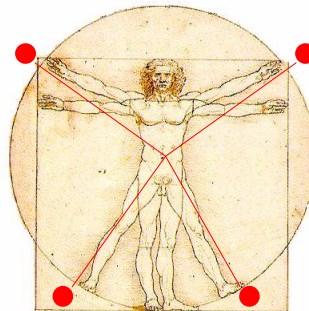


TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

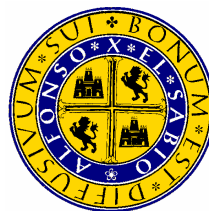
Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

VOLUMEN VIII. AÑO 2010



TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LOS RESIDUOS URBANOS (RU): SITUACIÓN ACTUAL DEL TRATAMIENTO DE RESTOS VEGETALES Y Lodos DE DEPURACIÓN EN LA COMUNIDAD DE MADRID

Rosalía Moreno Pérez
Tomás García Martín
Marta Muñoz Hernández



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO
Escuela Politécnica Superior
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: Rosalía Moreno Pérez
Junio, 2010.

http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD10_002.pdf

© De la edición: *Revista Tecnol@ y desarrollo*
Escuela Politécnica Superior.
Universidad Alfonso X el Sabio.
28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).
ISSN: 1696-8085

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

Tecnol@ y desarrollo. ISSN 1696-8085. Vol.VIII. 2010.

TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LOS RESIDUOS URBANOS: SITUACIÓN ACTUAL DEL TRATAMIENTO DE RESTOS VEGETALES Y LODOS DE DEPURACIÓN EN LA COMUNIDAD DE MADRID

Rosalía Moreno Pérez (1)

Tomás García Martín

Marta Muñoz Hernández

(1) Departamento de Tecnología Industrial. Escuela Politécnica Superior. Universidad Alfonso X El Sabio. Avenida de la Universidad Nº 1, 28691 Villanueva de la Cañada, Madrid. Tf. 91-810-91-65. correo electrónico: :rmoreper@uax.es

RESUMEN: La creciente generación de residuos pone de manifiesto la necesidad de buscar las mejores alternativas de gestión y tratamiento adecuado para los mismos. El proceso de compostaje es una de las mejores opciones para el tratamiento de residuos como los restos vegetales y los lodos de depuración procedentes de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales. En la Comunidad de Madrid, la mayor parte de estos residuos se valorizan en la Planta de Compostaje ubicada en el término municipal de Villanueva de la Cañada. La generación de lixiviados en la fase de fermentación aerobia puede resultar desmesurada cuando las plantas de compostaje no trabajan bajo condiciones óptimas. En el presente trabajo se analiza la situación actual de los restos vegetales y lodos de depuración generados en la Comunidad de Madrid del cual surgen trabajos futuros orientados a la optimización de la planta así como a una posible valorización del lixiviado generado en los túneles de fermentación.

PALABRAS CLAVE: residuo, residuos vegetales, lodos de depuración, compostaje, valorización.

ABSTRACT: The growing waste generation show the need to find the best alternatives for management and appropriate treatment for them. The composting process is one of the best options for vegetable waste treatment and the sewage sludge from wastewater treatment plants. In Madrid, most of these wastes are being recovered in the composting plant located in the town of Villanueva de la Cañada. The generation of liquid effluent in aerobic fermentation stage may be inordinate when composting plants are not working under optimal conditions. This scientific study reviews the current state of the vegetable waste and sewage sludge generated in Madrid, so in a future will make some works aimed at optimizing the composting plant and a possible recovery of the liquid effluent generated in the tunnels of fermentation.

KEY-WORDS: waste, vegetable waste, sewage sludge, composting, recovered

SUMARIO: 1 Introducción a la problemática de los residuos urbanos (RU). 2 Análisis y discusión de la situación actual de los residuos urbanos en España y en la Comunidad de Madrid. Restos Vegetales y

http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD10_002.pdf

Lodos de Depuración. 3 Conclusiones y trabajos futuros. 4 Bibliografía

SUMMARY: 1. Introduction to the problem of urban waste. 2 Anaysis and discussion of the current situation of urban waste in Spain and the Comunidad de Madrid. Plant debris and sewage sludge. 3 Conclusions. 4 Bibliography

1. Introducción a la problemática de los residuos urbanos (RU)

A lo largo de la Historia se puede apreciar el gran cambio social, cultural, económico y tecnológico que han sufrido la mayor parte de las poblaciones del mundo. El descubrimiento del fuego y los metales fueron grandes logros que condicionaron la forma de vida de los habitantes de la Tierra. La Revolución Industrial, por ejemplo, supuso un gran cambio social y cultural sobre el hombre durante la cual, la aparición de productos que hacían más fácil la vida cotidiana derivó en un cambio de conducta social persistente hoy en día. En la actualidad se está produciendo revolución tecnológica debido a los nuevos avances en telecomunicación, cirugía, análisis, telemetría, etc. Todo avance tecnológico lleva asociado la aparición de nuevas situaciones y problemas que hasta ese momento eran inexistentes, lo cual supone un replanteamiento práctico y lógico de la situación sin olvidar la revolución social que el hecho genera.

El modo de vida al que están sometidos los habitantes del primer mundo da lugar al consumo creciente de productos de usar y tirar, alimentos envasados listos para tomar y otros productos que facilitan el trasiego cotidiano. Esto supone un gran aumento en la generación de residuos así como la variación de su composición de los mismos, al incrementarse las fracciones de plástico, papel, cartón y aluminio. El ser humano es capaz de evolucionar y adaptarse tan rápido que el planeta está rozando su límite de capacidad productora y regeneradora. La excesiva explotación de materias primas, la tendencia creciente en la tasa de generación de residuos y la falta de concienciación ciudadana, hacen necesaria la introducción de tecnologías que sean capaces de recuperar aquellos materiales contenidos en los desechos aún aprovechables, de reintroducir en el ciclo productivo aquellos productos susceptibles de reciclado o bien el desarrollo e implantación de tecnologías aptas para la eliminación de aquellos materiales que no pueden ser reutilizados ni reciclados.

Hoy día, las sociedades más desarrolladas, e incluso, algunas en vías de desarrollo tienen implantados programas de información, concienciación y participación ciudadana en materia medioambiental. La conducta social actual apunta hacia el rechazo de instalaciones de eliminación de residuos, tales como incineradoras o vertederos, por lo que las Administraciones se centran en promover cada vez más las tecnologías

encaminadas al aprovechamiento, reutilización y reciclado de los residuos, todo ello en base a los principios de la sostenibilidad.

Una de las actuaciones del II Plan Nacional de Residuos Urbanos (2009-2016) es dar preferencia al tratamiento de la fracción fermentable de los residuos urbanos mediante compostaje, proceso en el que tiene lugar la degradación aerobia de la materia orgánica para la fabricación de compost. Actualmente, el 32% de los residuos gestionados se someten a procesos de triaje (separación) selectivo y parte de ellos acaban en plantas de compostaje [22].

El objetivo principal del presente trabajo consiste en realizar un análisis exhaustivo de la situación actual de los Lodos de Depuración (LD) y los Restos Vegetales (RV), gestionados en la Comunidad Autónoma de Madrid. Estos residuos pueden utilizarse como materias primas para la fabricación de compost. En concreto se desea poner de manifiesto los antecedentes para un futuro plan de optimización de la Planta de Compostaje de Villanueva de la Cañada, así como para un nuevo proceso de minimización de las corrientes de lixiviado y una posible valorización de las mismas.

2. Análisis y discusión de la situación actual de los residuos urbanos en España y en la Comunidad de Madrid. Restos Vegetales y Lodos de Depuración.

La producción de residuos sólidos domésticos constituye una de las variables que dependen básicamente del tamaño de la población y de sus características socioeconómicas. La Producción Per Cápita (PPC) de residuos es uno de los parámetros necesarios para estimar la generación de residuos y para dimensionar las instalaciones de vertido y disposición final de los mismos. Esta variable, asocia el tamaño de la población, la cantidad de residuos generados por unidad de tiempo; siendo su unidad de expresión Kg/hab/día. Actualmente, la producción de RU se estima en un valor superior a 1 Kg/hab/día y se supone en crecimiento anual de un 6% [2].

El valor de la PPC varía de unas poblaciones a otras en función del grado de urbanización, de la densidad de población, del nivel de consumo o nivel socioeconómico, de los periodos estacionales y de las actividades predominantes. Por ejemplo, en España, los dos emplazamientos que generan mayor cantidad de residuos urbanos son la Comunidad de Canarias y, las de Ceuta y Melilla.

Parece lógico que, las comunidades que reciben más cantidad de turistas sean las que produzcan más residuos debido al aumento de población y, por tanto, al consumo de productos. Hay que destacar que Galicia, siendo una zona costera que recibe turismo durante todo el año (Eurostat, MARM , 2008), es la Comunidad que menos residuos genera de España como puede verse en la Tabla 1.

Aunque la cantidad de visitantes no sea tan elevada como en algunas comunidades costeras, la forma de vida y el nivel sociocultural se ha de tener en cuenta.

Tabla 1: Producción Per Cápita de residuos en España por Comunidades Autónomas; valores extremos 2007.

CC.AA.	PPC (Kg./hab./día)
Ceuta y Melilla	2,30
Canarias	2,23
Baleares	2,02
Castilla y León	1,08
Galicia	1,05

Fuente: Indicadores del Ministerio de medio ambiente, del medio rural y marino. MARM/Eurostat

Nota: El resto de Comunidades Autónomas no incluidas en la tabla mantienen su PPC por debajo de 1 Kg/hab/día.

Según datos recogidos en el Perfil Ambiental de España 2006, elaborado en base al II Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR 2008 – 2015) en su anexo I referente al II Plan Nacional de Residuos Urbanos (IIPNRU) en España se generaron 524,5 Kg/hab/año de residuos urbanos durante el año 2004. Este dato supone una producción per cápita de 1,4 kg/hab/día, cifra que se sitúa entre un valor medio – alto de generación de residuos [22].

Durante el último año se han generado en España unas 28,1 millones de toneladas de residuos según el Instituto Nacional de Estadística (INE) de los cuales, aproximadamente, el 44% corresponde a la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FORU).

Se tienen datos disponibles, desde los 90 y muestran una mayor tendencia creciente en la generación de residuos.

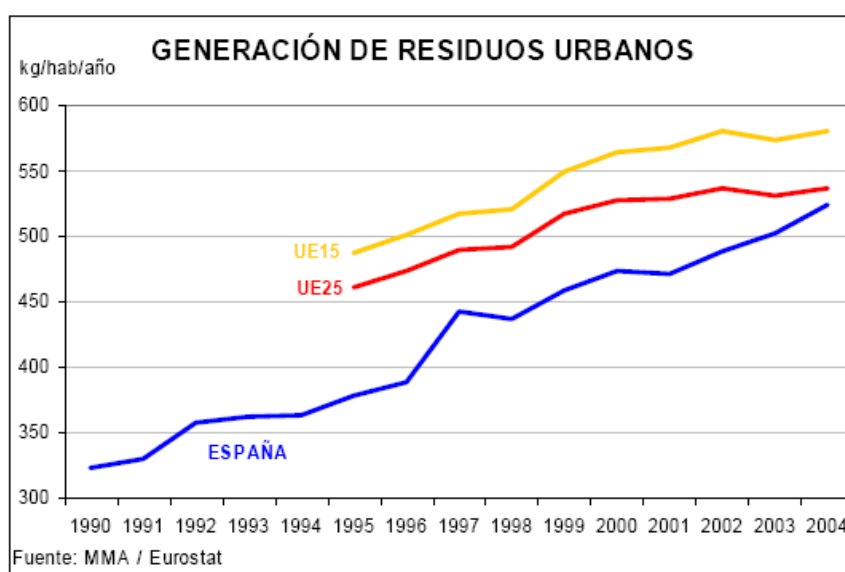


Gráfico 1: Generación de residuos urbanos (1990 – 2004) España / Unión Europea

Fuente: Banco Público de Indicadores Ambientales del Ministerio de medio ambiente, del medio rural y marino. MARM /Eurostat

GENERACIÓN DE RESIDUOS URBANOS (kg/hab.año)															
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
UE15	-	-	-	-	-	487	501	517	521	550	564	568	580	573	580
UE25	-	-	-	-	-	461	474	490	492	517	528	529	537	531	537
ESPAÑA	323	330	357	362	363	378	388	443	437	459	474	471	488	502	524

Fuente: Banco Público de Indicadores Ambientales del Ministerio de Medio Ambiente. MMA/Eurostat

Tabla 2: Generación de residuos urbanos (1990 – 2004) España / Unión Europea

El fuerte desarrollo económico, impulsado por un gran avance industrial y tecnológico ha hecho que, desde el año 1990, la tasa de generación de residuos aumente en un 62,2% por habitante hasta llegar a una generación anual de unas 26,5 toneladas según datos recogidos en el Perfil Ambiental de España 2006.

Como puede observarse en el Gráfico 1, España sufre una tendencia al alza y se encuentra muy cerca de los máximos europeos. Mientras que en España se generaron 424,5 Kg/hab/año durante el periodo del 2004 (véase Tabla 2), los niveles medios europeos se situaban en 567 kg/hab/año (UE-15) y 525 kg/hab/año (UE-25) (Gráfico 1). En la Tabla 2 puede observarse que, un descenso anecdótico en la generación de residuos con respecto al dato recogido durante el año anterior. No obstante, la tendencia global es ascendente. Dentro del territorio español, Comunidades Autónomas como Andalucía, Madrid o Valencia generan entre 450 y 600 kg/hab/año aunque son los archipiélagos canario y balear los mayores productores junto a Ceuta y Melilla, generando más de 700 kg/hab/año.

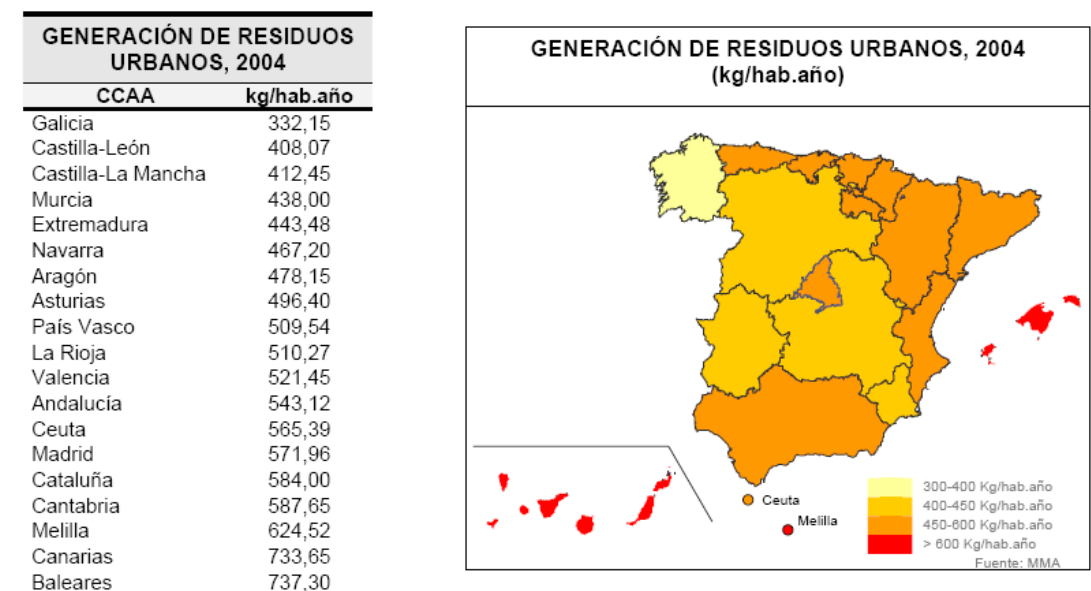


Tabla 3: Generación de residuos urbanos en España por Comunidades Autónomas (2004)

Fuente: Banco Público de Indicadores Ambientales del Ministerio de Medio Ambiente. MMA/Eurostat

Gráfico 2: Generación de residuos urbanos en España por Comunidades Autónomas (2004)

Fuente: Banco Público de Indicadores Ambientales del Ministerio de Medio Ambiente. MMA/Eurostat

El análisis realizado indica que, Ceuta y Melilla son las grandes productoras de residuos del país situando su PPC en 2,30 kg/hab/día, lo que supone una generación de residuos en el año 2007 de 839,5 kg/hab. La Comunidad Autónoma de Galicia sigue siendo la menor productora de residuos con respecto al resto de España situando su PPC en 2007 en 1,05 kg/hab/día, lo que supone una tasa de generación de 383,25 kg/hab/año ligeramente superior a la registrada en el año 2004 si se compara con el dato recogido en la Tabla 2.

Podría quedar justificado el incremento en la generación de residuos atendiendo a la gran afluencia de turismo que reciben los archipiélagos canario y balear así como las Comunidades Autónomas bañadas por el mar Mediterráneo que son las que producen la

mitad de los residuos generados en España. No es del todo así, si se considera que los estudios se realizan sobre los habitantes censados en el momento en el territorio.

Siempre han existido grandes diferencias entre las zonas costeras y las del interior, en cuanto a recepción de visitantes a lo largo del año como pueden ser turistas o estudiantes. Hace unas décadas, las zonas costeras recibían mayor número de personas en época estival que las zonas del interior; estas diferencias se ven cada vez más reducidas en cuanto a que, Comunidades como la de Madrid, Barcelona o Valencia reciben y acogen miles de estudiantes a lo largo del año así como turistas o inmigrantes. El gran avance tecnológico, industrial, educativo, cultural y de ocio que ha adquirido la Comunidad Autónoma de Madrid, hace que el número de visitantes y habitantes se multiplique atrayendo gentes de todo el territorio español y europeo en busca de educación, cultura y, ocio. Todos estos visitantes, sumados a los inmigrantes y a los asentados de toda la vida o recientemente en la Comunidad de Madrid, la sitúan en la máxima productora de residuos del interior del país produciendo mas de tres millones de toneladas de residuos al año con una tasa que se situó en el año 2004 en 571,96 kg/hab/año como se puede observar en la Tabla 3 y el Gráfico 2.

Por otra parte según un estudio del INE (2008) [26] de los residuos domiciliarios separados en origen solo un 9,8% se reutiliza, un 74,8% se elimina y un 15,4% se trata biológicamente (compostaje, biometanización o biomasa); y, de aquellos que no se separan previamente un 63,1% se puede reutilizar, un 31,6% se elimina y el 5,3% se destina a compostaje, biometanización o biomasa. La cantidad de materiales de diferente naturaleza que no han sido separados previamente dificultan los procesos de reutilización y reciclado, de ahí la importancia de clasificar los residuos en el origen, es decir, en los hogares. El INE destaca que, en España, se recolectan 28,1 millones de toneladas de residuos al año (2008). Igualmente señala que se retiran 484 kg de RU mezclados /hab/año, 18 kg de papel y cartón y 10,9 kg de vidrio. De estos datos se estima que 21,6 millones de toneladas corresponden a residuos mezclados y 6,4 millones de toneladas a la recogida selectiva. Según fuentes de la Oficina Estadística de la Comisión Europea (Eurostat), España ocupa el séptimo lugar en reciclaje de RU en comparación con los países de la UE15 (15 países de la Unión Europea más desarrollados) [2].

También se estima que para el año 2020 los países miembros de la UE alcanzarán los 680 kg/hab/año, lo que supone un aumento del 20%. La huella ecológica que dejaría esta estimación supondría una superficie del tamaño de Luxemburgo con un espesor de 30 cm.

Es por esto que el Plan Nacional Integrado de Residuos define unos objetivos enmarcados en el II Plan Nacional de Residuos Urbanos 2008 – 2015 en ámbito de residuos y bajo los principios de prevención, reciclaje, valorización y eliminación:

En cuanto a prevención, el plan establece la estabilización del ratio de generación de residuos urbanos per cápita a partir del año 2008 con una disminución del 10% a partir del año 2010 y del 20% a partir del año 2015. En el mismo ámbito, se exige una disminución del 60% en peso del vertido de materia orgánica biodegradable a partir del año 2009 y del 70% en peso a partir del 2015 con la consiguiente recogida selectiva y compostaje de residuos vegetales de origen público y privado a partir del año 2009 (IIPNRU).

En cuanto a reciclaje, se exige la elaboración y aprobación de una norma de calidad agronómica del compost producido promoviendo su aplicación por administraciones y entidades privadas en actividades agrícolas, avícolas, jardinería y restauración de zonas afectadas por obra.

En cuanto a su eliminación, establece que solamente se contabilizarán como valorizados energéticamente los residuos urbanos no reutilizables ni reciclables, siempre que alcancen unos rendimientos energéticos mínimos (sobre la normativa de la UE o adoptando un criterio cuantitativo a nivel nacional). En el plan no se contempla la eliminación en vertedero incontrolado.

2.1 Los residuos vegetales (RV)

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

Según la literatura [3] y [25], las mejores alternativas de tratamiento para estos residuos son los procesos biológicos como la producción de compost, biomasa, “mulch” o material de cobertura para vertederos. Según algunos estudios se ha determinado que los RV son el material idóneo de partida para la fabricación de compost de alta calidad

ya que, por ejemplo, las hojas son excelentes para compostar y el césped tiene altos contenidos en nitrógeno.

El tratamiento de este tipo de residuos en las plantas de compostaje permite realizar, de forma controlada y más acelerada, el mismo proceso que tiene lugar en la Naturaleza, es decir, su descomposición para una posterior reintroducción en su ciclo natural y, aún más, su valorización para una posterior puesta en el mercado. La recogida selectiva es fundamental para poder tratarlos adecuadamente en instalaciones de compostaje donde se someten a fermentación aerobia controlada.

La mezcla de los residuos vegetales con lodos de depuración es bastante interesante de cara a que se pueden conseguir condiciones de partida óptimas para favorecer un buen compostaje. Con esta operación se podrían reducir los lixiviados generados y se conserva mejor el nitrógeno [12] para su aplicación como nutriente en abonos líquidos.

La Comunidad de Madrid, tiene ya implantado este sistema en alguno de sus municipios que disponen de contenedores específicos en la vía pública o de Puntos Limpios donde los ciudadanos pueden ir a depositar los restos de las podas. En la segunda fase del Plan de Gestión de Residuos de la Comunidad de Madrid, la empresa GEDESMA S.A. se encarga de la gestión de este tipo de residuos en la Planta de Compostaje que tiene instalada en el término municipal de Villanueva de la Cañada. Estos residuos son tratados junto a los lodos de depuración de ciertas instalaciones de depuración de aguas del Canal Isabel II.

La mayor producción de RV tiene lugar en durante los meses de octubre a marzo suponiendo una producción aproximada del 70% del total generado. Esto depende básicamente del tipo de intervenciones que se realizan durante estos meses.

Durante el resto del año, las operaciones son de menor importancia y de diferente naturaleza, con lo cual, la generación es menor y las características son diferentes [11].

El dimensionado de la Planta de Compostaje de Villanueva de la Cañada se realizó teniendo muy en cuenta estas circunstancias, con lo cual, dispone del espacio necesario para el almacenamiento de estos residuos como se detallará en puntos sucesivos del presente trabajo.

Se podría realizar una clasificación previa de los restos de poda en función de las características fisicoquímicas:

- Material leñoso procedente de la poda de los árboles (ramas gruesas o finas).

- Material no leñoso procedente del recorte de setos.
- Troncos.
- Material de estructura que no fermenta pero aporta gran porosidad y esponjosidad al material a compostar. El aporte de porosidad permite la distribución de aire en la masa.
- Césped y material tapizante; este tipo de residuo tiene la característica de biodegradarse muy rápidamente por lo que tiene prioridad a la hora de alimentar al proceso de fermentación. Si durante el almacenamiento comienzan a fermentar estos materiales, se generan malos olores, por lo que es conveniente someterlos al proceso de fermentación lo antes posible y junto a otros materiales.

Son diez los municipios que aportan residuos vegetales a la planta de Villanueva de la Cañada: Brunete, Las Rozas, Majadahonda, Pozuelo de Alarcón, Sevilla La Nueva, Torrelodones, Valdemorillo, Villanueva del Pardillo, Boadilla del Monte y Villanueva de la Cañada. Hay que destacar que Villanueva de la Cañada dispone de contenedores específicos para la recogida de RV distribuidos por todo el municipio. La producción de RV por municipio es la siguiente:

Brunete	150
Las Rozas	2.488
Majadahonda	3.450
Pozuelo de Alarcón	6.000
Sevilla la Nueva	1.700
Torrelodones	600
Valdemorillo	2.600
Villanueva de la Cañada	2.827
Villanueva del Pardillo	350
Boadilla del Monte	2.750

Tabla 8: Producción de residuos vegetales de los municipios que aportan residuos vegetales a la Planta de Compostaje de Villanueva de la Cañada en Tm/año

Fuente: Planta de Villanueva de la Cañada, 2008

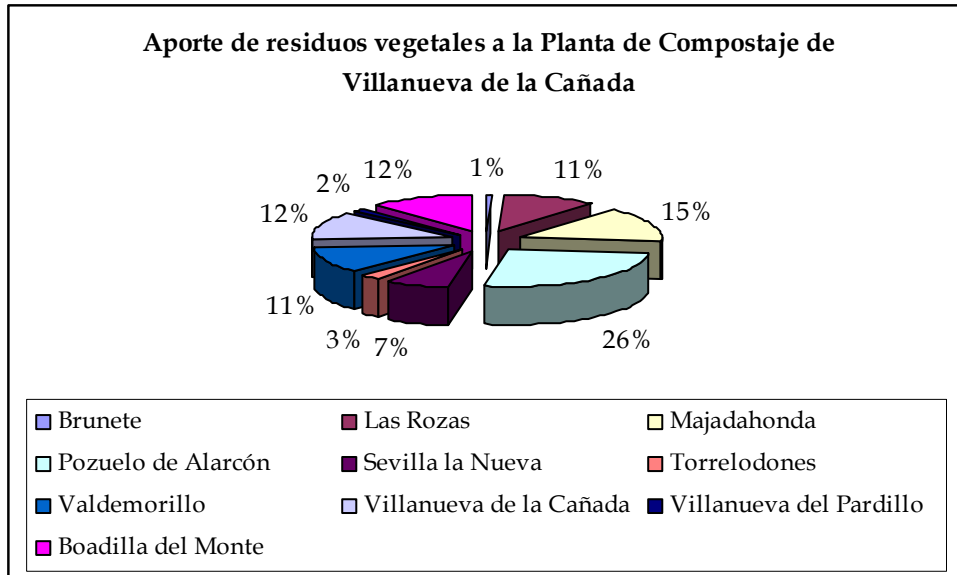


Gráfico 3: Aporte de residuos vegetales a la Planta de Compostaje de Villanueva de la Cañada, 2008.

Fuente: Planta de Compostaje de Villanueva de la Cañada, 2008

Como se observa en el Gráfico 3, son los municipios de Pozuelo de Alarcón y Majadahonda los que más residuos vegetales aportan a la planta. Brunete y Sevilla la Nueva son los que menos aportan.

2.2 Lodos procedentes de Estación Depuradora de Aguas Residuales Urbanas

El I Plan Nacional de lodos de depuradoras de aguas residuales – EDAR (IPNLD – EDAR 2001 – 2006) (Anexo VIII) fue aprobado en Junio de 2001 en el marco del Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) en su anexo quinto, y su objetivo principal era mejorar la gestión de los lodos optimizando su aplicación agrícola para la protección de la calidad del suelo fundamentalmente. En este Plan se da preferencia al reciclado de los lodos de depuración (LD) en lo relativo a los nutrientes de cara a una posterior aplicación agraria, respetando los principios de jerarquía según la normativa de residuos.

La Directiva 91/271/CEE, del Consejo, de 21 de Mayo de 1991 sobre tratamiento de aguas residuales presenta como objetivo principal la ordenación de la retirada y

tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas (ARU) y de las Aguas Residuales Industriales (ARI). Dentro de su ámbito de aplicación queda prohibido el arrojado de los LD a las aguas superficiales desde el año 1999 y establece metodologías de evacuación para los mismos apuntando la necesidad de controlar las alternativas para su gestión. La directiva también obliga, desde su entrada en vigor en Enero de 2006, a la depuración de aguas urbanas en poblaciones de más de 2000 habitantes equivalentes (habeq) que viertan en aguas continentales.

Debido a estos requisitos, en los últimos años, la producción de lodos de depuración se ha incrementado y esto ha hecho que se agraven los problemas de almacenamiento y gestión de los mismos. Para paliar estos problemas, se plantean alternativas de gestión en base al IIPNLD-EDAR impulsando, sobre todo, la valorización de estos residuos. Se ha fomentado la valorización agrícola de los LD como abono o enmienda orgánica para el suelo ya que se podrían mitigar problemas asociados a la explotación del suelo como la erosión, empobrecimiento, contaminación, etc. Las alternativas adoptadas a nivel mundial para la disposición final de estos residuos son el vertido controlado, incineración, reciclaje y aplicación directa en agricultura [21].

Según el Registro Nacional de Lodos (RNL) del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MARM) que ahora pasa a llamarse Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM), la producción de lodos aumentó en un 39% en el periodo de 1997-2005. En la Tabla 9 se aprecia que es Cataluña la mayor productora de lodos de depuración (306.675,63 toneladas) que junto a las Comunidades de Madrid y Valenciana generaron aproximadamente la mitad del total producido por el país (570.050,34 toneladas) durante el año 2003.

Caso contrario para el Principado de Asturias que produjo 2.229 toneladas durante el mismo periodo. El 66% de los lodos producidos se destinaron a uso agrícola y el 7,6% se incineraron; por otro lado, un 16% se destinó a vertedero controlado. Tres de los objetivos planteados en el IIPNLD-EDAR son:

- Valorización agrícola de al menos un 70% de los lodos de depuración generados antes de 2011.
- Valorización energética (incineración con recuperación de energía) de como máximo el 15% de los lodos de depuración generados antes de 2011.
- Depósito en vertedero como máximo del 15% de los lodos de depuración antes de 2011.

Al finalizar el periodo del IPNRU (2005), se valorizaban para usos agrícolas en España 725.433 toneladas de los lodos de depuración producidos, valor ligeramente superior a los destinados a este fin en el año 2003 (669.554 toneladas). Se puede apreciar la tendencia al uso de lodos de depuración en las actividades agrarias. Estos datos reflejan que hoy por hoy se destinan a valorización agrícola más de un 66% de lodos de depuración, valor cercano al objetivo a alcanzar para el año 2011. En la Comunidad Autónoma de Madrid se destina más del 95% de los lodos de depuración producidos en actividades agrícolas y, parte de ellos se someten a compostaje junto los residuos vegetales en la Planta de Compostaje ubicada en el término municipal de Villanueva de la Cañada, propiedad de GEDESMA, S.A. Más adelante se comentará el Plan Regional de lodos de depuración adoptado por la Comunidad de Madrid a fin de alcanzar los objetivos propuestos en el IIPNRU para la protección del medio ambiente y la calidad de los suelos.

CC.AA.	Total Lodo	Total agrario	Total vertedero	Total incineración	Total otros
Andalucía	63.594,24	53.830,30	9.347,94	0,00	416,00
Aragón	30.576,50	8.318,50	1.943,00	20.000,00	315,00
Comunidad de Navarra	14.003,50	13.956,50	40,00	0,00	7,00
Canarias	10.856,25	20,00	8.264,32	0,00	1.571,93
Cantabria	12.472,34	0,00	12.472,34	0,00	0,00
Castilla - La Mancha	2.350,00	2.350,00	0,00	0,00	0,00
Castilla y León	53.926,33	29.578,58	16.700,85	0,00	7.646,90
Cataluña	306.675,63	160.559,54	58.519,16	0,00	87.596,93
CC.AA. Ceuta y	1.460,00	0,00	1.460,00	0,00	0,00

Melilla					
Comunidad de Madrid	144.115,06	138.728,80	5.346,53	0,00	39,73
Comunidad Valenciana	249.259,65	180.508,83	24.191,06	42.829,06	1.730,70
Extremadura	9.430,00	6.114,00	3.316,00	0,00	0,00
Galicia	34.211,34	25.203,49	4.924,80	440,00	3.643,04
Islas Baleares	34.619,00	31.002,00	3.617,00	0,00	0,00
La Rioja	15.256,80	15.246,90	0,00	0,00	9,90
Principado de Asturias	2.229,00	1.413,00	791,00	0,00	25,00
País Vasco	24.390,99	1.721,28	9.126,20	13.543,50	0,00
Región de Murcia	2.731,00	1.003,00	1.728,00	0,00	0,00
Total	1.012.157,63 100%	669.554,72 66,20%	161.788,20 16,00%	76.812,56 7,6%	103.002,13 10,20%

Tabla 9: Producción de lodos de depuración en España por CC.AA. y destinos finales 2003 (toneladas de materia seca)

Fuente: Registro Nacional de lodos. MARM, 2003

La mayor parte de estos lodos se han destinado a valorización agrícola y, en general, la evolución del uso agrícola de estos residuos se refleja en el Gráfico 4:

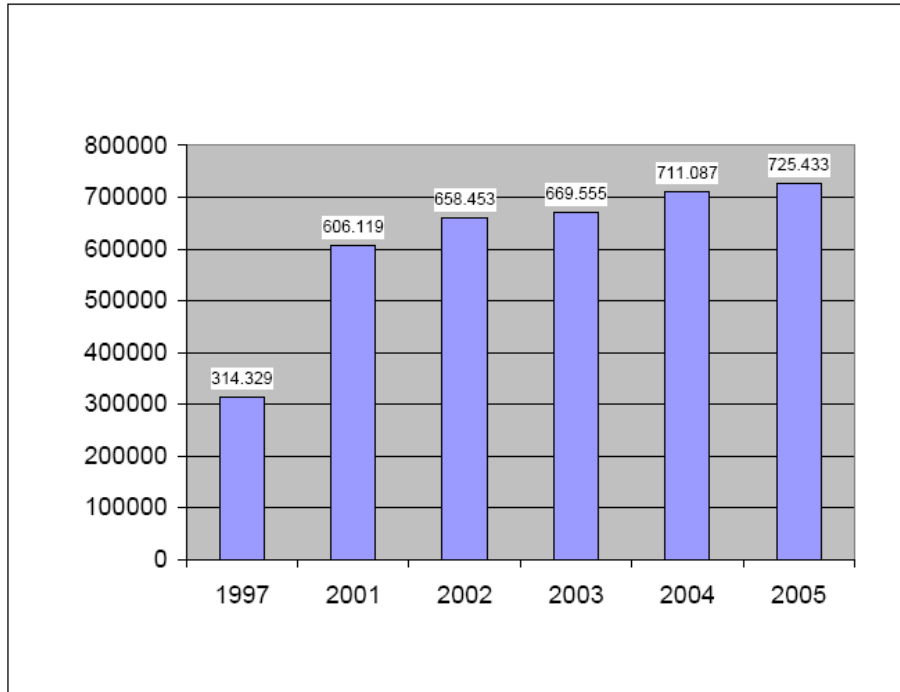


Gráfico 4: Evolución de la valorización agrícola 1997-2005 (toneladas materia seca/año)

Fuente: Registro Nacional de lodos. MARM

El gran impulso tuvo lugar desde el año 1997 al año 2001, siguiendo una trayectoria creciente hasta el año 2005. La valorización agrícola de este tipo de residuos se asocia al concepto de reutilización y, por tanto, a la asignación de un cierto valor económico añadido. Si se tiene en cuenta que hoy en día, el mayor problema para la agricultura es la disminución de la materia orgánica en los suelos, sobre todo en áridos y semiáridos, no es de extrañar el gran impulso que está tomando el uso de este tipo de residuos para estas actividades. Como se comentará más adelante, los lodos de depuración de aguas residuales presentan un elevado contenido en materia orgánica, nutrientes esenciales para las plantas y junto con algunos metales pesados considerados como contaminantes potenciales. Es por esto, que merece la pena su aprovechamiento y reciclado como abono o enmienda agrícola en vez de depositarlos en vertederos donde pierden todo su valor.

Hay que tener muy en cuenta el contenido en metales pesados en los lodos y los suelos receptores que, aunque se encuentra limitado por la normativa, no dejan de ser

contaminantes peligrosos que pueden acumularse tanto en el suelo como en la cadena trófica (bioacumulación). Es necesario, por esto, controlar no solo el contenido en metales pesados de los lodos si no también la concentración en suelos receptores y la cantidad máxima admisible por ellos. Cabe citar que en este sentido la Comunidad de Madrid ha elaborado un Decreto que refleja la utilización de lodos de depuración en agricultura. El uso de fertilizantes, por tanto, no debe superar el contenido de estos metales que el propio suelo puede admitir. Así pues, uno de los requisitos previos para la selección de depuradoras que pueden aportar lodos a la Planta de Compostaje de la Comunidad de Madrid fue el contenido en metales pesados.

En el año 2005 se inicia el Programa de Caracterización de lodos de depuración elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) en colaboración de las Comunidades Autónomas. y la Asociación Española de Saneamiento. Las analíticas se realizan en los laboratorios del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) y del Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentación (IMIDRA). Los parámetros a determinar son los metales pesados, compuestos orgánicos, microbiológicos y agronómicos. Según el IIPNLD-EDAR (2007-2015), los resultados previos reflejan concentraciones relativamente bajas de metales pesados en los lodos de depuración, cumpliendo con la normativa vigente para usos agrícolas. En el año 2005 se alcanzó el objetivo referente a la valorización agrícola propuesto para el año 2006 con lo que se ha logrado disminuir el contenido en los siguientes metales pesados: níquel (Ni), plomo (Pb), cinc (Zn) y cromo (Cr) en lodos de depuración destinados a la agricultura.

El Plan también establece que si no se puede disminuir el contenido en estos contaminantes en lodos de peor calidad, se optará por otras alternativas de valorización como la energética. La Comunidad de Madrid acoge a un gran número de habitantes y cuenta con unas instalaciones de tratamiento de aguas tanto urbanas como industriales de un nivel tecnológico elevado. Esto justifica, por un lado, la gran cantidad de lodos generados y, por otro, la necesidad de instalar plantas específicas para su tratamiento. En la Comunidad de Madrid han apostado en gran medida por la valorización agrícola de los lodos producidos en las instalaciones depuradoras del Canal de Isabel II, optando por el tratamiento conjunto de lodos de depuración y restos vegetales para su valorización como abono o enmienda orgánica.

En el año 2002 se inauguró la Planta de Compostaje de lodos de EDAR y residuos vegetales, con una extensión de 6 Ha y una capacidad total de tratamiento de 30.000 t/año según datos de GEDESMA, S.A. En ella se tratan 22.000 toneladas anuales de residuos vegetales y unas 8.000 toneladas anuales de lodos de depuración. El método de tratamiento adoptado en la planta es la fermentación aerobia para la producción de compost.

La Comunidad de Madrid también destina parte de los lodos a usos agrícolas directos y no contempla la incineración ni como técnica de valorización ni como técnica de eliminación. La disposición final para lodos no aprovechables o de mala calidad se realiza en vertedero sanitariamente controlado o relleno sanitario.

3. Análisis y discusión de la situación actual de las plantas depuradoras de aguas residuales de la Comunidad de Madrid.

El Canal de Isabel II gestiona 65 de las plantas depuradoras instaladas en la Comunidad de Madrid y desde finales del año 2005 da servicio a casi todos los municipios madrileños a excepción de algunos a los que depura parte de sus aguas y aquellos que están a la espera de la finalización de las obras y puesta en marcha de sus propias instalaciones depuradoras de aguas [PRLD (2006-2016) de la Comunidad de Madrid].

En el Gráfico 5 se muestra la producción generada de lodos en las plantas instaladas en el periodo 2002 -2005. Los datos del gráfico corresponden capacidades de generación de lodos en peso seco. A simple vista se observa lo que pudiera calificarse de evolución anómala con respecto a la fuerte caída que se produce en el paso del periodo 2002 a 2003, periodo a partir del cual viene produciéndose un aumento proporcional. No obstante, dicho decrecimiento fue posible debido a la introducción de nuevas tecnologías para la minimización del volumen de lodos.

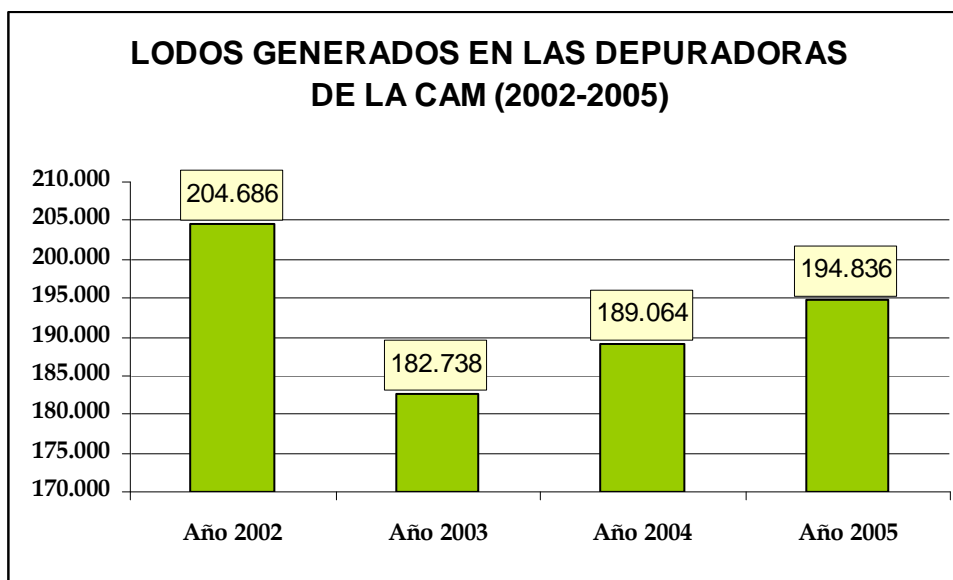


Gráfico 5: Generación de lodos deshidratados en Madrid durante el periodo 2002 - 2005 (t/año)
Fuente: Elaboración propia con los datos del Plan Regional de Lodos de Depuración de la Comunidad de Madrid, 2006-2016

Durante el año 2000 se generaron 210.000 toneladas de lodos de depuración y en el año 2001, 199.970 toneladas según datos del Banco Público de Indicadores Ambientales (BPIA) del Ministerio de Medio ambiente. Como puede verse en el Gráfico 5, durante el año 2005 se produjeron 194.836 toneladas de lodos deshidratados, cifra ligeramente inferior a la del año 2001. Esto fue posible gracias a la mejora y optimización de los procesos de deshidratación en centrifugas. Del mismo modo, la mejora y aumento de los procesos anaerobios dentro de la línea de tratamiento de fangos, ha supuesto un descenso en la generación de materia seca.

El Canal de Isabel II dispone de un “Programa de caracterización de lodos de depuración”; en 1997, emitió un primer informe con la composición de los lodos con el objetivo de clasificarlos como residuos peligrosos o no y, ninguna de las plantas presentó niveles relevantes en función de su peligrosidad. En las plantas de Navarrosillos y La Poveda, el Canal realiza periódicamente este análisis porque los lodos generados en ellas poseen una elevada carga industrial.

Se realiza un estudio exhaustivo del contenido en metales pesados con carácter mensual en todas las plantas y según los datos proporcionados por el Canal, hay que señalar que algunas estaciones presentan concentraciones medias elevadas de algunos metales pesados como son las que se muestran en la Tabla 10:

METAL	EDAR
Cu	Aldea del fresno, Velilla de San Antonio, Navarrosillos, Guadarrama Medio
Cr	Arroyo de la Vega y La Poveda
Pb	Navarrosillos
Ni	Navarrosillos

Tabla 10: EDAR del Canal Isabel II que presentan concentraciones medias elevadas
De ciertos metales pesados
Fuente: Canal de Isabel II

Los destinos finales, como ya se ha comentado antes son: la aplicación agrícola directa, el compostaje y el vertido controlado. En el gráfico siguiente se pueden ver los porcentajes de lodos deshidratados distribuidos a cada destino durante el año 2005 según el PRLD de la Comunidad de Madrid:

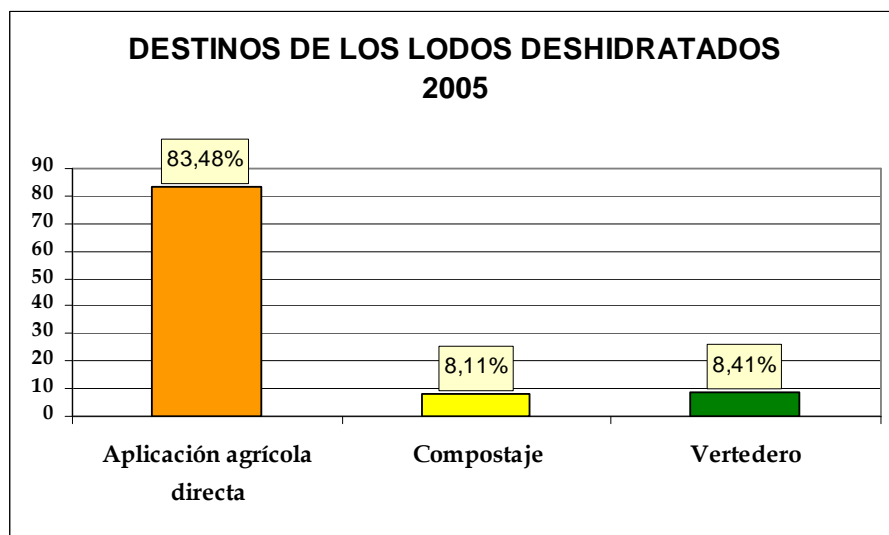


Gráfico 6: Destinos de lodos deshidratados en Madrid durante el año 2005

Fuente: Elaboración propia con los datos del Plan Regional de Lodos de Depuración de la Comunidad de Madrid, 2006-2016

Nota: El dato del total utilizado para el cálculo de estos porcentajes en el Plan Regional de lodos de la COMUNIDAD DE MADRID (Tabla 4, pág. 13, 194.955 t) no se corresponde con el total mostrado en la tabla que muestra las cantidades de lodos generados por cada estación (Tabla 2, pág. 12, 194,836 t). En el presente artículo se toma como base de cálculo, el dato correspondiente a la Tabla 2 del mencionado Plan.

La valorización agrícola de los lodos parece ser la mejor opción y es la alternativa tomada por la Comunidad de Madrid. El compostaje parece ir en alza aunque es la aplicación directa en agricultura, el destino más solicitado para este tipo de residuos. Los lodos destinados a compostaje los gestiona GEDESMA, S.A. en su Planta de Compostaje de lodos de depuración y restos vegetales de Villanueva de la Cañada, como ya se ha comentado antes. Hay que señalar que la planta tiene restringida la aceptación de lodos de ciertas depuradoras del canal. La Planta de Compostaje de Villanueva de la Cañada trata lodos de EDAR con un límite máximo del 35% de humedad según la Orden Ministerial de 28 de Mayo de 1998, sobre fertilizantes y afines del MARM en su artículo 12 y anejo 3). En base a esto, la Planta de Compostaje de Villanueva de la

Cañada está dimensionada para tratar 8.000 t/año de lodos deshidratados. Recibe lodos de 25 estaciones depuradoras gestionadas por el Canal de Isabel II y dichas estaciones se recogen en la Tabla 11:

Alcalá Este	Los Escoriales
Alcalá Oeste	Lozoyuela
Ambite	Navalafuente
Boadilla	Picadas
Colmenarejo Oeste	Puentes Viejas
El Chaparral	Santillana
El Endrinal	Tres Cantos
Fresno - Ribatejada	Valdemorillo
Galapagar-Torrelodones	Villa del Prado
Gascones	Villanueva de la Cañada
Guadalix	Villaviciosa de Odón
Guadarrama medio	Zarzalejo
Hoyo de Manzanares	

Tabla 11: EDAR del Canal Isabel II cuyos lodos deshidratados son tratados en la Planta de Compostaje de Villanueva de la Cañada

Fuente: Elaboración propia con los informes del Canal de Isabel II

En cumplimiento de los artículos 4 y 5 del RD 1310/1990 , de 29 de Octubre (Anexo X) y del artículo 5 del D193/1998, de 20 de Noviembre (Anexo XI), por el que se regula la utilización de lodos de depuración en el sector agrario, D. Manuel Pérez-Minayo, en su calidad de Jefe del Departamento de Control y Tecnología del Canal de Isabel II, certifica que los lodos de las EDAR anteriormente citadas responden al concepto de “lodo tratado” (según el artículo 1, apartado “b” del citado RD 1310/1990), habiendo sido generados en un proceso de estabilización aerobia.

En el Anexo IC del citado RD 1310/1990, se establecen valores límite de concentración de metales pesados en los lodos destinados a uso agrario, especificando su aplicación en suelos ácidos o suelos básicos. Estos valores se recogen en la Tabla 12.

PARÁMETRO	SUELOS CON pH<7	SUELOS CON pH>7
Cadmio	20	40
Cobre	1.000	1.750
Níquel	300	400
Plomo	750	1.200
Zinc	2.500	4.000
Mercurio	16	25
Cromo	1.000	1.500

Tabla 12: Valores límite de concentración de metales pesados en lodos destinados a la agricultura (mg/Kg materia seca)

Fuente: RD 1310/1990 de 29 de Octubre por el que se regula la utilización de lodos de depuración en el sector agrario

Del mismo modo, en el Anexo IC se establecen los valores límite para las cantidades anuales de metales pesados que podrán introducirse en los suelos basándose en una media de diez años. Véase la Tabla 13.

PARÁMETRO	Valor límite
Cadmio	0,15
Cobre	12
Níquel	3
Plomo	15
Zinc	30
Mercurio	0,1
Cromo	3

Tabla 13: Valores límite de concentración de metales pesados que se pueden aportar a los suelos (Kg/Ha/año)

Fuente: RD 1310/1990 de 29 de Octubre por el que se regula la utilización de lodos de depuración en el sector agrario

Para la certificación de “lodo tratado”, deben analizarse como mínimo los siguientes parámetros según lo dispuesto en el RD 1310/1990 en su Anexo IIA: materia seca, materia orgánica, pH, nitrógeno, fósforo, cadmio, cobre, níquel, cinc, mercurio y cromo. Deben analizarse cada seis meses como mínimo durante la fase de producción y, podrá variarse la frecuencia de las analíticas en función de las fluctuaciones en la calidad de las aguas tratadas. Una vez finalizada la fase de tratamiento de los lodos, éstos deben ser analizados nuevamente. El contenido en metales pesados se determina mediante espectrometría de absorción atómica tras su disolución en un ácido fuerte como puede ser el ácido nítrico.

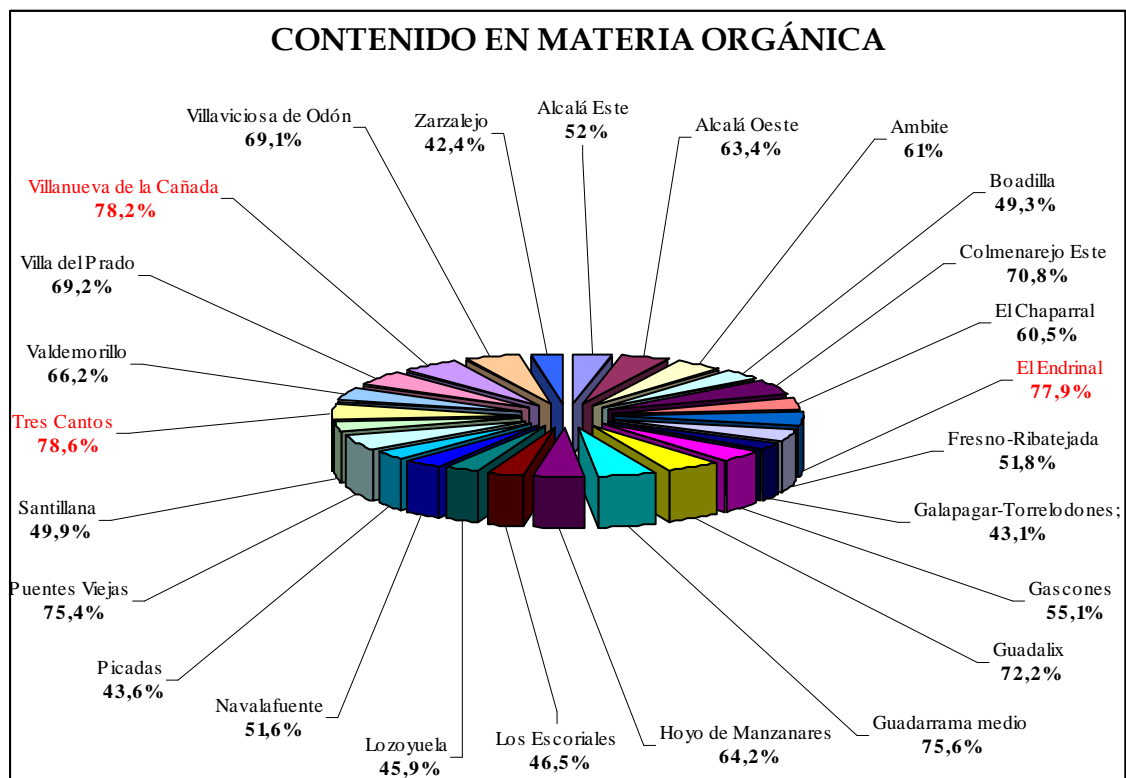


Gráfico 7: Contenido en materia orgánica de los lodos tratados en la Planta de Compostaje de Villanueva de la Cañada (% sobre materia seca)

Fuente: *Elaboración propia con los datos del Canal de Isabel II*

Se puede observar en el gráfico 7 que, los lodos procedentes de las EDAR de Tres Cantos, Villanueva de la Cañada y El Endrinal presentan un contenido en materia orgánica por encima del 77% sobre materia seca total producida en la depuración de las aguas. La materia orgánica es un componente del suelo y, por tanto, cuanto mayor contenido en ella, mayor aporte al compost y al suelo. Como se ha comentado anteriormente, uno de los problemas más graves en la agricultura es la pérdida de materia orgánica en los suelos; con la incorporación de compost como estructurante del suelo podría aliviarse este deterioro. Una de las limitaciones de selección de EDAR que podían aportar sus lodos a la Planta fue el contenido en metales pesados, como se ha comentado anteriormente. En la Tabla 15 se recogen los valores medios de concentración de cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb) y Zinc (Zn).

En la Tabla 14 se puede ver que los metales que se encuentran en mayor proporción son el Zn superando los 1000 mg/kg de lodo seco en el caso de Fresno – Ribatejada y el Cu, llegando a superar los 390 mg/kg de lodo seco en la EDAR de Guadarrama medio. En cualquier caso, ninguno de los metales presentes en los lodos presenta concentraciones superiores a los límites establecidos por la legislación en los casos cuyo uso final sea la valorización agrícola.

VALOR MEDIO (mg/kg lodo seco)							
	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Alcalá Este	1,5	31	204	1,1	25	158	948
Alcalá Oeste	1,8	53	331	1,3	63	106	1424
Ambite	1,1	30	220	0,66	27	67	588
Boadilla	2,5	25	360	1,3	18	51	682
Colmenarejo Oeste	1,4	24	231	0,44	20	57	357
El Chaparral	1,6	22	181	0,74	19	92	428
El Endrinal	1	15	112	0,29	12	50	478
Fresno - Ribatejada	2,7	113	613	0,49	55	108	1566
Galapagar-Torrelodones	1,3	19	135	0,22	26	34	422
Gascones	1,7	61	334	0,55	34	111	849
Guadalix	1,3	25	316	0,28	21	34	404
Guadarrama medio	1,2	18	391	0,42	18	30	650
Hoyo de Manzanares	1,8	24	355	1,1	23	190	610

Los Escoriales	1,1	28	13,7	0,39	12	75	314
Lozoyuela	1,3	53	203	0,28	24	120	328
Navalafuente	1,2	33	299	0,15	16	49	360
Picadas	0,92	30	181	0,18	17	67	374
Puentes Viejas	1,3	32	200	0,28	19	52	263
Santillana	1,4	21	187	0,35	17	67	480
Tres Cantos	1,2	31	179	0,3	22	26	470
Valdemorillo	1	27	240	0,31	24	60	488
Villa del Prado	1,1	26	253	0,35	27	53	499
Villanueva de la Cañada	0,97	17	328	0,83	22	26	488
Villaviciosa de Odón	1,5	213	277	0,51	79	47	623
Zarzalejo	0,73	31	138	0,3	15	86	381

Tabla 14: Contenido en ciertos metales pesados en los lodos tratados por la Planta de Compostaje de Villanueva de la Cañada

Fuente: Informes del Canal de Isabel II (2007)

4. Conclusiones y trabajos futuros

La gran variedad de residuos orgánicos conduce a la búsqueda de técnicas de valorización adecuadas para los mismos con el fin de aprovecharlos al máximo. Aunque ya se llevan a cabo trabajos sobre la aplicación agrícola y recuperación de suelos, la gran heterogeneidad de estos residuos y sus diversas alternativas de uso justifican la necesidad de su aprovechamiento. Estos trabajos son indudablemente necesarios para alcanzar un desarrollo sostenible con el medio ambiente.

La gran mayoría de residuos orgánicos son aprovechables, bien tal y como se obtienen o bien, tras ser sometidos a procesos de acondicionamiento y saneamiento.

La recogida de información sobre la generación, caracterización y comportamiento de los residuos es una tarea fundamental para que los tratamientos aplicados a los mismos resulten rentables desde el punto de vista ambiental y económico. La difusión de esta información es una acción necesaria para asentar una buena base para la concienciación ciudadana en materia de residuos.

La legislación vigente sustituye el concepto de “residuo” por el de “recurso aprovechable” para concienciar a la sociedad de la necesidad de alcanzar un RESIDUO CERO.

En vistas a los resultados discutidos en los puntos 2 y 3 del presente trabajo, se realizarán estudios en diferentes estaciones del año y para diferentes razones de mezcla de restos vegetales y lodos de depuración. A partir de los resultados obtenidos se podrá obtener una relación óptima entre los parámetros de control del proceso de fermentación en la fase de maduración en túnel.

Actualmente se está realizando una caracterización física, química y biológica de los lixiviados procedentes de la fase de fermentación en túnel de un proceso de compostaje. En trabajos futuros se discutirán los resultados obtenidos en dicha caracterización.

Glosario de Acrónimos

ARI – Aguas Residuales Industriales.
ARU – Aguas Residuales Urbanas.
BF - Biodegradable fraction.
BOE – Boletín Oficial de Estado.
BPIA – Banco Público de Indicadores Ambientales.
CC.AA. – Comunidades Autónomas.
CEDEX – Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.
CER – Catálogo Europeo de Residuos.
CIEMAT – Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
CM – Comunidad de Madrid.
DOCM – Diario Oficial de la Comunidad de Madrid.
DRAE – Diccionario de la Real Academia Española.
EDAR – Estación Depuradora de Aguas Residuales.
EUROSTAT – Oficina Estadística de la Unión Europea.
FORSU – Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos.
GEDESMA – Gestión y Desarrollo del Medio Ambiente en Madrid.
Habeq – Habitante Equivalente.
IMIDRA – Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y alimentario.
LC – Contenido en Lignina.
LD – Lodos de Depuración.
ld – Lodos Deshidratados.
LER – Lista Europea de Residuos.
MARM – Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
MMA – Ministerio de Medio Ambiente.

ms – Materia Seca.
MTD – Mejores Tecnologías Disponibles.
NINMBY – Not in My Back Yard.
PNRU – Plan Nacional de Residuos Urbanos.
PPC – Producción Per Cápita.
RNL – Registro Nacional de Lodos.
RSU – Residuos Sólidos Urbanos.
RU – Residuos Urbanos.
RV – Residuos vegetales o de jardín.
ST – Sólidos Totales.
SV – Sólidos volátiles.
UE – Unión Europea.
UE15 – 15 Países más desarrollados de la Unión Europea.
UE25 – 25 Países más desarrollados de la Unión Europea.

5. Bibliografía

- [1]. BUENO, MARIANO (2007). “Cómo hacer un buen compost”. Guía para agricultores ecológicos. Mariano Bueno
- [2] Banco Público de Indicadores Ambientales del Ministerio de Medio Ambiente (BPIA), (2007).
- [3] CAÑAS Y., CATALINA (1997). “Manual de alternativas de manejo de residuos sólidos domiciliarios. Tesis Doctoral, Facultad de Agronomía, Univ. Católica de Chile. Santiago de Chile.
- [4] Ambiente Ecológico – [soporte electrónico] Diccionario ecológico digital: www.peruecologico.com.
- [5] Corporación de Investigación Tecnológica de Chile: “Manual de Compostaje”, (sep. 1999)
- [6] DÍAZ ZALA, MARTÍN (2005): “Balance teórico de aguas para el compostaje en túneles” Artículo, Revista Residuos N° 82.
- [7] Estrategia de Residuos de la Comunidad de Madrid (2006 – 2016) [soporte electrónico] disponible en: <http://www.madrid.org>
- [8] Europa Press:, 17 de Junio 2006, Agencia de noticias privada de España. Accesible en <http://www.europapress.es>
- [9] Eurostat: Oficina estadística de la Unión Europea. Información accesible en <http://www.cdoce.uva.es>

- [10] GARCÍA, I. Y DONORROSO, C.: Dinámica de Metales Pesados en Suelos. En: Contaminación por Metales Pesados. Apuntes disponibles en: <http://edafologia.urg.es/conta/tema15/introd.htm>.
- [11] GEDESMA, S.A. Gestión y Desarrollo del Medio Ambiente en Madrid. Información disponible en: <http://www.gedesma.org>.
- [12] HUERTA, O., LÓPEZ, M., MOLINA, N.: “Planta de Co-compostaje de la fracción orgánica de RSU y restos vegetales”. Artículo, Revista Residuos Nº 102.
- [13] KIELY G (2003): “Ingeniería ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión”. Ed. MacGraw-Hill.
- [14] LABRADOR MORENO J. (1996): “La materia orgánica en los agrosistemas”. Ed. Mundi Prensa, S.A. Madrid.
- [15] LAGREGA, M.; BUCKINGHAM, P.L.; EVANS. J.C. (1998): “Gestión de Residuos Tóxicos. Tratamiento, Eliminación y Recuperación de Suelos. Ed. McGraw Hill.
- [16] LÓPEZ, RUBÉN; REYES LÓPEZ, ALFONSO Y ZÚÑIGA, M. R.: “Recuperación de un suelo contaminado con el uso de ácidos fúlvicos y girasol ornamental”. Artículo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.
- [17] Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía. Madrid + d. Accesible en: <http://www.madrimasd.org/citme/default.aspx>:
- [18] MARTÍN MORENO, CARMEN; GONZÁLEZ BECERRA, ALDO; BLANCO SANTOS M^ªJ.(2004): “Tratamientos biológicos de suelos contaminados. Aplicaciones de Hongos en tratamientos de biorrecuperación” Rev Iberoam Micol, 2004. CIEMAT y CIB-CSIC, Madrid.
- [19] METCALF & EDDY (2003): Inc.: “Wastewater Engineering”. Ed. Mc Graw Hill.
- [20] MORENO CASCO, JOAQUÍN (2008). “Compostaje”. Ed. Mundi Prensa Libros S.A.
- [21] NAVARRO PEDREÑO, MORAL HERRERO, GÓMEZ LUCAS, MATAIX BENEYTO (1995): “Residuos Orgánicos y agricultura”, Universidad de Alicante.
- [22] Perfil Ambiental de España 2006.
- [23] QUIMINET. Información sobre agricultura y fertilizantes. Disponible en www.quiminet.com
- [24] RODRÍGUEZ REINOSO, F.; MOLINA SABIO, M.; MORENO CASTILLA, C.; GONZÁLEZ PRADAS, E.; SOCÍAS VICIANA, MM.; UREÑA AMATA, M.D.; FERNÁNDEZ PÉREZ, M.; RODRÍGUEZ FUENTES, G.(2004): “ Absorbentes en la solución de algunos Problemas Ambientales” Ed. Cytel. Programa Cytel, Madrid.

[25] TCHOBANOGLIOUS G., THEISEN H., VIGIL SAMUEL A. (1994): “Gestión Integral de Residuos Sólidos”. Ed. Mc Graw Hill ISBN 84-481-1830-8.