cromo total (Cr)	1,1 ± 0,3	1 ± 0,3	3,2 ± 0,9	0,5	10	70	mg / kg
Cobre (Cu)	1,3 ± 0,4	<0,25	0,5 ± 0,1	2	50	100	mg / kg
Mercurio (Hg)	<0,010	<0,010	<0,010	0,01	0,2	2	mg / kg
Molibdeno (Mo)	<0,10	0,1 ± 0,03	0,1 ± 0,03	0,5	10	30	mg / kg
Niquel (Ni)	1,7 ± 0,5	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,3	0,4	10	40	mg / kg
Plomo (Pb)	<0,5	<0,5	<0,5	0,5	10	50	mg / kg
Antimonio (Sb)	0,06 ± 0,01	0,11 ± 0,02	0,18 ± 0,04	0,06	0,7	5	mg / kg
Selenio (Se)	0,07 ± 0,01	<0,07	0,1 ± 0,02	0,1	0,5	7	mg / kg
Zinc (Zn)	7 ± 2	6 ± 1	16 ± 4	4	50	200	mg / kg
Cloruros	2.100 ± 500	2400 ± 500	3000 ± 700	800	15.000	25.000	mg / kg
Fluoruros	<0,5	0,7 ± 0,1	<0,5	10	150	500	mg / kg
Sulfatos	1.900 ± 500	5000 ± 1000	1900 ± 500	1.000	20.000	50.000	mg / kg
COD	20.000 ± 5000	19000 ± 5000	24000 ± 6000	500	800	1.000	mg / kg
Sólidos totales	50.000 ± 20000	60000 ± 20000	50000 ± 10000	4.000	60.000	100.000	mg / kg
Fenoles	<5,0	<5,0	<5,0	0,3	-	-	mg / kg
TOC	100.000 ± 10000	90.000 ± 10000	120.000 ± 20000	30.000	-	-	mg / kg
BTEX	<0,1	<0,1	<0,1	6	-	-	mg / kg
PCB's	<0,2	<0,2	<0,2	1	-	-	mg / kg
Aceite mineral C10-C40	1.500 ± 300	1000 ± 200	800 ± 100	500	-	-	mg / kg
HPA	-	-	-	Pendiente de establecer	-	-	µg / kg
Humedad	62 ± 6	59 ± 5	57 ± 6	-	-	-	%

ANEXOS

Anexo I: Hojas de caracterización.
Anexo II: Boletines de resultados de laboratorio.
Anexo III: Certificados de calibración de balanzas.
Anexo IV: Reportaje fotográfico.

Madrid, a Julio de 2013

Realizado por:



Fdo.: Andrés Escudero Rama
Coordinador de Medio Ambiente
Área Residuos



Responsable:



V.B.: Igor González Pérez.
Director de Medio Ambiente
Área Residuos

ANEXO I

HOJAS DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

(Contiene 10 hojas)

*Miguel
Hernández*

Empresa Caracterizadora		EUROCONTROL	
Fecha		27.05.2013	
Lugar de caracterización		Rivas-Vaciamadrid	
Muestra		Entrada	
Material	Cantidad (Kg.)	%	
ENVASES			
PET	1,87	0,74	
PEAD Natural	0,20	0,08	
PEAD Color	1,09	0,43	
PVC	0,08	0,03	
Film	8,90	3,54	
Film BUSU	5,98	2,38	
Resto de Plásticos	9,05	3,60	
Acero	4,85	1,93	
Aluminio	1,10	0,44	
Cartón para bebidas	2,44	0,97	
Madera	0,00	0,00	
RESTO DE MATERIALES			
Materia Orgánica	38,99	15,50	
Resto de jardín y podas	92,34	36,72	
Celulosas	13,03	5,18	
Textiles	9,03	3,59	
Madera no envase	1,74	0,69	
Madera envase Comercial / Industrial	0,00	0,00	
Vidrio (envases)	10,97	4,36	
Plásticos no envase	1,84	0,73	
Plásticos Envase Comercial / Industrial	0,00	0,00	
Film bolsa de basura	7,80	3,10	
Film Comercial/Industrial	0,83	0,33	
Restos de obras menores	10,49	4,17	
Acero no envase	0,80	0,32	
Acero envase Comercial / Industrial	0,00	0,00	
Aluminio no envase	0,00	0,00	
Aluminio envase Comercial / Industrial	0,00	0,00	
Otros (indicar significativos)*	5,59	2,22	
PAPEL / CARTÓN			
Papel Impreso	9,79	3,89	
Envase Doméstico con Punto Verde	6,78	2,70	
Envase Doméstico sin Punto Verde	2,55	1,01	
Envase Comercial con Punto Verde	0,00	0,00	
Envase Comercial sin Punto Verde	3,36	1,34	
TOTAL			
Total Envases Ligeros	35,56	14,14	
Total No Envases Ligeros	215,93	85,86	
Total Muestra Caracterizada	251,49	100,00	

OBSERVACIONES: * Multimateriales: 0,33 Kg. RAEE's: 2,01 Kg. Restos de medicamentos: 0,15 Kg. Cerámica: 0,72 Kg. Finos : 2,38 Kg.

Empresa Caracterizadora		EUROCONTROL		
Fecha		27.05.2013		
Lugar de caracterización		Rivas-Vaciamadrid		
Muestra	Biomasa 0 - 6 mm	Biomasa 6 - 15 mm	Total (Kg.)	%
Material	Cantidad (Kg.)	Cantidad (Kg.)		
MATERIALES				
Materia Orgánica	7,31	42,00	49,31	97,41
Plásticos (1)	0,10	0,41	0,51	1,01
Acero	0,02	0,00	0,02	0,04
Aluminio	0,03	0,13	0,16	0,32
Vidrio	0,11	0,22	0,33	0,65
Otros* (indicar significativos) (2)	0,12	0,17	0,29	0,57
TOTAL				
Total	7,69	42,93	50,62	100,00

OBSERVACIONES:

- 0-6 mm : (2) Piedras: 0,07 Kg. P/C: 0,05 Kg.
- 6-15 mm: (1) Bolas: 0,10 Kg. (2) P/C : 0,05 Kg. Pilas: 0,02 Kg. Textil : 0,04 Kg.

Empresa Caracterizadora	EUROCONTROL	
Fecha	27.05.2013	
Lugar de caracterización	Rivas-Vaciamadrid	
Muestra	Pasante > 15 mm	
Material	Cantidad (Kg.)	%
ENVASES		
PET	0,00	0,00
PEAD Natural	0,00	0,00
PEAD Color	0,00	0,00
PVC	0,00	0,00
Film	0,17	0,34
Film BUSU	0,00	0,00
Resto de Plásticos (1)	9,26	18,25
Acero	2,11	4,16
Aluminio	0,42	0,83
Cartón para bebidas	0,00	0,00
Madera	0,00	0,00
RESTO DE MATERIALES		
Materia Orgánica	1,05	2,07
Resto de jardín y podas	0,24	0,47
Celulosas	0,20	0,39
Textiles	13,95	27,49
Madera no envase	0,82	1,62
Madera envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Vidrio (envases)	0,90	1,77
Plásticos no envase	0,00	0,00
Plásticos Envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Film bolsa de basura	0,00	0,00
Film Comercial/Industrial	0,00	0,00
Restos de obras menores	0,00	0,00
Acero no envase	0,35	0,69
Acero envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Aluminio no envase	0,00	0,00
Aluminio envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Otros (indicar significativos)* (2)	0,55	1,08
Papel / Cartón	20,72	40,84
TOTAL		
Total Envases Ligeros	11,96	23,57
Total No Envases Ligeros	38,78	76,43
Total Muestra Caracterizada	50,74	100,00

OBSERVACIONES: (1) Bolas : 5,15 Kg. (2) Multimateriales: 0,05 Kg. Piedras: 0,50 Kg.

Empresa Caracterizadora	EUROCONTROL	
Fecha	27.05.2013	
Lugar de caracterización	Rivas-Vaciamadrid	
Muestra	Salida en Bruto	
Material	Cantidad (Kg.)	%
ENVASES		
PET	0,00	0,00
PEAD Natural	0,00	0,00
PEAD Color	0,00	0,00
PVC	0,00	0,00
Film	1,31	0,52
Film BUSU	0,00	0,00
Resto de Plásticos	14,17	5,65
Acero	6,90	2,75
Aluminio	1,01	0,40
Cartón para bebidas	0,00	0,00
Madera	0,00	0,00
RESTO DE MATERIALES		
Materia Orgánica	130,49	52,03
Resto de jardín y podas	2,65	1,06
Celulosas	0,38	0,15
Textiles	7,22	2,88
Madera no envase	1,10	0,44
Madera envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Vidrio (envases)	7,65	3,05
Plásticos no envase	0,00	0,00
Plásticos Envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Film bolsa de basura	0,00	0,00
Film Comercial/Industrial	0,00	0,00
Restos de obras menores	0,00	0,00
Acero no envase	0,23	0,09
Acero envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Aluminio no envase	0,00	0,00
Aluminio envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Otros (indicar significativos)*	37,58	14,98
Papel / Cartón	40,10	15,99
TOTAL		
Total Envases Ligeros	23,39	9,33
Total No Envases Ligeros	227,40	90,67
Total Muestra Caracterizada	250,79	100,00

OBSERVACIONES: (1) Bolsas: 5,72 Kg. (2) Piedras: 1,89 Kg. Finos: 35,69 Kg.

Empresa Caracterizadora		EUROCONTROL		
Fecha		29.05.2013		
Lugar de caracterización		Rivas-Vaciamadrid		
Muestra	Biomasa 0 - 6 mm	Biomasa 6 - 15 mm	Total (Kg.)	%
Material	Cantidad (Kg.)	Cantidad (Kg.)		
MATERIALES				
Materia Orgánica	6,31	41,77	48,08	95,72
Plásticos (1)	0,20	0,19	0,39	0,78
Acero	0,00	0,00	0,00	0,00
Aluminio	0,03	0,22	0,25	0,50
Vidrio	0,15	0,99	1,14	2,27
Otros* (indicar significativos) (2)	0,15	0,22	0,37	0,74
TOTAL				
Total	6,84	43,39	50,23	100,00

OBSERVACIONES:

- 0-6 mm: (2) Textil: 0,05 Kg. Piedras: 0,07 Kg. P/C: 0,03 Kg.
- 6-15 mm: (1) Bolas: 0,19 Kg. (2) P/C : 0,12 Kg. Textil : 0,10 Kg.

Empresa Caracterizadora	EUROCONTROL	
Fecha	29.05.2013	
Lugar de caracterización	Rivas-Vaciamadrid	
Muestra	Pasante > 15 mm	
Material	Cantidad (Kg.)	%
ENVASES		
PET	0,00	0,00
PEAD Natural	0,00	0,00
PEAD Color	0,00	0,00
PVC	0,00	0,00
Film	0,09	0,17
Film BUSU	0,00	0,00
Resto de Plásticos (1)	11,32	20,83
Acero	2,35	4,32
Aluminio	0,39	0,72
Cartón para bebidas	0,00	0,00
Madera	0,00	0,00
RESTO DE MATERIALES		
Materia Orgánica	1,85	3,40
Resto de jardín y podas	0,19	0,35
Celulosas	0,44	0,81
Textiles	15,95	29,35
Madera no envase	1,12	2,06
Madera envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Vidrio (envases)	1,14	2,10
Plásticos no envase	0,00	0,00
Plásticos Envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Film bolsa de basura	0,00	0,00
Film Comercial/Industrial	0,00	0,00
Restos de obras menores	0,00	0,00
Acero no envase	0,12	0,22
Acero envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Aluminio no envase	0,00	0,00
Aluminio envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Otros (indicar significativos) (2)	0,55	1,01
Papel / Cartón	18,84	34,66
TOTAL		
Total Envases Ligeros	14,15	26,03
Total No Envases Ligeros	40,20	73,97
Total Muestra Caracterizada	54,35	100,00

OBSERVACIONES: (1) Bolas : 4,10 Kg. (2) Piedras: 1,03 Kg.

Empresa Caracterizadora	EUROCONTROL	
Fecha	29.05.2013	
Lugar de caracterización	Rivas-Vaciamadrid	
Muestra	Salida en Bruto	
Material	Cantidad (Kg.)	%
ENVASES		
PET	0,06	0,02
PEAD Natural	0,00	0,00
PEAD Color	0,00	0,00
PVC	0,00	0,00
Film	0,14	0,06
Film BUSU	0,00	0,00
Resto de Plásticos (1)	14,10	5,55
Acero	1,89	0,74
Aluminio	0,30	0,12
Cartón para bebidas	0,00	0,00
Madera	0,00	0,00
RESTO DE MATERIALES		
Materia Orgánica	145,67	57,38
Resto de jardín y podas	1,90	0,75
Celulosas	0,09	0,04
Textiles	11,22	4,42
Madera no envase	1,01	0,40
Madera envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Vidrio (envases)	14,01	5,52
Plásticos no envase	0,13	0,05
Plásticos Envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Film bolsa de basura	0,00	0,00
Film Comercial/Industrial	0,00	0,00
Restos de obras menores	0,00	0,00
Acero no envase	0,34	0,13
Acero envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Aluminio no envase	0,00	0,00
Aluminio envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Otros (indicar significativos) (2) -	38,45	15,15
Papel / Cartón	24,55	9,67
TOTAL		
Total Envases Ligeros	16,49	6,50
Total No Envases Ligeros	237,37	93,50
Total Muestra Caracterizada	253,86	100,00

OBSERVACIONES: (1) Bolsas: 5,72 Kg. (2) Piedras: 1,05 Kg. Finos: 37,40 Kg.

Empresa Caracterizadora		EUROCONTROL		
Fecha		31.05.2013		
Lugar de caracterización		Rivas-Vaciamadrid		
Muestra	Biomasa 0 - 6 mm	Biomasa 6 - 15 mm	Total (Kg.)	%
Material	Cantidad (Kg.)	Cantidad (Kg.)		
MATERIALES				
Materia Orgánica	6,87	42,09	48,96	95,10
Plásticos (1)	0,17	0,21	0,38	0,74
Acero	0,00	0,00	0,00	0,00
Aluminio	0,02	0,21	0,23	0,45
Vidrio	0,18	1,08	1,26	2,45
Otros* (indicar significativos) (2)	0,19	0,46	0,65	1,26
TOTAL				
Total	7,43	44,05	51,48	100,00

OBSERVACIONES:

- 0-6 mm: (2) Textil: 0,03 Kg. Piedras: 0,06 Kg. P/C: 0,08 Kg. Madera: 0,02 Kg.
- 6-15 mm: (1) Bolas: 0,09 Kg. (2) Piedras: 0,08 Kg. P/C: 0,13 Kg. Textil: 0,13 Kg. Madera: 0,12 Kg.

Empresa Caracterizadora	EUROCONTROL	
Fecha	31.05.2013	
Lugar de caracterización	Rivas-Vaciamadrid	
Muestra	Pasante > 15 mm	
Material	Cantidad (Kg.)	%
ENVASES		
PET	0,00	0,00
PEAD Natural	0,00	0,00
PEAD Color	0,00	0,00
PVC	0,00	0,00
Film	0,23	0,42
Film BUSU	0,00	0,00
Resto de Plásticos (1)	11,32	20,83
Acero	1,34	2,47
Aluminio	0,31	0,57
Cartón para bebidas	0,00	0,00
Madera	0,00	0,00
RESTO DE MATERIALES		
Materia Orgánica	1,10	2,02
Resto de jardín y podas	0,23	0,42
Celulosas	0,51	0,94
Textiles	14,85	27,32
Madera no envase	1,25	2,30
Madera envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Vidrio (envases)	0,99	1,82
Plásticos no envase	0,00	0,00
Plásticos Envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Film bolsa de basura	0,00	0,00
Film Comercial/Industrial	0,00	0,00
Restos de obras menores	0,00	0,00
Acero no envase	0,20	0,37
Acero envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Aluminio no envase	0,10	0,18
Aluminio envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Otros (indicar significativos) (2)	1,00	1,84
Papel / Cartón	18,71	34,43
TOTAL		
Total Envases Ligeros	14,15	26,03
Total No Envases Ligeros	40,20	73,97
Total Muestra Caracterizada	54,35	100,00

OBSERVACIONES: (1) Bolas: 1,60 Kg. (2) Piedras: 1,00 Kg.

Empresa Caracterizadora	EUROCONTROL	
Fecha	31.05.2013	
Lugar de caracterización	Rivas-Vaciamadrid	
Muestra	Salida en Bruto	
Material	Cantidad (Kg.)	%
ENVASES		
PET	0,00	0,00
PEAD Natural	0,00	0,00
PEAD Color	0,00	0,00
PVC	0,00	0,00
Film	0,18	0,07
Film BUSU	0,00	0,00
Resto de Plásticos (1)	12,02	4,68
Acero	1,75	0,68
Aluminio	0,21	0,08
Cartón para bebidas	0,00	0,00
Madera	0,00	0,00
RESTO DE MATERIALES		
Materia Orgánica	152,76	59,50
Resto de jardín y podas	1,13	0,44
Celulosas	0,17	0,07
Textiles	14,87	5,79
Madera no envase	0,65	0,25
Madera envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Vidrio (envases)	9,76	3,80
Plásticos no envase	0,10	0,04
Plásticos Envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Film bolsa de basura	0,00	0,00
Film Comercial/Industrial	0,00	0,00
Restos de obras menores	0,00	0,00
Acero no envase	0,10	0,04
Acero envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Aluminio no envase	0,00	0,00
Aluminio envase Comercial / Industrial	0,00	0,00
Otros (indicar significativos) (2)	34,38	13,39
Papel / Cartón	28,64	11,16
TOTAL		
Total Envases Ligeros	14,16	5,52
Total No Envases Ligeros	242,56	94,48
Total Muestra Caracterizada	256,72	100,00

OBSERVACIONES: (1) Bolsas: 4,31 Kg. (2) Piedras: 1,58 Kg. Finos: 32,80 Kg.

2. Anexo II



PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS POR ESTERILIZACIÓN

El 29 marzo de 2010, el Ayuntamiento de Rivas, a través de su Empresa Municipal de Servicios (**Rivamadrid**), firmó con la empresa EcoHispanica un acuerdo de colaboración que abría la puerta a la puesta en marcha de un proyecto de I+D+i consistente en una planta experimental para el tratamiento de residuos sólidos urbanos y en el aprovechamiento del subproducto resultante.

El sistema de **EcoHispanica** es una tecnología de patente española, desarrollada en colaboración con Rivamadrid y la Comunidad de Madrid, a través de Madrid Network.

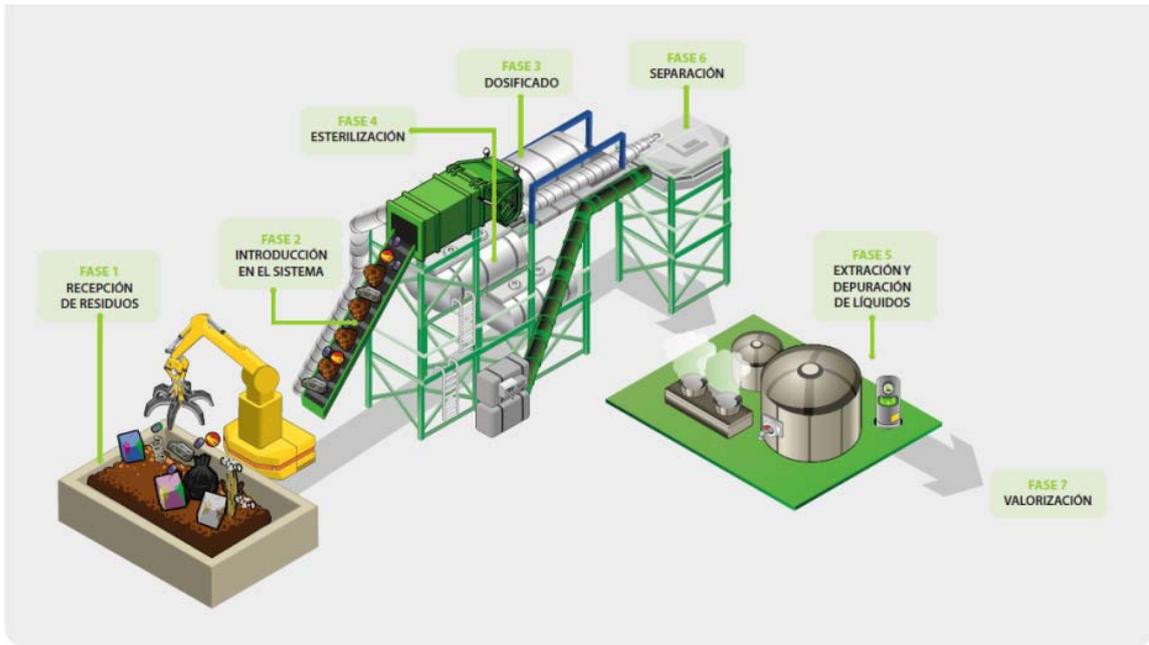
Este proyecto persigue **3 objetivos** fundamentales:

- Objetivo 1 - **VERTEDERO CERO**
- Objetivo 2 - **RECUPERAR MATERIALES**
- Objetivo 3 - **REDUCIR COSTES**

Nuestra tecnología permite cerrar el ciclo de los residuos recuperando hasta el 90% de los residuos para convertirlos en nuevos materiales, productos, energía, etc.

1. ECOHISPÁNICA cuenta con la **tecnología** más **avanzada** del sector en el tratamiento de residuos.
2. Se puede combinar con otros procesos de reciclado existentes en el mercado, constituye el modelo más eficaz de tratamiento y selección de residuos.
3. La tecnología de ECOHISPÁNICA es un esterilizador que funciona en modo continuo, con capacidad para tratar **40.000 Toneladas anuales por modulo**.
4. **Los residuos se esterilizan con vapor de agua** en un entorno hermético, por tanto no se queman y no se producen dioxinas ni emisiones contaminares al exterior.
5. Se obtiene la materia orgánica de los residuos (Biomasa) y el resto de **materiales** completamente **limpios**.
6. En el interior del esterilizador los residuos se exponen a un entorno saturado de vapor de agua a alta presión. Eso, unido a una serie de movimientos internos, consigue que podamos adecuar la morfología de los RSU para extraerlos en el formato que nos interese para su valorización en un proceso que sólo dura **30 minutos**.
7. La **presión de trabajo**, que puede alcanzar hasta **5 bares**, permite que el vapor penetre en el interior de los materiales, para limpiarlos en profundidad o para deshacerlos en otros casos, como sucede con la fracción orgánica y la fracción papel.

FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO DE ESTERILIZACIÓN



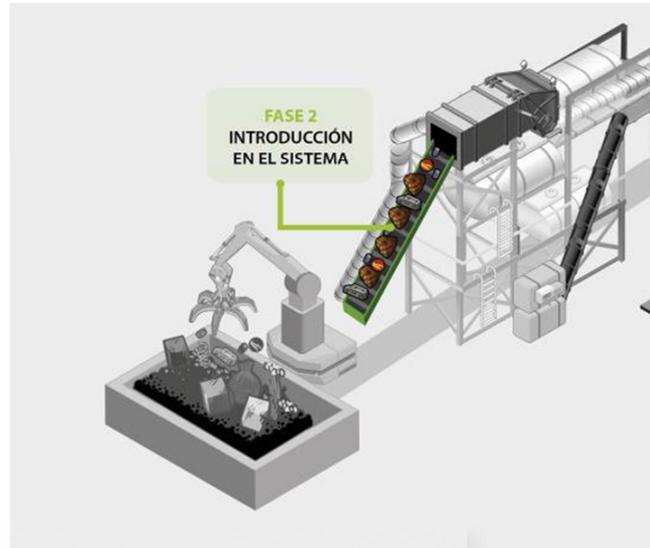
FASE 1 RECEPCIÓN DE RESIDUOS

- Pesaje e identificación
- Almacén de acopio provisional a la espera de ser procesados ("playa", foso con puente grúa, sistema automatizado de nichos refrigerados, etc.).
- Son tratados a medida que se depositan.
- Puede estar completamente aislado del resto de la instalaciones, para evitar la transferencia de malos olores.



FASE 2 INTRODUCCIÓN EN EL SISTEMA

- Control de galibo
- Trituración de los residuos hasta alcanzar una granulometría máxima de 300 milímetros.



FASE 3 ESTERILIZACIÓN

- Los residuos permanecen en el interior alrededor de **30 minutos**.
- La basura es sometida a un tratamiento de **vapor de agua** con una temperatura de **130º** y una presión de **3-5 bares**. Combinado con una serie de movimientos internos, permite que la basura se degrade.



FASE 4

EXTRACCIÓN Y DEPURACIÓN DE LÍQUIDOS

- Los líquidos que contenían los basuras se extraen a unos 130º C.
- Se depura aplicando técnicas que dependerán de las necesidades del lugar de implantación, y pasa a unos tanques.
- Cuando hay escasez de agua se puede depurar el agua extraída de los RSU en grado suficiente para emplearse de nuevo.
- El Sistema tecnológico de Ecohispanica puede ser autosuficiente en el uso del agua.



FASE 5

SEPARACIÓN

- Lo primero que se aísla es la biomasa, con una granulometría inferior a 10 mm, se separa al 100% en el trommel rotativo.
- Se almacena en silos.
- Una vez separada toda la biomasa, el resto de voluminosos como los metales y plásticos, completamente limpios, pasan directamente hasta la zona de selección.
- Un electroimán separa todos los metales férricos del resto, un equipo de corrientes Eddy separa el aluminio, y un separador óptico se ocupa de la selección de los plásticos contenidos en los RSU.
- Se puede incorporar al final de la línea de separación una cabina de selección manual.



FASE 6

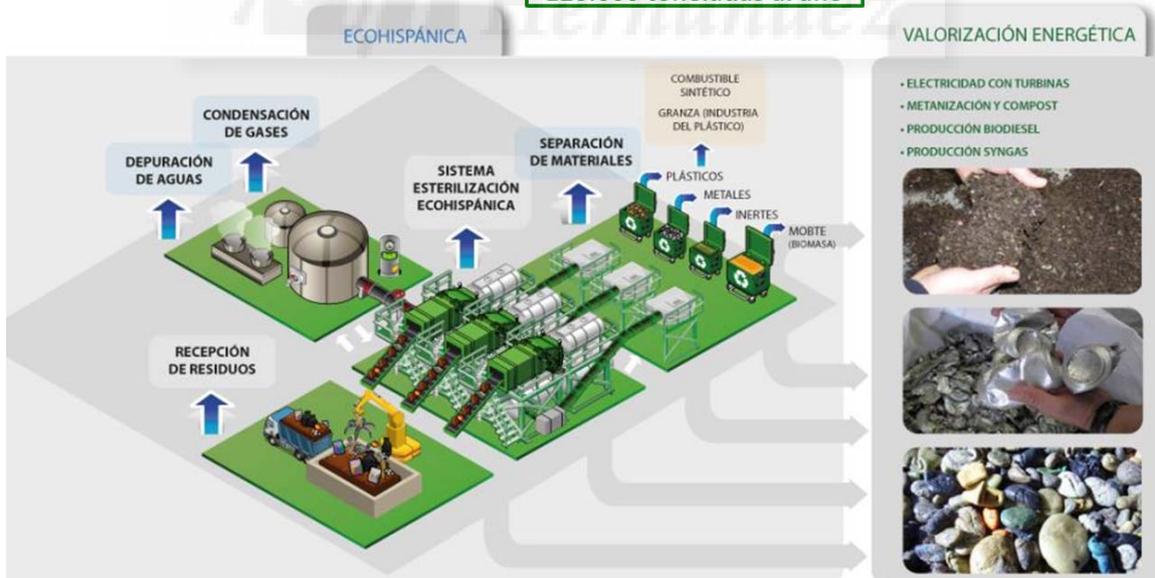
VALORIZACIÓN

- MOBTE (biomasa)
- PLÁSTICOS
- METALES
- INERTES



PLANTA ESTÁNDAR

120.000 toneladas al año



La esterilización de los residuos en un entorno limpio y seguro facilita su valorización

Nuestras ventajas

1. **Evita** el envío de residuos al **vertedero**.
2. **Compatible** con todas las opciones de separación y reciclaje.
3. **Reduce** significativamente los **costes**.
4. **Reduce emisiones** de gases de efecto invernadero (**GEI**).
5. Alineado con las **directivas** de la Unión Europea (**UE**).
6. **Instalaciones limpias** mejorando las condiciones de trabajo.
7. Aumenta la **eficiencia** de otras instalaciones.
8. Es **modular**.
9. Es **escalable**.
10. Es **rápido y** trabaja en **continuo**.



3. Anexo III





DECÁLOGO PARA LA UTILIZACIÓN DEL MATERIAL BIOESTABILIZADO Y DEL COMPOST NO INSCRITO EN EL REGISTRO DE PRODUCTOS FERTILIZANTES MEDIANTE LA OPERACIÓN R10¹

- 25 de junio de 2013 -

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Con la entrada en vigor de la nueva Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados (en adelante, ley de residuos) se introduce la definición de compost como enmienda orgánica obtenida a partir del tratamiento biológico aerobio y termófilo de residuos biodegradables recogidos separadamente y la definición de material bioestabilizado como material orgánico obtenido de las plantas de tratamiento mecánico biológico de residuos mezclados.

La ley de residuos, siguiendo lo establecido en la Directiva Marco de Residuos (Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas) en su artículo 22 promueve el reciclado de alta calidad, para lo cual establece objetivos específicos de preparación para la reutilización y el reciclado. Asimismo, en su artículo 24, establece que las autoridades ambientales promoverán medidas para impulsar la recogida separada de los biorresiduos para destinarlos al tratamiento biológico y hacer un uso ambientalmente seguro en el sector agrícola, la jardinería o la regeneración de áreas degradadas.

No obstante, mientras se avanza en la implantación de la recogida separada de los biorresiduos, aún se producen importantes cantidades de material bioestabilizado que debe ser gestionado adecuadamente conforme al régimen jurídico de residuos. La utilización del material bioestabilizado en el suelo tendría la consideración de operación R10 (Tratamiento de los suelos que produzca un beneficio a la agricultura o una mejora ecológica de los mismos) del Anexo II relativo a las operaciones de valorización de la ley de residuos y ha de ser objeto de autorización conforme establece el artículo 27 de la misma ley.

Este decálogo desarrolla los requisitos para la autorización de la aplicación del material bioestabilizado mediante la operación R10, así como las condiciones para realizar dichas aplicaciones, incluyendo las características exigibles al material bioestabilizado, la frecuencia de análisis, las condiciones relativas al almacenamiento y a la aplicación en los suelos, distinguiendo entre el uso en suelos agrícolas, revegetación de taludes, cobertura de vertederos clausurados, restauración de canteras y minas, y jardinería pública. Así mismo, el decálogo recoge la información que se ha de suministrar a las Comunidades Autónomas sobre las aplicaciones de material bioestabilizado realizadas en sus suelos. Este decálogo también será de aplicación para el uso en el suelo del compost que no esté inscrito en el Registro de productos fertilizantes, creado por el Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes, requisito indispensable para su puesta en el mercado como producto fertilizante.

Este decálogo se revisará a la vista de la evolución en la producción y el uso del material bioestabilizado, en un plazo máximo de 5 años.

2. AUTORIZACIÓN DEL GESTOR Y COMUNICACIÓN DE LA APLICACIÓN DEL MATERIAL BIOESTABILIZADO A LA COMUNIDAD AUTÓNOMA CORRESPONDIENTE

Con el fin de asegurar que la aplicación al suelo de material bioestabilizado sea una operación R10 y, por tanto, que dicha aplicación produzca un beneficio a la agricultura o una mejora ecológica del suelo, la utilización del material bioestabilizado debe estar justificada y sólo podrá ser utilizado como material sustitutivo de otras enmiendas orgánicas aplicadas en los suelos receptores.

Conforme a lo establecido en el Artículo 27 y en el Anexo VI de la Ley 22/2011, de 28 de julio, de Residuos y Suelos Contaminados, las personas físicas o jurídicas que vayan a realizar la operación de tratamiento de

¹ Operación de Valorización R10 (Anexo II de la Ley 22/2011, de 28 de julio, de Residuos y Suelos Contaminados): Tratamiento de los suelos que produzca un beneficio a la agricultura o una mejora ecológica de los mismos.



residuos R10 para el material bioestabilizado deberán solicitar autorización a la Comunidad Autónoma donde tengan su domicilio. Esta autorización será válida para todo el territorio nacional.

La solicitud de autorización deberá incluir lo siguiente:

- Identificación de la persona física o jurídica que solicita llevar a cabo la operación de tratamiento de residuos R10.
- Descripción detallada de la operación R10 que pretende realizar, especificando si se trata de aplicación agrícola, revegetación de taludes, cobertura de vertederos clausurados, restauración de canteras y minas, o jardinería pública.
- Criterios y procedimientos de aplicación del material bioestabilizado: se especificarán los criterios, procedimientos y maquinaria a emplear de forma que se acredite que se logra un beneficio para la agricultura o que se produce una mejora ecológica de los suelos.
- Equipo técnico responsable de la aplicación, acreditando su capacidad técnica para realizar la operación solicitada.
- Documentación acreditativa del seguro o fianza exigible, en su caso.

La autorización que se conceda deberá incluir la obligación de comunicar a la Comunidad Autónoma donde vaya a realizarse las aplicaciones, con antelación suficiente, la información siguiente:

- Identificación de la persona física o jurídica autorizada para llevar a cabo la operación R10
- Origen e información del material bioestabilizado (como mínimo la información establecida en el apartado 3.2 del decálogo)
- Cuando el destino sea la aplicación en suelos agrícolas, incluidos los cultivos de especies forestales:
 - Identificación de los recintos SIG PAC donde vaya a ser aplicado el material bioestabilizador.
 - Fechas de inicio y plazos previstos para realizar las aplicaciones.
 - Plan de fertilización de los recintos, indicando la dosis (t/ha) y la cantidad total de bioestabilizado que se pretende aplicar (t).
- Cuando el destino sea la revegetación de taludes, cobertura de vertederos clausurados, restauración de canteras y minas, y jardinería pública:
 - Tipo de restauración (taludes, vertederos, canteras, minas o jardinería) y ubicación de los lugares de aplicación (Recintos SIG PAC o, en su defecto, coordenadas geodésicas).
 - Fechas de inicio y plazos previstos de ejecución.
 - Propuesta de restauración, superficie en la que se va a aplicar (ha) y cantidad total de bioestabilizado a aplicar (t).

Esta información se referirá a las aplicaciones que se prevea realizar durante, como máximo, los 6 meses siguientes a la fecha de la comunicación. Cualquier nueva aplicación que se prevea para este periodo, deberá comunicarse a la Comunidad Autónoma donde vaya a realizarse.

Si la Comunidad Autónoma donde vaya a utilizarse el material bioestabilizado considera que la aplicación del mismo no conlleva un beneficio para la agricultura o una mejora ecológica del suelo, podrá oponerse a su aplicación.

Si en veinte días no hay observaciones por parte de la Comunidad Autónoma correspondiente, se podrá realizar la aplicación.



3. CONDICIONES PARA LA UTILIZACIÓN DEL MATERIAL BIOESTABILIZADO MEDIANTE LA OPERACIÓN R10

La instalación que genere el material bioestabilizado deberá verificar que éste cumple con los requisitos establecidos en el apartado 3.1 para su utilización en los suelos, y deberá suministrar la información contenida en el apartado 3.2, de conformidad con lo establecido en el artículo 17, apartado 4.a, de la Ley 22/2011, de 28 de julio de 2011, de residuos y suelos contaminados.

3.1 CARACTERÍSTICAS EXIGIBLES AL MATERIAL BIOESTABILIZADO

Para su aplicación en los suelos, el material bioestabilizado deberá cumplir con los requisitos siguientes:

REQUISITOS DEL MATERIAL BIOESTABILIZADO		
Parámetros agronómicos	Valor	Unidades
Materia orgánica total	≥ 25	%
Humedad	20 - 40	%
C _{orgánico} /N _{orgánico}	<20	---
Partículas que pasan por la malla de 25 mm	≥90	%
Impurezas	Valor	Unidades
Las piedras y gravas eventualmente presentes, de diámetro superior a 5 mm	≤5%	%
Las impurezas (metales, vidrios y plásticos) eventualmente presentes de diámetro superior a 2 mm	≤3%	%
Madurez		Unidades
RotteGrade	Mínimo III	---
Higienización	Valor	Unidades
<i>Salmonella</i>	Ausente en 25 g de material bioestabilizado	---
<i>Escherichia coli</i>	< 1000	NMP/g
Metales Pesados	Valor	Unidades
Cadmio	< 3	mg/Kg de materia seca
Cobre	< 400	
Níquel	< 100	
Plomo	< 200	
Zinc	< 1.000	
Mercurio	< 2,5	
Cromo (total)	< 300	

El material bioestabilizado que no cumpla con los requisitos anteriores, o que cumpliéndolos no sea valorizado en el suelo mediante la operación R10, deberá ser gestionado correctamente (valorización energética o eliminación) conforme a lo establecido en la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.



3.2 INFORMACIÓN SOBRE EL MATERIAL BIOESTABILIZADO

Al objeto de posibilitar su adecuada utilización, las personas físicas o jurídicas que llevan a cabo la operación R10 deberán disponer de la siguiente información:

INFORMACIÓN SOBRE EL MATERIAL BIOESTABILIZADO	
Fecha del Análisis	
Parámetros agronómicos	Unidades
Materia orgánica total	%
Humedad	%
C _{orgánico} /N _{orgánico}	---
pH	---
Conductividad eléctrica	dS/m
Nitrógeno total	%
Nitrógeno orgánico	%
Nitrógeno amoniacal	%
P ₂ O ₅ total	%
K ₂ O total	%
CaO soluble en agua	%
MgO soluble en agua	%
Hierro total	%
Partículas que pasan por la malla de 25 mm	%
Impurezas	Unidades
Piedras y gravas eventualmente presentes, de diámetro superior a 5 mm	%
Impurezas (metales, vidrios y plásticos) eventualmente presentes de diámetro superior a 2 mm	%
Madurez	Unidades
RotteGrade	Grado de I a V (Unidades: °C)
Higienización	Unidades
<i>Salmonella</i>	Presencia/ausencia en 25 g de material bioestabilizado
<i>Escherichia coli</i>	NMP/g
Metales Pesados	Unidades
Cadmio	mg/Kg de materia seca
Cobre	
Níquel	
Plomo	
Zinc	
Mercurio	
Cromo (total)	

3.3 FRECUENCIA Y MÉTODOS DE ANÁLISIS DEL MATERIAL BIOESTABILIZADO

La información contenida en los apartados 3.1 y 3.2 deberá estar basada en análisis realizados con periodicidad mínima trimestral.

Se deberán emplear en su caso los métodos oficiales de toma de muestras y análisis que figuran en el Anexo VI del Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes.



3.4 ALMACENAMIENTO DEL MATERIAL BIOESTABILIZADO

La duración del almacenamiento del material bioestabilizado destinado a la aplicación al suelo no podrá superar los dos años, conforme a lo establecido en el artículo 20 de la Ley 22/2011, de 28 de julio.

El almacenamiento del material bioestabilizado deberá realizarse en la instalación que lo produce o bien en un almacén autorizado para ello. El material bioestabilizado no podrá almacenarse directamente en el suelo donde vaya a aplicarse salvo los días estrictamente necesarios para su aplicación.

3.5 APLICACIÓN EN SUELOS AGRÍCOLAS

A. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS

Para asegurar un beneficio a la agricultura o una mejora ecológica de los suelos es necesario conocer determinadas características agronómicas de los suelos, la concentración de nutrientes disponibles en los suelos para los cultivos y la concentración de metales pesados. Por ello, los análisis de los suelos permiten dosificar adecuadamente y prevenir la contaminación.

Para aquellas aplicaciones en las que se aporten hasta un máximo de 5 t de m.s./ha y año de material bioestabilizado se recomienda disponer de análisis de los suelos de los parámetros indicados en la tabla 3.5.1. En aquellos casos en los que no se disponga de los análisis de metales pesados en los suelos, podrá servir como aproximación la información obtenida en el estudio de "Metales pesados, materia orgánica y otros parámetros de los suelos agrícolas y pastos de España"². En estos casos, y, si según el estudio, en los suelos próximos se supera alguno de los valores límite de metales pesados indicados en la tabla 3.5.2, deberá realizarse un análisis de los metales pesados de los suelos donde vaya a realizarse la aplicación.

Para las aplicaciones que superen la dosis de 5 t m.s./ha y año se deberá disponer en todo caso de un análisis del suelo receptor, en el que se incluyan los parámetros agronómicos y los metales pesados indicados en la tabla 3.5.1

ANÁLISIS DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS	
	UNIDADES
PARÁMETROS AGRONÓMICOS	
pH	---
C/N	---
Materia orgánica oxidable	% sms
Nitrógeno (N)	% sms
Fósforo Olsen (P)	mg/Kg sms
Potasio asimilable (K)	mg/Kg sms
Calcio asimilable (Ca)	mg/Kg sms
Magnesio asimilable (Mg)	mg/Kg sms
Hierro asimilable (Fe)	mg/Kg sms
METALES PESADOS	
Cadmio (Cd)	mg/Kg sms
Cobre (Cu)	
Níquel (Ni)	
Plomo (Pb)	
Zinc (Zn)	
Mercurio (Hg)	
Cromo (Cr)	

Tabla 3.5.1. Análisis de los suelos agrícolas receptores

² Rodríguez Martín J.A., López Arias, M. y Grau Corbí. J.M, 2009. "Mapa de Metales pesados, Materia orgánica y otros parámetros de los suelos agrícolas y pastos de España". Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Ministerio de Ciencia e Innovación.



En todo caso, el material bioestabilizado no podrá aplicarse en suelos agrícolas cuya concentración en metales pesados sea igual o superior a los valores siguientes (tabla 3.5.2):

VALORES LÍMITE DE METALES PESADOS EN LOS SUELOS AGRÍCOLAS RECEPTORES		
Metales Pesados	Valores límite (mg/Kg sms)	
	Suelos con pH<7	Suelos con pH>7
Cadmio (Cd)	1	3
Cobre (Cu)	50	210
Níquel (Ni)	30	112
Plomo (Pb)	50	300
Zinc (Zn)	150	450
Mercurio (Hg)	1	1,5
Cromo (Cr)	100	150

Tabla 3.5.2. Valores límite de metales pesados en los suelos agrícolas

B. CRITERIOS DE DOSIFICACIÓN

En la utilización de material bioestabilizado en suelos agrícolas, la dosis a aplicar deberá establecerse caso por caso, teniendo en consideración la caracterización del material bioestabilizado, del suelo receptor y el cultivo, utilizando criterios agronómicos y garantizando la protección del medio ambiente.

El material bioestabilizado no podrá aplicarse sobre suelos agrícolas en dosis superiores a 5 t de m.s./ha y año. Únicamente, podrá superarse esa cantidad en un año cuando se justifique agronómica y ambientalmente en el plan de fertilización, y siempre que el valor medio anual de 5 años no supere 5 t de m.s./ha y año.

El material bioestabilizado se aplicará al suelo conforme a lo establecido en el Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre la protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias y, en su caso, siguiendo los códigos de buenas prácticas agrarias.

3.6 APLICACIÓN EN REVEGETACIÓN DE TALUDES, COBERTURA DE VERTEDEROS CLAUSURADOS, RESTAURACIÓN DE CANTERAS Y MINAS Y JARDINERÍA PÚBLICA

A. CRITERIOS DE DOSIFICACIÓN

La cantidad de material bioestabilizado a utilizar en revegetación de taludes, cobertura de vertederos clausurados y restauración de canteras y minas deberá estar justificada técnicamente caso por caso de modo que pueda ser valorada por la Comunidad Autónoma donde vaya a realizarse la aplicación. En todo caso, estas aplicaciones, que se realizan de una sola vez, no podrán superar sin justificación específica 50 t de m.s./ha.

En la utilización de material bioestabilizado en jardinería pública, la dosis a aplicar deberá establecerse caso por caso. En todo caso, el material bioestabilizado no podrá aplicarse en dosis superiores a 5 t de m.s./ha y año. Podrá superarse esa cantidad en un año siempre y cuando se justifique agronómica y ambientalmente, y siempre que el valor medio anual de 5 años no supere 5 t de m.s./ha y año.

3.7 TRAZABILIDAD

Cuando proceda, el material bioestabilizado deberá ir acompañado de un documento de identificación conforme a lo establecido en la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.



3.8 MEMORIA ANUAL DE LAS APLICACIONES

Las personas físicas o jurídicas que realicen la valorización del material bioestabilizado (operación R10) deberán llevar un registro con la información de las aplicaciones realizadas. Este registro contendrá, al menos, la información contenida en la tabla siguiente.

Así mismo, deberán remitir esta información a la Comunidad Autónoma donde hayan aplicado el material bioestabilizado, anualmente y antes del 31 de marzo del año siguiente al de la aplicación. Esta memoria deberá ir acompañada de los certificados analíticos del material bioestabilizado aplicado, en los que se contemple la información contenida en la siguiente tabla.

MEMORIA ANUAL DE LAS APLICACIONES DE MATERIAL BIOESTABILIZADO																			
Comunidad Autónoma a la que se refieren los datos de esta Memoria:					Año:														
INFORMACIÓN DEL GESTOR QUE REALIZA LA APLICACIÓN DEL MATERIAL BIOESTABILIZADO																			
Nombre/razón social del gestor:					NIF:														
INFORMACIÓN DE LA INSTALACIÓN DE TRATAMIENTO DE PROCEDENCIA DEL MATERIAL BIOESTABILIZADO																			
Nombre de la instalación:					NIMA:														
INFORMACIÓN DEL MATERIAL BIOESTABILIZADO																			
Metales pesados	Valor	Unidades	Parámetros agronómicos	Valor	Unidades														
Cadmio		mg/kg m.s.	Materia orgánica total		%														
Cobre			Humedad		%														
Níquel			C orgánico/ N orgánico		---														
Plomo			pH		---														
Zinc			Conductividad eléctrica		dS/m														
Mercurio			Nitrógeno total		%														
Cromo (total)			Nitrógeno orgánico		%														
			Nitrógeno amoniacal		%														
Madurez	Valor	Unidades	P ₂ O ₅ total		%														
RotteGrade		(Indicar grado: de 1 a V) (Unidades: °C)	K ₂ O total		%														
Higienización	Valor	Unidades	CaO soluble en agua		%														
Salmonella ¹		Presencia o ausencia/25g material bioestabilizado	MgO soluble en agua		%														
			Hierro total		%														
			Partículas que pasan por la malla de 25mm		%														
			Impurezas	Valor	Unidades														
Escherichia coli ²		NMP/g	Piedras y gravas eventualmente presentes, de diámetro superior a 5 mm		%														
			Impurezas (metales, vidrios y plásticos) eventualmente presentes de diámetro superior a 2mm		%														
INFORMACIÓN DE LAS APLICACIONES REALIZADAS																			
Provincia	Municipio	Fecha de aplicación	SUELOS EN LOS QUE SE HAN REALIZADO LAS APLICACIONES																
			Identificación recinto SIGPAC			NIF del titular del recinto SIGPAC/Suelo	Superficie en la que se ha aplicado (ha)	Cantidad de material bioestabilizado aplicada (t)	Cultivo ⁴ o tipo de aplicación ⁵										
			Polígono	Parcela	Nº recinto SIGPAC ³														

¹ Método Analítico: Método horizontal para la detección de Salmonella spp (UNE-EN ISO 6579)

² Método Analítico: Método selectivo diferencial para el aislamiento de coliformes (ISO 7251)

³ En los casos en los que el recinto SIGPAC no identifique con suficiente precisión al área de aplicación (por ejemplo en jardinería pública) indicar en lugar del Recinto SIGPAC las coordenadas geodésicas.

⁴ Indicar también si el cultivo es en secano o regadío.

⁵ Indicar el tipo de aplicación: revegetación de taludes, cobertura de vertederos clausurados, restauración de canteras y minas o jardinería pública.