



UNIVERSIDAD DE JAÉN

**FACULTAD DE CIENCIAS
EXPERIMENTALES
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
FÍSICA Y ANALÍTICA**

**TESIS DOCTORAL
VARIABILIDAD Y CARACTERIZACIÓN
TEMPORAL Y POSICIONAL DEL
COMPOSTAJE DE RESIDUOS MUNICIPALES**

**PRESENTADA POR:
JUAN RAMÓN JÓDAR QUESADA**

**DIRIGIDA POR:
DR. D. JOSÉ ANTONIO CARREIRA DE LA FUENTE
DRA. DÑA. NATIVIDAD RAMOS MARTOS
DRA. DÑA. ANTONIA FERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**

JAÉN, 7 DE SEPTIEMBRE DE 2017

ISBN 978-84-9159-332-4



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Dr. José Antonio Carreira de la Fuente, Profesor Titular de Ecología del Departamento de Biología Animal, Vegetal y Ecología de la Universidad de Jaén, Dra. Antonia Fernández Hernández, Directora del Departamento de Calidad y Gestión de Subproductos/Residuos de Ingeniería Agroalimentaria y Desarrollo Agrario, y Dra. Natividad Ramos Martos, Profesora Titular de Química Analítica del Departamento de Química Física y Analítica de la Universidad de Jaén.

Certifican:

Que el trabajo recogido en la presente memoria, titulada: "Variabilidad y caracterización temporal y posicional del compostaje de residuos municipales", presentada por D. Juan Ramón Jódar Quesada, ha sido realizado bajo nuestra dirección y autorizamos su presentación y defensa para optar al grado de Doctor por la Universidad de Jaén.

Fdo. Dr. José Antonio
Carreira de la Fuente.

Fdo. Dra. Antonia Fernández
Hernández.

Jaén, junio de 2017

Fdo. Dra. Natividad Ramos
Martos.

AGRADECIMIENTOS

A mis tutores, sin cuya ayuda esta Tesis no hubiese podido realizarse.

A Natividad Ramos Martos, que desde el primer momento hasta el final de este proyecto, ha creído en mí y me ha animado a seguir siempre adelante.

A Antonia Fernández Hernández, que ha sido una fuente de apoyo y confianza en todo el tiempo que ha durado la elaboración de esta Tesis.

A José Antonio Carreira de la Fuente, por su extrema paciencia, guía y buen hacer en todo momento.

El autor agradece el apoyo técnico y humano de los CICT de la Universidad de Jaén (UJA, MINECO, Junta de Andalucía, FEDER, IFAPA).

A mi familia, por soportar y apoyarme en los momentos buenos y malos.

RESUMEN

Hay un crecimiento importante de la generación de los residuos municipales/domésticos ocasionado por la industrialización y los avances tecnológicos en el desarrollo de nuestras actividades diarias. Estos residuos presentan una composición muy variable dependiendo del nivel y modo de vida, clima y época del año (estación); lo que produce una dificultad añadida sobre los protocolos y técnicas de gestión de estos residuos. En la actualidad el sistema de gestión con mayor grado de aceptación y aplicabilidad es la elaboración de un compost de residuos sólidos municipales, con previa separación de inertes.

Teniendo en cuenta estas cuestiones, la presente Tesis se centra, en su primera parte, en el estudio de la viabilidad de un proceso de compostaje de residuos sólidos municipales/domésticos. Para ello, se analizó la influencia estacional y posicional en el contenido de elementos minerales y/o nutricionales (desde el punto de vista de aplicación en agricultura) a lo largo del proceso de obtención del compost. Asimismo, se efectuó la caracterización físico-química (pH, conductividad, análisis semicuantitativo y cuantitativo de composición elemental...) y de calidad medio ambiental (polifenoles...) del compost elaborado, que nos permitirá, por un lado, su clasificación dentro de la normativa establecida a nivel nacional como compost clase A, B o C, y por otro, establecer según sus propiedades, su idoneidad para usos como enmienda orgánica tal y como queda establecido en la normativa correspondiente.

En su segunda parte, en esta Tesis se procede al estudio de la variabilidad espacio-temporal del quimismo y de la calidad ambiental de diferentes tipos de aguas, tanto dentro las instalaciones (balsas de decantación de lixiviados) como en su entorno (aguas subterráneas -piezómetros- y de escorrentía superficial-arroyo-). El análisis estadístico de dichos datos (propiedades distribucionales, patrones de variación temporal y entre posiciones de muestreo, análisis de la varianza y multivariante), permitirá establecer el grado de influencia de las instalaciones (efectos contaminantes e impactos) sobre las aguas del entorno adyacente. Asimismo, se determinó el grado en que factores endógenos (cantidad de entrada de RSU al proceso, prácticas de enmienda con lodos EDAR) y exógenos (variación intra- e inter-anual de las condiciones meteorológicas) explican las variaciones observadas en el quimismo de dichas aguas.

Para el desarrollo de esta Tesis y consecución de los objetivos planteados, se seleccionó una planta de tratamiento de residuos, eligiendo al azar tres pilas diferentes con evolución simultánea. Y para el estudio estacional y posicional del contenido de los parámetros físico-químicos analizados, se realizó diferentes tomas de muestras durante verano, invierno y primavera en tres puntos (izquierda, centro y derecha) de cada pila. Para la evaluación de la dinámica del quimismo de las aguas, y los factores que la influyen, , se estudiaron los registros analíticos del programa de vigilancia ambiental de la instalación correspondientes al periodo noviembre 2010-Noviembre 2014.

OBJETIVOS

En la presente Tesis Doctoral titulada, “Variabilidad y caracterización temporal y posicional del compostaje de residuos sólidos municipales”, se han planteado una serie de objetivos de carácter general y específicos, respectivamente, que se describen a continuación.

Objetivos generales:

- Comprender cuál es la problemática actual de los residuos en general y de los municipales (domésticos/urbanos) en particular, así como sus diferentes tipos técnicas de gestión.
- Conocer el proceso de compostaje de residuos sólidos domésticos/municipales para establecer los parámetros que influyen en la optimización del mismo.
- Estudiar la formación, composición, toxicidad y posible difusión al entorno de los lixiviados generados en una planta de compostaje de residuos sólidos municipales.
- Tener conocimiento de la normativa/legislación vigente tanto sobre los residuos sólidos municipales como lixiviados, en el ámbito nacional y europeo.

Objetivos específicos:

- Analizar la evolución y variabilidad de los parámetros que definen el proceso de compostaje de residuos sólidos domésticos/municipales, en función de las condiciones temporales y posicionales.
- Establecer el compostaje como técnica de valorización y gestión de los residuos sólidos domésticos/municipales.
- Caracterizar y clasificar las muestras de compost obtenidas en las distintas épocas estacionales evaluando su calidad para plantear posibles alternativas de gestión en líneas futuras de investigación.
- Realizar el análisis de muestras de lixiviados, generados en la planta, para estudiar la viabilidad de su uso en el proceso de compostaje y comprobar su impacto en el medio ambiente.

- Discutir los resultados obtenidos de la totalidad de los análisis a las muestras de compost de residuos sólidos domésticos/municipales y lixiviados generados en la planta de tratamiento de residuos, obteniendo sus correspondientes conclusiones.
- Evaluar posibles efectos de la actividad de compostaje sobre el quimismo de la hidrología del entorno, comparando analíticas de aguas muestreadas en el periodo Noviembre 2011-Noviembre 2014, en posiciones “aguas arriba” (lisímetros) y “aguas abajo” (lisímetros, arroyo de escorrentía) de la instalación, así como en las propias balsas de decantación de lixiviados de la misma.
- Analizar el efecto de factores endógenos (volumen de residuos tratados, adición de lodos EDAR durante el proceso de compostaje) y exógenos (climatología) sobre el quimismo de los tipos de aguas citados en el punto anterior.

INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN	4
OBJETIVOS	6
INDICE.....	8
CAPÍTULO I. EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE RESIDUO, ESTADÍSTICAS Y NORMATIVA.	26
1. INTRODUCCIÓN.....	26
1.1. Problemática de los residuos.	26
1.2. Normativas sobre la definición de residuo.	35
1.3. Clasificación de residuos.	37
1.4. Generación y Gestión de residuos.	51
2. RESIDUOS DOMÉSTICOS.....	69
2.1. Producción de residuos domésticos.....	69
2.2. Composición de los residuos domésticos.	105
2.3. Características de los residuos domésticos.....	113
2.4. Prevención de los residuos domésticos	127
2.5. Modelo de gestión para los residuos domésticos.....	132
2.6. Sistema de recogida de los residuos domésticos.....	136
2.6.1.Tipos de sistemas de recogida.	137
2.6.1.1.Contenedores de superficie y soterrados.	137
1. Contenedores de superficie.	137
2. Contenedores soterrados.....	137
2.6.1.2. Puerta a Puerta.	138
2.6.1.3. Neumática.	140
2.6.1.4. Puntos limpios.	141
1. Puntos limpios fijos.	142

2.	Minipuntos limpios o Puntos limpios de barrio.	142
3.	Puntos limpios móviles.....	142
4.	Puntos limpios colaboradores.....	143
5.	Recogidas específicas.	143
2.6.1.5.	Recogidas comerciales.	144
2.6.2.	Ventajas e inconvenientes.	146
2.7.	Sistema de tratamiento de los residuos domésticos.	149
2.7.1.	Introducción.	149
2.7.2.	Tipos de tratamiento de los residuos domésticos.	149
1.	Primer tipo de tratamiento (Madrid, F. (2012).	149
2.	Segundo tipo de tratamiento (Ley 22/2011).....	150
3.	Tercer tipo de tratamiento (MAPAMA).....	152
3.	PROCESO DE COMPOSTAJE	169
3.1.	Antecedentes, Definición y normativa.....	169
3.2.	Modelos de compostaje.....	170
3.3.	Etapas del proceso de compostaje.....	171
3.4.	Parámetros del proceso de compostaje	172
3.4.1	Parámetros operacionales.	172
3.4.2	Parámetros químicos.	174
3.4.3	Parámetros de madurez.....	175
3.4.3.1	Métodos físicos.	175
3.4.3.2	Métodos microbiológicos.....	176
3.4.3.3	Métodos químicos.....	176
3.5.	Clasificación y caracterización del compost.....	177
3.6.	Alternativas y gestión del compost.....	181
4.	ESTUDIO DE LIXIVIADOS	185
4.1	Formación y almacenamiento.....	185
4.2.	Composición, características, tipos de lixiviados.	189

4.3. Problemática de los lixiviados. Toxicidad y Enriquecimiento de la Eutrofía.....	193
4.4. Gestión sostenible de los lixiviados.....	195
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.	197
1. CONDICIONES DEL PROCEDIMIENTO DE COMPOSTAJE.....	197
1.1. Diseño de la planta de compostaje de RSU.....	197
1.2. Parámetros que se han medido durante el proceso de compostaje.	199
1.2.1. Temperatura.....	199
1.2.2. Humedad.....	200
1.2.4. pH y Conductividad Eléctrica.....	200
2. REACTIVOS, EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN.....	201
2.1. Análisis de compost.....	201
2.1.1. Reactivos.	201
2.1.2. Equipos e Instrumentación.	202
3. MUESTRAS.....	203
3.1. Compost	203
3.1.1 . Toma de muestras.....	203
3.1.2. Preparación de muestras: Secado, triturado y tamizado.....	204
3.2. Lixiviados.	204
3.2.1. Toma de muestras.....	204
3.3. Programa de vigilancia ambiental.....	204
3.3.1. Toma de muestras.....	205
4. METODOLOGÍA.....	206
4.1. Parámetros físicos.	206
4.1.1. Turbidez, coagulación y floculación.	206
4.2. Análisis Elemental.	207
4.2.1. Nitrógeno, carbono y sulfuros.....	207

4.2.2. Determinación de Fósforo (P) por Espectrofotometría UV-Vis	207
4.3. Análisis medioambiental.	208
4.3.1. Demanda química de oxígeno (DQO).....	208
4.3.2 Contenido de polifenoles totales.	208
4.4. Análisis químico cuantitativo de macro y microelementos	209
4.4.1. Condiciones experimentales	209
4.4.2. Parámetros analíticos.....	209
4.4.3. Procedimiento analítico	210
4.5. Procesamiento y análisis estadístico de la serie temporal el quimismo de aguas subterráneas, embalsadas y de escorrentía superficial	210
4.5.1 Agrupamiento de variables indicadoras.....	211
4.5.2. Variables independientes o fuentes de variación	213
4.5.3. Análisis gráfico y estadístico de los datos.	216
4.5.3.1. Análisis básico.	216
4.5.3.2. Tests del efecto de las distintas fuentes de variación...	216
4.5.3.3. Análisis multivariante.....	217
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	218
1. ESTUDIO DEL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	218
1.1. Evolución de los valores de temperatura y humedad en las pilas de compostaje.....	218
1.1.1. Temperatura.....	218
1.1.2. Humedad.	222
1.2. Caracterización físico-química: conductividad eléctrica, pH y relación C/N.....	224
1.2.1. Conductividad eléctrica (CE).	224
1.2.2. pH.	226
1.2.3. Relación C/N.....	227

2. ANALISIS QUÍMICO DE LA FORMACIÓN DEL COMPOST.....	230
2.1. Análisis elemental.	230
2.1.1. Nitrógeno (N).	230
2.1.2. Carbono (C)	232
2.1.3. Fósforo (P).	233
2.1.4. Sulfuros (S)	235
2.2. Análisis semi-cuantitativo y cuantitativo.	237
2.2.1. Semi-cuantitativo.	237
2.2.1.1. Hierro (Fe).	237
2.2.1.2. Manganeseo (Mn).	239
2.2.1.3. Cobre (Cu).	240
2.2.1.4. Zinc (Zn).	242
2.2.2. Cuantitativo	244
2.2.2.1. Potasio (K).	244
2.2.2.2. Sodio (Na).	246
2.2.2.3. Magnesio (Mg).	248
2.2.2.4. Calcio (Ca).	250
2.3. Análisis de la calidad medio ambiental.	252
2.3.1. Níquel (Ni).	252
2.3.2. Cromo (Cr).	253
2.3.3. Plomo (Pb).	255
3. CALIDAD DEL COMPOST FINAL (AFINO)	257
4. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LIXIVIADOS.....	259
5. VARIABILIDAD ESPACIO-TEMPORAL DEL QUIMISMO DE LOS TIPOS DE AGUAS MUESTREADAS CON EL PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL.	260
5.1. Atributos generales de las distribuciones estadísticas por tipos de aguas.	260
5.1.1. Indicadores generales.	260

5.1.2. Indicadoras de carga de nutrientes y eutrofia.	262
5.1.3. Otros iones y macro- y micro-nutrientes no biolimitantes..	264
5.1.4. Indicadores de contaminación y toxicidad por metales pesados.	266
5.1.5. Indicadores de contaminación y actividad redox de origen microbiano.	268
5.1.6. Otros indicadores de contaminación.	269
5.2. Variabilidad temporal estacional e inter-anual del quimismo de las aguas.	271
5.2.1. Dinámica temporal de las condiciones meteorológicas.....	271
5.2.2. Dinámica temporal de variables de control generales en los distintos tipos de aguas.....	274
5.2.3. Dinámica temporal de variables indicadoras de carga orgánica y estado redox en los distintos tipos de aguas.	276
5.2.4. Dinámica temporal de variables indicadoras de carga de nutrientes en los distintos tipos de aguas.....	279
5.2.5. Dinámica temporal de compuestos oxidados y reducidos de azufre en los distintos tipos de aguas.	280
5.2.6. Dinámica temporal de la concentración de metales pesados en los distintos tipos de aguas.	281
5.3. Análisis estadístico de la serie temporal del quimismo de las aguas.	283
5.3.1. Correlaciones entre variables.....	283
5.3.2. Efecto de distintas fuentes de variación sobre el quimismo de las aguas.	286
5.3.2.1. Efectos de factores exógenos (variabilidad climática estacional e inter-anual).	286
5.3.2.2. Efecto de factores endógenos (entradas de materiales a las pilas de compostaje)	287
5.3.3. Resumen de la información sobre el quimismo de las aguas. Análisis multivariante de ordenación.....	289

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES.....	294
CAPÍTULO V. BIBLIOGRAFÍA.....	296
Libros, tesis y artículos.	296
Normativa.....	310
Webgrafía.....	315
CAPÍTULO VI. APORTACIONES CIENTÍFICAS.	317
Comunicaciones a congresos	317
Artículos científicos	320
CAPÍTULO VII. ANEXOS.	334
ANEXO I: Catálogo Europeo de Residuos (CER). Año 2002.	334
ANEXO II. Datos de gestión y generación de residuos provinciales (2012-2014).	372
ANEXO III. OPERACIONES DE VALORIZACIÓN (ANEXO II DE LA LEY 22/2011).	383
ANEXO IV. OPERACIONES DE ELIMINACIÓN (ANEXO I DE LA LEY 22/2011).	384
ANEXO V. DATOS ANALÍTICOS.....	385

Índice de Tablas:

Nombre	Pág.
Tabla 1. Comparativa de producción de residuos municipales 1996-2013 en España en miles de Toneladas. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, Instituto Nacional de Estadística (2016). (Elaboración propia).	26
Tabla 2. Características que presenta un residuo peligroso. Fuente: Anexo III de la Ley 22/2011.	39
Tabla 3. Características de los residuos para su clasificación como “residuos peligrosos” (Reglamento (UE) Nº 1357/2014). Fuente: NTP 1054 del INSHT (2015).	45
Tabla 4. Generación de residuos por país de la Unión Europea y actividad en miles de toneladas (2012). Fuente: Eurostat (2015).	53
Tabla 5. Tratamiento de residuos en la UE, en miles de Toneladas y porcentaje (2012). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat (2015).	57
Tabla 6. Generación de residuos en España (2012)(en miles de Toneladas). Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).	59
Tabla 7. Gestión de los residuos en España, en miles de Toneladas (2012). Fuente: INE (2012)	60
Tabla 8. Generación de residuos por Comunidad Autónoma (CCAA), salvo lodos secos, en el año 2006 (miles de Toneladas).Fuente: INE (2007).	61
Tabla 9. Generación de residuos en la UE por actividad durante el año 2014 en miles de Toneladas y en porcentaje (%). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat (2017).	62
Tabla 10. Tratamiento de residuos en la UE durante el año 2014 en miles de Toneladas y porcentaje (%). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat (2017).	65
Tabla 11. Generación de residuos en España (2014)(miles de Toneladas). Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).	67
Tabla 12. Tratamiento de los residuos generados en España en 2014 (miles de Toneladas). Fuente: INE (2014).	68
Tabla 13. Generación de residuos municipales por país de la Unión Europea en miles de toneladas (1995-2014). Fuente: Eurostat (2017).	71
Tabla 14. Incremento de generación de residuos municipales entre 1995-2014 y 2012-2014. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat (2017).	75
Tabla 15. Tratamiento de residuos municipales en Europa, durante el periodo 1995-2015, en millones de Toneladas. Fuente: Eurostat (2017).	77

Tabla 16. Tratamiento de residuos municipales en miles de Toneladas (2012). Fuente: Eurostat (2017).	79
Tabla 17. Tratamiento de residuos municipales en miles de Toneladas (2014). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostats (2017).	81
Tabla 18. Tratamiento de residuos municipales en miles de Toneladas (2006-2014) (Landfill/Deposital). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostats (2017).	83
Tabla 19. Tratamiento de residuos municipales en miles de Toneladas (2006-2014) (Total incineration (including energy r.)). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostats (2017).	85
Tabla 20. Tratamiento de residuos municipales en miles de Toneladas (2006-2014) (Material recycling). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostats (2017).	87
Tabla 21. Tratamiento de residuos municipales en miles de Toneladas (2006-2014) (Composting and digestion). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostats (2017).	89
Tabla 22. Cantidad y composición de residuos municipales en Toneladas/año (2012). Fuente: MAGRAMA e INE (2014).	91
Tabla 23. Recogida de residuos urbanos de forma separada en miles de Toneladas (2012).Fuente: INE (2014).	92
Tabla 24. Generación de residuos municipales (miles de Toneladas) y censo de población (habitantes) por CCAA en el año 2012. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE.	94
Tabla 25. Composición de los residuos recogidos por CCAA, en miles de Toneladas (2012).Fuente: INE (2014).	96
Tabla 26. Gestión y Generación de residuos municipales por municipio de Jaén en miles de Toneladas (2012). Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Red de Información Ambiental de Andalucía, 2014.	373
Tabla 27. Tratamiento de residuos municipales en España, en miles de Toneladas (2012).Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del INE.	97
Tabla 28. Tratamiento de residuos municipales en Andalucía en miles de toneladas (2012).Fuente: Junta de Andalucía (Conserjería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, publicación "Datos básicos 2014").	98
Tabla 29. Cantidad y composición de residuos municipales en Toneladas/año (2014). Fuente: MAGRAMA e INE (2016).	99
Tabla 30. Recogida de residuos urbanos de forma separada en miles de Toneladas (2014). Fuente: INE (2016).	100
Tabla 31. Composición de los residuos recogidos por CCAA, en miles de Toneladas (2014). Fuente: INE (2016).	103

Tabla 32. Gestión y Generación de residuos municipales por municipio de Jaén en miles de Toneladas (2014). Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Red de Información Ambiental de Andalucía, 2016.	377
Tabla 33. Tratamiento de residuos municipales en España, en miles de Toneladas (2014). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del INE.	104
Tabla 34. Tratamiento de residuos municipales en Andalucía en miles de toneladas (2014). Fuente: Junta de Andalucía (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, publicación "IMA 2015").	104
Tabla 35: Diferenciación entre Fracción Vegetal y Poda. Fuente: Estudio de mejora de la gestión de la fracción vegetal en Cataluña (2006).	107
Tabla 36. Características de los biorresiduos, según su gestión. Fuente: MAPAMA (2013) y Grima, A. et al. (2013).	114
Tabla 37: Sistema de numeración y abreviaturas para los envases. Fuente: Real Decreto 782/1998.	120
Tabla 38: Modelos de separación de residuos de competencia municipal implantados en España. Fuente: MAPAMA (2017).	134
Tabla 39. Sistemas de tratamiento según fracciones. Fuente: MAPAMA (2013).	136
Tabla 40. Tipos de contenedores de superficie y características. Fuente: MAPAMA (2017).	139
Tabla 41. Tipos de recogidas específicas. Fuente: MAPAMA (2017).	143
Tabla 42: Características de los modelos de recogida comercial. Fuente: MAPAMA (2017).	145
Tabla 43. Ventajas e inconvenientes por sistema de recogida. Fuente: MAPAMA (2017).	148
Tabla 44. Comparativa de las distintas etapas en que se desarrollan los dos tratamientos biológicos. Fuente: Soliva, M (2011). Guía para la recogida separada y gestión de la fracción orgánica. MAPAMA (2013).	159
Tabla 45. Biodegradabilidad de los principales componentes orgánicos de los sustratos. Fuente: Haug, R. (1993).	172
Tabla 46: Métodos para comprobar la maduración del compost. Fuente: Madrid, F. (2012).	175
Tabla 47: Límites de concentración por clase de compost. Fuente: Real Decreto 506/2013, de 28 de junio.	179
Tabla 48. Parámetros utilizados para valorar la calidad del compost. Fuente: Soliva, M (2004).	181

Tabla 49.- Composición de un lixiviado de vertedero y su variación con el tiempo. Fuente: Tchobanoglous, G. et al.(1996).	192
Tabla 50: Composición del lixiviado según su edad. Fuente: Renou, S. et al. (2008).	192
Tabla 51. Comparación de las características de lixiviados de procedencia urbana. Fuente: Reyes, M. (2015).	193
Tabla 52. Relación de reactivos utilizados.	201
Tabla 53. Relación de equipos e instrumentación utilizados en el análisis del compostaje.	202
Tabla 54. Condiciones de operación.	209
Tabla 55. Parámetros analíticos.	210
Tabla 56. Parámetros medidos, y métodos empleados para ello, en las muestras de agua del programa de vigilancia ambiental de la hidrología de la instalación y su entorno.	211
Tabla 57. Cantidad de residuos sólidos domésticos de ámbito municipal que entran a la planta de tratamiento en los años 2010 a 2014, en toneladas.	214
Tabla 58. Cantidad y porcentaje de recuperación de elementos metálicos (férricos) con respecto a la cantidad total de residuos sólidos domésticos de ámbito municipal en el periodo 2010 a 2014, en toneladas.	214
Tabla 59. Cantidad de residuos entrantes en el proceso de compostaje, registrados de forma mensual durante los años del estudio.	214
Tabla 60. Cantidad de lodos procedentes de EDAR (en toneladas) añadidos a las pilas de forma mensual durante el periodo estudiado.	215
Tabla 61. Relación C/P y N/P durante el proceso de evolución del compostaje por estación.	234
Tabla 62. Relación C/P y N/P durante el proceso de evolución del compostaje por posición de muestreo.	235
Tabla 63. Composición media del afino.	257
Tabla 64. Composición del lixiviado medio estudiado.	259
Tabla 65. Evolución temporal de la relación DBO ₅ /DQO en los distintos tipos de agua.	279
Tabla 66. Correlaciones múltiples (índice de Spearman) entre las variables incluidas en el programa de vigilancia ambiental del quimismo de los lixiviados embalsados en la instalación y de las aguas subterráneas y superficiales de su entorno.	286

Tabla 67. Resultados del ANOVA para el test de efectos del “tipo de agua” y la “estación del año” sobre el quimismo de las aguas monitorizadas con el programa de vigilancia ambiental.	287
Tabla 68. Resultados del ANOVA para el test de efectos del “tipo de agua” y la “anualidad” sobre el quimismo de las aguas (ver leyenda de la Tabla anterior para más detalles).	288
Tabla 69. Resultados del análisis de regresión entre el quimismo de las aguas y las entradas de residuos sólidos urbanos y de lodos EDAR al proceso de compostaje.	289
Tabla 70. Valores propios y % de varianza explicada por los Componentes Principales (CPI) resultantes del análisis multivariante ACP aplicado sobre los datos de quimismo de las aguas.	290
Tabla 71. Coordenadas de los parámetros analíticos considerados sobre los tres primeros Componentes Principales.	292
Tabla 72. Resultados analíticos de lixiviados analizados en el laboratorio.	386
Tabla 73. Resultados analíticos de las muestras de compost.	387

Índice de Figuras:

Nombre	Pág.
Figura 1. Evolución poblacional (línea con círculos) y de generación de residuos urbanos (línea de triángulos) entre 1996-2003. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Ministerio de Medio Ambiente, Instituto Nacional de Estadística (2016).	27
Figura 2. Restos de la cloaca de Caesar Augusta (Zaragoza). Fuente: TripAdvisor (2017).	29
Figura 3. Acumulación de residuos actuales. Fuente: http://tierrabaldia.com.mx/noticia/734/disposicion-final-de-residuos-solidos-en-rellenos-sanitarios/ (2017).	30
Figura 4. Corrimiento de tierras en Bens (la Coruña)(1996). Fuente: La voz de Galicia (1996).	32
Figura 5. Incendio de neumáticos en Seseña (Castilla-La Mancha)(2016). Fuente: ABC (2016).	32
Figura 6. Generación de residuos por actividades económicas y hogares, EU-28, 2012. Fuente: Eurostat (2015).	55
Figura 7. Generación de residuos domésticos en la UE per capita y país en kg/habitante (2012). Fuente: Eurostat (2015).	56
Figura 8. Residuos urbanos/municipales recogidos en España en millones de Toneladas en el periodo 2009-2012. Fuente: INE (2014).	91
Figura 9. Recogida de residuos urbanos por comunidad autónoma en miles de toneladas (2012). Fuente: INE (2014).	93
Figura 10. Recogida de residuos por comunidad autónoma en kg/habitante (2012). Fuente: INE (2014).	95
Figura 11. Residuos urbanos/municipales recogidos en España en millones de Toneladas en el periodo 2010-2014. Fuente: INE (2016).	98
Figura 12. Recogida de residuos urbanos por comunidad autónoma en miles de toneladas (2014).Fuente: INE (2016).	101
Figura 13. Recogida de residuos por comunidad autónoma en kg/habitante (2014). Fuente: INE (2016).	102
Figura 14. Clasificación de los biorresiduos domésticos en función de su gestión. Fuente: Mapama (2013).	107
Figura 15. Tipos de prevención de residuos. Fuente: MAPAMA (2017).	128
Figura 16. Actividades de prevención en las etapas del ciclo producto-residuo. Fuente: MAPAMA y BCNecología (2012).	130
	20

Figura 17. Sistemas de recogida de residuos. Fuente: MAPAMA (2017).	136
Figura 18. Etapas del compostaje de la fracción orgánica de residuos municipales recogidos separadamente. Fuente: Huerta, O. et al, 2010b. Guía para la recogida separada y gestión de la fracción orgánica.	155
Figura 19. Diagrama de proceso de la planta de biometanización. Fuente: Ecoembes (2017).	158
Figura 20: Clasificación y uso del compost. Fuente: Soliva, M. (2004).	180
Figura 21. Esquema del balance hídrico. Fuente: www.Monografías.Com	187
Figura 22. Depósito de Seguridad. Fuente: Desarrollo técnico del Real Decreto 1481/2001.	189
Figura 23. Plataforma de recepción de residuos.	197
Figura 24. Cinta transportadora que guía a los residuos, una vez extraída la fracción férrica, hacia la planta de compostaje.	198
Figura 25. Disposición de las pilas en la planta de tratamiento.	199
Figura 26. Balsa de lixiviados "vieja".	199
Figura 27. Balsa de lixiviados "nueva".	199
Figura 28. Riego de pilas con agua de lixiviado.	200
Figura 29. Bolsa de muestra etiquetada y contenido.	203
Figura 30. Muestras trituradas y tamizadas.	204
Figura 31. Evolución de la temperatura, en grados Celsius (°C), registrada en el interior de la pila 1, según la posición relativa espacial de la toma de muestra en la pila y su progreso temporal durante el proceso de compostaje.	219
Figura 32. Evolución de la temperatura, en grados Celsius (°C), registrada en el interior de la pila 2, según la posición relativa espacial de la toma de muestra en la pila y su progreso temporal durante el proceso de compostaje.	220
Figura 33. Evolución de la temperatura, en grados Celsius (°C), registrada en el interior de la pila 3, según la posición relativa espacial de la toma de muestra en la pila y su progreso temporal durante el proceso de compostaje.	221
Figura 34. Evolución de la humedad, en porcentaje (%), registrada en el interior de la pila 1, según la posición relativa espacial de la toma de muestra en la pila y su progreso temporal durante el proceso de compostaje.	222
Figura 35. Evolución de la humedad, en porcentaje (%), registrada en el interior de la pila 2, según la posición relativa espacial de la toma de muestra en la pila y su progreso temporal durante el proceso de compostaje.	223

Figura 36. Evolución de la humedad, en porcentaje (%), registrada en el interior de la pila 2, según la posición relativa espacial de la toma de muestra en la pila y su progreso temporal durante el proceso de compostaje.	223
Figura 37. Evolución de la conductividad eléctrica en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.	224
Figura 38. Conductividad eléctrica según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.	225
Figura 39. Evolución del pH en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.	226
Figura 40. pH según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.	227
Figura 41. Evolución de la relación C/N en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.	228
Figura 42. Muestra de residuos recogida durante la época 1.	229
Figura 43. Relación C/N según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.	229
Figura 44. Evolución del porcentaje de N en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.	230
Figura 45. Porcentaje de N según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.	231
Figura 46. Evolución del porcentaje de C en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.	232
Figura 47. Porcentaje de C según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.	233
Figura 48. Evolución del contenido de P en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.	233
Figura 49. Contenido de P según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.	234
Figura 50. Evolución del contenido de S en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.	235

Figura 51. Contenido de S según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.	236
Figura 52. Evolución del contenido de Fe en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.	237
Figura 53. Contenido de Fe según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.	238
Figura 54. Evolución del contenido de Mn en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.	239
Figura 55. Contenido de manganeso según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.	240
Figura 56. Evolución del contenido de Cu en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.	240
Figura 57. Contenido de cobre según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.	241
Figura 58. Evolución del contenido de Zn en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.	242
Figura 59. Contenido de Zn según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.	243
Figura 60. Evolución del contenido de K en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.	244
Figura 61. Contenido de K según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.	245
Figura 62. Evolución del contenido de Na en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.	246
Figura 63. Contenido de Na según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.	247
Figura 64. Evolución del contenido de Mg en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.	248
Figura 65. Contenido de Mg según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.	249

Figura 66. Evolución del contenido de calcio en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.	250
Figura 67. Contenido de Ca según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.	251
Figura 68. Evolución del contenido de níquel en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.	252
Figura 69. Contenido de níquel según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.	253
Figura 70. Evolución del contenido de Cr en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.	253
Figura 71. Contenido de Cr según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.	254
Figura 72. Evolución del contenido de Pb en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.	255
Figura 73. Contenido de Pb según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.	256
Figura 74. Atributos de las distribuciones estadísticas de los valores de temperatura, sólidos en suspensión, pH y conductividad eléctricas en los distintos tipos de aguas. Para el caso de las aguas subterráneas se muestra también el caso de los niveles piezométricos.	261
Figura 75. Atributos de las distribuciones estadísticas de los valores de concentración de carbono orgánico total-COT, nitrógeno-Kjeldahl, amonio, nitratos, nitritos y fósforo total en los distintos tipos de aguas.	264
Figura 76. Atributos de las distribuciones estadísticas de los valores de concentración de sulfatos y sulfuros, cloruros y fluoruros, e hierro en los distintos tipos de aguas.	266
Figura 77. Atributos de las distribuciones estadísticas de los valores de concentración de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc en los distintos tipos de aguas consideradas.	268
Figura 78. Atributos de las distribuciones estadísticas de los valores correspondientes a los parámetros coliformes fecales y totales, y demandas biológica y química de oxígeno, en los distintos tipos de aguas consideradas.	269
Figura 79. Atributos de las distribuciones estadísticas de los valores correspondientes a los parámetros coliformes fecales y totales, y demandas biológica y química de oxígeno, en los distintos tipos de aguas consideradas.	271

Figura 80. Evolución de la Temperatura a lo largo del periodo noviembre 2010-noviembre 2014 (promedios mensuales calculados a partir de valores diarios; se muestra la media $\pm$ desviación estándar).	272
Figura 81. Evolución de las precipitaciones a lo largo del periodo noviembre 2010-noviembre 2014 (cifras calculadas a partir de valores diarios; en su caso, se muestra la media $\pm$ desviación estándar).	273
Figura 82. Evolución de la Humedad a lo largo del periodo noviembre 2010-noviembre 2014 (cifras calculadas a partir de valores diarios; se muestran las media $\pm$ desviaciones estándar).	274
Figura 83. Evolución de la Radiación a lo largo del periodo noviembre 2010-noviembre 2014.	274
Figura 84. Evolución temporal en los distintos tipos de aguas de los parámetros pH, conductividad eléctrica y sólidos en suspensión, a lo largo del periodo noviembre 2010-nov. 2014. Se muestran, en su caso, los valores medios $\pm$ desviación estándar.	276
Figura 85. Evolución temporal en los distintos tipos de aguas de los parámetros concentración de carbono orgánico disuelto-COT, demanda biológica de oxígeno-DBO ₅ y demanda química de oxígeno-DQO, a lo largo del periodo noviembre 2010-noviembre 2014.	278
Figura 86. Evolución temporal en los distintos tipos de aguas de las concentraciones de nitrógeno- Kjeldahl, amonio, nitrato y fósforo, a lo largo del periodo noviembre 2010-noviembre 2014.	280
Figura 87. Evolución temporal en los distintos tipos de aguas de las concentraciones de sulfatos y sulfuros, a lo largo del periodo noviembre 2010-noviembre 2014.	282
Figura 88. Evolución temporal en los distintos tipos de aguas de las concentraciones de arsénico, cromo y níquel, a lo largo del periodo noviembre 2010-noviembre 2014.	283
Figura 89. Proyección de los parámetros analíticos considerados sobre los Componentes Principales CP1, CP2 y CP2.	291
Figura 90. Proyección de los distintos tipos de aguas (A), y de las diferentes estaciones del año para los casos de las aguas subterráneas (B), las balsas de lixiviados (C) y el arroyo (D), sobre el espacio definido por los Componentes Principales CP1 y CP2.	293

CAPÍTULO I. EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE RESIDUO, ESTADÍSTICAS Y NORMATIVA.

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Problemática de los residuos.

Según Rodríguez, R. et al. (2013), cada día, se produce una gran cantidad de residuos derivados de las actividades económicas y domésticas que, de no ser tratados, pueden suponer un gran problema ambiental, derivando en otros problemas como pueden ser la contaminación, problemas de salud, alteración de los ciclos naturales, etc. Si se comprueba esta afirmación con datos, se puede observar en la Tabla 1, como en el periodo 1996-2013, los residuos de carácter urbano o doméstico experimentan fluctuaciones en esos años. Para ayudar a una mayor comprensión de este flujo de variaciones, sea adjunta también la Figura 1, elaborada a partir de los datos de la Tabla 1.

Tabla 1. Comparativa de producción de residuos municipales 1996-2013 en España en miles de Toneladas. *Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, Instituto Nacional de Estadística (2016). (Elaboración propia).*

AÑO	RESIDUOS URBANOS GENERADOS	POBLACIÓN
1996	15.307	39.433.942
1997	-	-
1998	17.418	39.669.394
1999	18.376	39.669.394
2000	18.925	40.202.160
2001	19.124	40.847.371
2002	20.465	41.837.894
2003	21.444	42.717.064
2004	-	43.197.684
2005	-	44.108.530
2006	-	44.708.964
2007	23.562	45.200.737
2008	24.049	46.157.822
2009	23.575	46.745.807
2010	22.671	47.021.031
2011	21.934	47.190.493
2012	21.170	47.265.321
2013	20.399	47.129.783

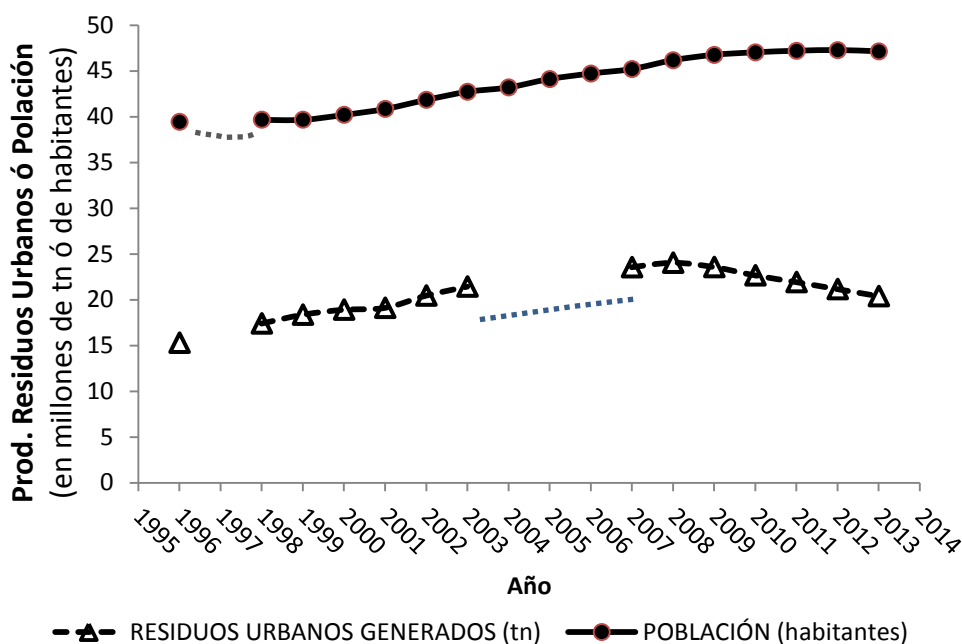


Figura 1. Evolución poblacional (línea con círculos) y de generación de residuos urbanos (línea de triángulos) entre 1996-2013. Fuente: *Elaboración propia a partir de los datos del Ministerio de Medio Ambiente, Instituto Nacional de Estadística (2016).*

Se puede comprobar que hay una tendencia a la generación de residuos desde 1996 hasta 2003. En el periodo de 2004 a 2006, de los cuales no se dispone de datos, se puede asumir que hay también un aumento observando el dato correspondiente a 2007 y 2008. Sin embargo, desde el año 2009 hay una tendencia hacia la reducción de la cantidad de los mismos.

Por tanto, se puede deducir que en el intervalo de estudio, hasta el año 2008, hay una clara tendencia a la generación de residuos urbanos, que a partir del año 2009 comienza una bajada paulatina.

Sin embargo, ¿cómo ha sido la tendencia a lo largo de la historia?

Consultando el trabajo de Alcaide, A. (2012), se puede constatar que a media que la población humana iba creciendo y mejorando su nivel de vida, principalmente debido a la innovación y a la tecnología, la producción de residuos también aumentaba y se diversificaba su naturaleza.

Así mismo, para Comando, A. (2006), Ferreiro, A. et al. (1991) y Hernández, M.A. (1991), la posibilidad de satisfacer en la época actual cualquier necesidad (real o no) de la población, unido al aumento y concentración de la población mundial en entornos urbanos, ha provocado el crecimiento espectacular de la producción de residuos.

Esto se debe a que cualquier actividad que se realice, siempre va a generar algún tipo de residuo. Atendiendo a esto, los residuos pueden encontrarse en los tres estados físicos de la materia: gas, líquido y sólido. Un residuo gaseoso se produce, por ejemplo, en la combustión de la gasolina de un motor o los gases de metano desprendidos durante el proceso de compostación. Un caso de residuo líquido, serían los lixiviados que se producen durante la putrefacción de la materia orgánica durante su transformación en compost. Por último, un ejemplo de residuo sólido son los generados en el ámbito del hogar: restos orgánicos como los mencionados anteriormente en el lixiviado; plásticos y tetra bricks; etc.

Además, como es lógico pensar, la naturaleza de los residuos no es la misma, variando por tanto su composición según del ambiente del que proceda: agricultura, urbano, forestal, etc., cada uno de estos ambientes producen unos tipos concretos de residuos, más ricos en materia orgánica o inorgánica, con plásticos, metales pesados, etc.

Por otro lado, la complejidad a la hora de tratar los residuos también ha ido en aumento a lo largo de la historia. Citando de nuevo a Alcaide, A. (2012), durante el Paleolítico y siglos posteriores, el hombre estaba en armonía con la naturaleza, consumía los recursos naturales, sí, pero los residuos que generaban eran de naturaleza orgánica, asumibles por el medio ambiente e integrables en el ciclo de la naturaleza. Así mismo, los primeros seres humanos no establecían ningún núcleo poblacional grande, por lo que la dispersión de estos residuos era bastante amplia. Sin embargo, el aumento paulatino de la población y su cohesión en núcleos urbanos estables provocó, que el ser humano se volviera sedentario, además de concentrar los residuos que generaban, dificultando su gestión y trato. Ejemplos históricos de estos hechos son: una cloaca de saneamiento de las aguas residuales de la ciudad de Caesar Augusta (Zaragoza) del siglo I a.C. (mostrada en la Figura 2); y el vertedero de Iruña de Oca (Álava), de los siglos I al V d.C.



Figura 2. Restos de la cloaca de Caesar Augusta (Zaragoza).

Fuente: TripAdvisor (2017).

Durante la época medieval, las continuas guerras en busca de nuevos territorios y recursos dieron origen a que esta primera centralización de los residuos, se desintegrara. Los residuos fueron arrojados de forma indiscriminada en calles, caminos y terrenos vacíos, originando una situación grave de insalubridad que provocó la proliferación de enfermedades y epidemias. Estas últimas fueron las causantes del fallecimiento de la mitad de la población europea en el siglo XIV.

Esta situación, como es evidente, no podía perdurar. Centrándonos en España, durante el siglo XVIII, Carlos III creó las redes de alcantarillados y los servicios de limpieza municipal, que permitieron el saneamiento del país. Durante el mismo siglo, llegó a España la época de la industrialización, produciendo que el nivel de generación de residuos comienza a tener un aumento exponencial, así como la creación de nuevos productos que derivaban en nuevos tipos de residuos.

Un ejemplo del nuevo tipo de residuos que son los obtenidos tras el uso del petróleo y el carbón en los procesos industriales son los gases de combustión. Además de ser el causante de diferentes enfermedades, como el cólera o el tifus, dio una nueva dimensión a la problemática de los residuos, al tener que controlar ahora residuos de naturaleza gaseosa. Así mismo, la concentración de la población aumentaba, lo que se tradujo en que los sistemas de alcantarillado se vieran colapsados en algunos momentos.

Esta situación hizo que durante el siglo XIX, las medidas de control de la salud pública fuera de consideración vital para los funcionarios públicos, quienes comprendieron que los residuos debían ser controlados para evitar la proliferación de plagas (como las moscas y roedores) y las enfermedades. Por ello, establecieron diferentes normativas y ordenanzas para gestionar y paliar este problema.

A partir del siglo XX, la época de la industrialización finaliza, dando origen la época del consumismo, a la cultura del usar y tirar. Durante este periodo, en el cual nos encontramos actualmente, los avances tecnológicos han producido diferentes tipos de residuos, pero el residuo que mayor problemática ha causado es el plástico. Este material sintético, no es degradable a corto espacio de tiempo, por lo que tiende a acumularse en los vertederos, siendo el primer problema grave de contaminación de suelos del mundo. Un ejemplo visual de esta situación, se muestra en la Figura 3.



Figura 3: Acumulación de residuos actuales.

Fuente: <http://tierrabaldia.com.mx/noticia/734/disposicion-final-de-residuos-solidos-en-rellenos-sanitarios/> (2017)

La problemática de los residuos ha sido tratada por Madrid, F. (2012), Baldasano, J.M. (1992) y Alcántara, A.F. (1993), tal como se describe a continuación, los cuales distinguen distintos aspectos:

- Eliminación de residuos: Esta época correspondería a las primeras fases de la industrialización. El volumen de producción creció de forma exponencial en muy pocos años, pero eso también aumentó de la misma forma el volumen de residuos. Como solución a este problema, se tomó la decisión de alejar dichos residuos de las zonas pobladas. En algunas ocasiones, se optó por enterrarlos, pero el continuo aumento en la generación de residuos hizo que esta operación se volviera inviable (era muy costosa). Por lo que eran necesarias vías alternativas.
- Protección del medio ambiente: La acumulación de residuos conlleva, con el paso del tiempo, la contaminación del medio donde se encuentren. Esta contaminación afecta tanto al aire, suelo y agua. La contaminación aérea se refiere a la emisión a la atmósfera de diversos componentes volátiles, como pueden ser el metano, dióxido de carbono, etc., que provoca los malos olores y un aumento de la temperatura de la zona de acumulación.

Con respecto a la contaminación del agua, nos referimos principalmente a la generación de lixiviados. Es conveniente saber que es el líquido resultante de la percolación del agua a través de los residuos. El agua mencionada llega a la pila de residuos a través de la lluvia y nevadas. Este líquido arrastra componentes de todos los residuos con los que entra en contacto, por lo que su composición es altamente heterogénea y contaminante. Estos lixiviados pueden filtrarse en el suelo y provocar su contaminación, al igual que a las aguas subterráneas a las que lleguen. Teniendo en cuenta que estas aguas subterráneas contaminadas pueden llegar a un acuífero destinado a consumo humano, y ser absorbidas por plantaciones o ingeridas por animales cuando salgan a la superficie, por tanto es un foco de contaminación muy importante que ha de ser controlado.

Por estas razones, los lugares destinados a ser vertederos deben cumplir ciertas condiciones de impermeabilizado y sellado para evitar estas situaciones, reflejado en el Real Decreto 1481/2001. Dentro de este Real Decreto se contempla situaciones de protección del entorno del vertedero, con vistas a lograr que la posible contaminación por parte del vertedero sea nula. Como ejemplo de una situación de contaminación ambiental, se puede citar la del corrimiento de tierras en el vertedero de Bens, en La Coruña el 10 de septiembre de 1996 (Figura 4). Con el corrimiento de tierras, se provocó que todos los residuos que se almacenaban

allí quedaran esparcidos por diversas zonas públicas, generando contaminación al medio circundante.



Figura 4: Corrimiento de tierras en Bens (la Coruña) (1996).

Fuente: La voz de Galicia (1996).

Un caso más reciente es el incendio de un vertedero ilegal de neumáticos en Seseña (Castilla-La Mancha) (Figura 5). El 21 de Mayo de 2016, una densa nube negra compuesta por hidrocarburos aromáticos policíclicos, de probados efectos cancerígenos, se dirigía desde Seseña hacia la ciudad residencial de El Quijón.



Figura 5: Incendio de neumáticos en Seseña (Castilla-La Mancha) (2016). *Fuente: ABC (2016).*

- Despilfarro de recursos: Con motivo de diversos problemas de ámbito medio ambiental, se convocó un evento mundial, denominada “Cumbre de la Tierra” celebrada en Estocolmo (Suecia) durante el periodo del 5 al 16 de junio de 1972. Dicha cumbre tuvo

un impacto real en las políticas medioambientales de la Comunidad Europea.

Tiempo después, se celebró en 1992 en Rio de Janeiro (Brasil), una segunda cumbre, donde representantes de diversos países y organizaciones se reunieron para establecer un programa de acción medioambiental, llamado Programa 21" o "Agenda 21" (dependiendo del país que lo nombrase). Dicho programa establecía medidas relacionados con temas como la salud, la vivienda, la contaminación del aire, la gestión de los mares, bosques y montañas, la desertificación, la gestión de los recursos hídricos y el saneamiento, la gestión de la agricultura, la gestión de residuos.

La frase que definió esta cumbre fue el concepto de Desarrollo Sostenible: *"satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones del futuro para atender sus propias necesidades"*.

Dicho concepto fue acuñado en el "Informe Brundtland" en 1987 (Harlem, G. (1987)) para la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, aunque durante la Cumbre de la Tierra de Rio de Janeiro (1992) se estableció como una de las bases del Programa 21. Así mismo, se presentó una versión actualizada de "los límites del crecimiento" de Meadows, D.H. et al. (1972), un informe encargado al Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) por el Club de Roma, una asociación privada compuesta por empresarios, científicos y políticos en el cual se concluía que si *"el actual incremento de la población mundial, la industrialización, la contaminación, la producción de alimentos y la explotación de los recursos naturales se mantiene sin variación, alcanzará los límites absolutos de crecimiento en la Tierra durante los próximos cien años"*.

También se llegó a dicha conclusión a través de la simulación del crecimiento de la población, el crecimiento económico y el incremento de la huella ecológica durante 100 años, utilizando el programa World3. En la versión actualizada de 1992, denominada "Más allá de los límites del crecimiento", elaborada por los mismos autores que la edición de 1972, se especificaba lo siguiente:

- a) Los recursos naturales se están agotando.

b) La vulnerabilidad del sistema económico actual
(basado en tener como abastecedor de materias
primas a determinados países subdesarrollados).

En definitiva, este informe indicaba que la humanidad ya había superado la capacidad de carga del planeta, entendiéndose como capacidad de carga *"la población máxima que un ambiente puede soportar en un tiempo determinado"*.

Dicho informe ha sido actualizado dos veces, la primera, el 1 de junio de 2004, denominado "Los límites del crecimiento: 30 años después", por la editorial Galaxia Gutenberg en España; y en 2012, llamado "Los límites del crecimiento", siendo siempre los mismos autores que en 1972 (Meadows, D.H. et al. (2004 y 2012).

Por tanto, el informe emitido en 1992 vino a reforzar la idea que no se puede sólo eliminar los residuos mediante incineración o depositándolos de forma indefinida en algún lugar, ambas opciones generan contaminación al ambiente, por lo que se requiere una gestión adecuada del problema y administrar las soluciones pertinentes, como es el de la reutilización y/o reciclado de los residuos, la valorización energética de los mismos o su uso como materia prima para elaborar compostaje. Dichas medidas no tienen que ser económicamente rentables, sino que hay que evaluar, sobre todas las cosas, la vertiente social que tienen estas medidas: la protección del medio ambiente y conservación de los recursos naturales para las generaciones futuras como defiende Novo, M. (2006).

Tomando en cuenta el informe "Más allá de los límites del crecimiento" (Meadows, D.H. et al. (1992)), Paul Crutzen, premio Nobel de Química en 1995, definió la época actual como una nueva etapa geológica denominada antropoceno, debido al impacto que está provocando el ser humano en el medio ambiente. Así mismo, Folke, C. (2013) denomina esta época como "la Gran Aceleración Humana de la Actividad Humana", especialmente a partir de 1950.

Por lo expuesto anteriormente, el problema de los residuos tiene dos vertientes: el volumen de los mismos y su composición.

Según Madrid, F. (2012), la producción de residuos depende de los siguientes factores:

- Nivel de vida: un nivel de vida elevado está asociado a una mayor generación de residuos.
- Modo de vida: hay una mayor productividad de residuos en los núcleos urbanos de población con respecto al entorno rural. Así mismo, depende de la actividad que se realice en la zona a considerar, puesto que no es lo mismo el volumen y composición de los residuos de una zona con fuerte presencia industrial que otra zona donde predomine el sector servicios.
- Clima: en zonas más frías, se detectan una mayor presencia de cenizas en los residuos, provocado fundamentalmente por la combustión de carbón y madera para la calefacción.
- Época del año: Relacionado con el punto anterior, en invierno se detectará un aumento de las cenizas en los residuos, mientras que en verano proliferarán los restos orgánicos de productos frescos (como restos de fruta).

1.2. Normativas sobre la definición de residuo.

Teniendo en cuenta el tema de la presente Tesis, se ha de comenzar definiendo que es entendible por residuo.

La definición ofrecida por la Real Academia de la Lengua Española (RAE) (2014), define RESIDUO como:

1. *"Parte o proporción que queda de un todo.*
2. *Lo que resulta de la descomposición o destrucción de una cosa.*
3. *Material que queda como inservible después de haber realizado un trabajo u operación".*

Por otro lado, según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (O.C.D.E.) dice que los residuos son *"aquellas materias generadas en las actividades de producción y consumo, que no han alcanzado un valor económico en el contexto en el que son producidas"*.

Haciendo memoria histórica, encontramos que la primera normativa en España que trata sobre los residuos data del año 1860. Concretamente, la Real Orden del 11 de abril de 1860, promulgada a raíz del creciente impacto ambiental derivado del fuerte crecimiento que la industria experimentó en

la época. Tras esta Real Orden, se ha de avanzar casi un siglo para encontrar normativa sobre la temática de residuos. En concreto, la Ley 42/1975, nos indica el término de residuo, sin embargo, no hace ninguna aclaración sobre qué se considera como tal. No obstante, si menciona siete categorías de residuos que podrían considerarse dentro de este término.

Las categorías mencionadas son:

- a) Domiciliarias.
- b) Comerciales y de servicios.
- c) Sanitarias en hospitales, clínicas y ambulatorios.
- d) Limpieza viaria, zonas verdes y recreativas.
- e) Abandono de animales muertos, muebles, enseres y vehículos.
- f) Industriales, agrícolas, de construcción y obras menores de reparación domiciliaria.
- g) En general, todos aquellos residuos cuya recogida transporte y almacenamiento o eliminación corresponda a los Ayuntamientos.

Así mismo, establece una serie de excepciones, entre las cuales se hallan los residuos que tengan carácter de peligrosos.

Se consideran residuos peligrosos, conforme a la Ley 20/1986, "los materiales sólidos, pastosos, líquidos, así como los gaseosos contenidos en recipientes, que, siendo el resultado de un proceso de producción, transformación, utilización o consumo, su productor destine al abandono y contengan en su composición alguna de las sustancias y materias que figuran en el anexo de la presente Ley en cantidades o concentraciones tales que representen un riesgo para la salud humana, recursos naturales y medio ambiente".

Con respecto a la Unión Europea (UE), hemos de citar la Directiva 75/442/CEE, la cual especifica que un residuo es *"cualquier sustancia u objeto del cual se desprenda su poseedor o tenga la obligación de desprenderse en virtud de las disposiciones nacionales en vigor"*.

Volviendo a la normativa española, la Ley 20/1986, fue modificada por el Real Decreto Legislativo 1163/1986, donde establece la siguiente definición de residuo: *"cualquier sustancia u objeto del cual se desprenda su poseedor o tenga la obligación de desprenderse en virtud de las disposiciones en vigor"*.

Finalmente, la Ley 20/1986, se entendió implícitamente derogada por la Ley 10/1998. En esta nueva ley, el concepto de residuo queda definido como: *"cualquier sustancia u objeto perteneciente a alguna de las categorías que*

figuran en el anexo de esta Ley, del cual su poseedor se desprenda o del que tenga la intención u obligación de desprenderse. En todo caso, tendrán esta consideración los que figuren en el Catálogo Europeo de Residuos (CER), aprobado por las Instituciones Comunitarias". Dicho catálogo aparece reflejado en la presente Tesis en su Anexo I.

Años después, la Ley 10/1998 fue derogada por la Ley 22/2011 y es la actualmente vigente. Por tanto, el término de residuos que se ha de utilizar es: *"Cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar"*.

Dicha Ley fue modificada en los años posteriores de la siguiente forma:

- Los arts. 21, 25.3, 31, 32.3, 49.3, disposición transitoria 4 y anexo X.7 , por Real Decreto-ley 17/2012.
- Determinados preceptos , por Ley 11/2012.
- El art. 27.8, por Ley 5/2013.
- El apartado f) del anexo VIII, por Real Decreto 180/2015.
- El anexo II, por Orden AAA/699/2016.

Sin embargo, ninguna de estas modificaciones altera en ningún sentido la definición ofrecida.

1.3. Clasificación de residuos.

Como se ha visto en el apartado anterior, la legislación vigente en el campo de los residuos es la Ley 22/2011. En ella, además de la definición de residuo generalista, nos ofrece una serie de definiciones de residuos más específicos, que establecen una clasificación a este respecto:

- Residuos domésticos: *"residuos generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas. Se consideran también residuos domésticos los similares a los anteriores generados en servicios e industrias.*

Se incluyen también en esta categoría los residuos que se generan en los hogares de aparatos eléctricos y electrónicos, ropa, pilas, acumuladores, muebles y enseres así como los residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliaria.

Tendrán la consideración de residuos domésticos los residuos procedentes de limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas, los animales domésticos muertos y los vehículos abandonados".

- *Residuos comerciales: "residuos generados por la actividad propia del comercio, al por mayor y al por menor, de los servicios de restauración y bares, de las oficinas y de los mercados, así como del resto del sector servicios".*
- *Residuos industriales: "residuos resultantes de los procesos de fabricación, de transformación, de utilización, de consumo, de limpieza o de mantenimiento generados por la actividad industrial, excluidas las emisiones a la atmósfera reguladas en la Ley 34/2007".*
- *Residuo peligroso: "residuo que presenta una o varias de las características peligrosas enumeradas en el Anexo III (recogido en la Tabla 2. Características que presenta un residuo peligroso), y aquél que pueda aprobar el Gobierno de conformidad con lo establecido en la normativa europea o en los convenios internacionales de los que España sea parte, así como los recipientes y envases que los hayan contenido".*

Tabla 2. Características que presenta un residuo peligroso.

Fuente: Anexo III de la Ley 22/2011.

Nomenclatura	Significado
H 1 «Explosivo»	Se aplica a las sustancias y los preparados que pueden explosionar bajo el efecto de la llama o que son más sensibles a los choques o las fricciones que el dinitrobenzeno.
H 2 «Oxidante»	Se aplica a las sustancias y los preparados que presentan reacciones altamente exotérmicas al entrar en contacto con otras sustancias, en particular sustancias inflamables.
H 3-A «Fácilmente inflamable»	Se aplica a: - Las sustancias y los preparados líquidos que tienen un punto de inflamación inferior a 21 °C (incluidos los líquidos extremadamente inflamables). - Las sustancias y los preparados que pueden calentarse y finalmente inflamarse en contacto con el aire a temperatura ambiente sin aporte de energía. - Las sustancias y los preparados sólidos que pueden inflamarse fácilmente tras un breve contacto con una fuente de ignición y que continúan ardiendo o consumiéndose después del alejamiento de la fuente de ignición. - Las sustancias y los preparados gaseosos que son inflamables en el aire a presión normal. - Las sustancias y los preparados que, en contacto con el agua o el aire húmedo, desprenden gases fácilmente inflamables en cantidades peligrosas.
H 3-B «Inflamable»	Se aplica a las sustancias y los preparados líquidos que tienen un punto de inflamación superior o igual a 21 °C e inferior o igual a 55 °C.
H 4 «Irritante»	Se aplica a las sustancias y los preparados no corrosivos que pueden causar una reacción inflamatoria por contacto inmediato, prolongado o repetido con la piel o las mucosas.
H 5 «Nocivo»	Se aplica a las sustancias y los preparados que por inhalación, ingestión o penetración cutánea pueden entrañar riesgos de gravedad limitada para la salud.

Tabla 2. (cont). Características que presenta un residuo peligroso.

Fuente: Anexo III de la Ley 22/2011.

Nomenclatura	Significado
H 6 «Tóxico»	Se aplica a las sustancias y los preparados (incluidos las sustancias y los preparados muy tóxicos) que por inhalación, ingestión o penetración cutánea pueden entrañar riesgos graves, agudos o crónicos e incluso la muerte.
H 7 «Cancerígeno»	Se aplica a las sustancias y los preparados que por inhalación, ingestión o penetración cutánea pueden producir cáncer o aumentar su frecuencia.
H 8 «Corrosivo»	Se aplica a las sustancias y los preparados que pueden destruir tejidos vivos al entrar en contacto con ellos.
H 9 «Infeccioso»	Se aplica a las sustancias y los preparados que contienen microorganismos viables, o sus toxinas, de los que se sabe o existen razones fundadas para creer que causan enfermedades en el ser humano o en otros organismos vivos.
H 10 «Tóxico para la reproducción»	Se aplica a las sustancias y los preparados que por inhalación, ingestión o penetración cutánea pueden producir malformaciones congénitas no hereditarias o aumentar su frecuencia.
H 11 «Mutagénico»	Se aplica a las sustancias y los preparados que por inhalación, ingestión o penetración cutánea pueden producir defectos genéticos hereditarios o aumentar su frecuencia.
H 12 Residuos que emiten gases tóxicos o muy tóxicos al entrar en contacto con el aire, con el agua o con un ácido.	-
H 13* «Sensibilizante»	Se aplica a las sustancias y los preparados que, por inhalación o penetración cutánea, pueden ocasionar una reacción de hipersensibilización, de forma que una exposición posterior a esa sustancia o preparado dé lugar a efectos nocivos característicos.
H 14 «Ecotóxico»	Se aplica a los residuos que presentan o pueden presentar riesgos inmediatos o diferidos para uno o más compartimentos del medio ambiente.
H 15 Residuos susceptibles, después de su eliminación, de dar lugar a otra sustancia por un medio cualquiera, por ejemplo, un lixiviado que posee alguna de las características antes enumeradas.	-

En el Anexo III de la Ley 22/2011, se citan las siguientes anotaciones:

*En la medida en que se disponga de métodos de ensayo.

Notas:

1. Las características de peligrosidad «tóxico» (y «muy tóxico»), «nocivo», «corrosivo», «irritante», «cancerígeno», «tóxico para la reproducción», «mutagénico» y «ecotóxico» se asignan con arreglo a los criterios establecidos en el anexo VI de la Directiva 67/548/CEE del Consejo, de 27 de junio de 1967, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas (1) vigente hasta el 1 de diciembre de 2010 y de acuerdo con el Reglamento (CE) n.º 1272/2008, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el Reglamento (CE) n.º 1907/2006, cuya entrada en vigor se fije en sus artículos 61 y 62.

2. Cuando proceda, se aplicarán los valores límite establecidos en los anexos II y III de la Directiva 1999/45/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 31 de mayo de 1999, sobre la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros relativas a la clasificación, el envasado y el etiquetado de preparados peligrosos (2) vigente hasta el 1 de diciembre de 2015 y de acuerdo con el Reglamento (CE) n.º 1272/2008, de 16 de diciembre de 2008, cuya entrada en vigor se fija en sus artículos 61 y 62.

Métodos de ensayo:

Los métodos que deberán aplicarse se describen en el anexo V de la Directiva 67/548/CEE suprimido por la Directiva 2006/121/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, por la que se modifica la Directiva 67/548/CEE del Consejo, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas, para adaptarla al Reglamento (CE) n.º 1907/2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), y por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados

Químicos con efecto a partir del 1 de junio de 2008 e incorporado en el Reglamento (CE) n.º 440/2008 de la Comisión, de 30 de mayo de 2008, por el que se establecen métodos de ensayo de acuerdo con el Reglamento (CE) n.º 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH) y en otras notas pertinentes del CEN.

(1) DO 196 de 16.8.1967, p.1.

(2) DO L200 de 30.7.1999, p.1.

- Aceites usados: *"todos los aceites minerales o sintéticos, industriales o de lubricación, que hayan dejado de ser aptos para el uso originalmente previsto, como los aceites usados de motores de combustión y los aceites de cajas de cambios, los aceites lubricantes, los aceites para turbinas y los aceites hidráulicos"*.
- 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 procesamiento de alimentos"*.

La clasificación anterior se complementa mediante lo establecido en el Real Decreto 1481/01 y en consonancia con la Directiva 1999/31/CE del Consejo, que regula la eliminación de los *tipos de residuos* mediante su depósito en vertedero:

- Residuos no peligrosos: *"los residuos que no están incluidos en la definición del artículo 3, párrafo c), de la Ley 10/1998"*.
- Residuos inertes: *"aquellos residuos no peligrosos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. Los residuos inertes no son solubles ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente ni de ninguna otra manera, ni son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto de forma que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana. La lixiviabilidad total, el contenido de contaminantes de los residuos y la ecotoxicidad del lixiviado deberán ser insignificantes, y en particular no deberán suponer un riesgo para la calidad de las aguas superficiales y/o subterráneas"*.

- Residuos biodegradables: *"todos los residuos que, en condiciones de vertido, pueden descomponerse de forma aerobia o anaerobia, tales como residuos de alimentos y de jardín, el papel y el cartón"*.
- Residuos líquidos: *"los residuos en forma líquida, incluidas las aguas residuales pero excluidos los lodos"*.

Este Real Decreto ha sido modificado en las siguientes partes:

- El art. 8.1.b).10, por Real Decreto 105/2008.
- El art. 9.1, por Real Decreto 1304/2009.
- El art. 7, por Real Decreto 367/2010.
- Los anexos I, III, lo indicado de los arts. 3.4, 12.1.b) y SE SUSTITUYE el anexo II, por Orden AAA/661/2013.

Otros tipos de residuos, no definidos en esta normativa, son aquellos que están dentro de una normativa más específica, como es el caso de:

- Residuo radiactivo: Según el VI Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR) *"De conformidad con lo establecido en el apartado 9 del artículo 2 de la Ley 25/1964, cualquier material o producto de desecho, para el cual no está previsto ningún uso, que contiene o está contaminado con radionucleidos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear"*.
- Residuos sanitarios: De acuerdo con el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) *"No se dispone de legislación específica comunitaria y estatal sobre residuos sanitarios, por lo que dichos residuos se regulan por la legislación general de residuos (Ley 22/2011). Doce Comunidades autónomas en sus ámbitos competenciales han establecido normas para la gestión de los residuos sanitarios, que abarcan tanto la gestión intracentro como extracentro de este tipo de residuos"*. Por ello, se utiliza la definición ofrecida por la normativa andaluza en su Decreto 73/2012: todos los residuos generados como consecuencia del desarrollo de las actividades sanitarias relacionadas con la salud humana o animal cuya persona o entidad productora o poseedora quiera o deba desprenderse, incluidos los envases y residuos de envases que los contengan o los hayan contenido.

- Residuo de Construcción y Demolición (Real Decreto 105/2008). Son los residuos de naturaleza inerte generados, fundamentalmente, en obras de excavación, nueva construcción, reparación, remodelación, rehabilitación y demolición, incluidos los de obra menor y reparación domiciliaria.

Sin embargo, no son los únicos residuos que han sido definidos por la normativa que nos es de aplicación. Si consultamos la normativas europeas, tenemos la Lista Europea de Residuos (LER), emitida por la Decisión 2000/532/CE y de conformidad con la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, la cual recientemente ha sido modificada por la Decisión 2014/955/UE de la comisión. Dicha lista, ha sido implementada en la normativa andaluza a través del Decreto 73/2012.

Entrando a nivel autonómico, y como se ha mencionado anteriormente, encontramos el Decreto 73/2012. Sin embargo, este Decreto no amplía la definición de residuo ofrecida por la Ley 22/2011, de 28 de julio.

Aunque no sean vinculantes ni sean de obligado cumplimiento, en la Normativa Española tenemos las Notas Técnicas de Prevención (NTP). Dichas notas, son elaboradas por expertos en diversas materias. El objetivo de dichas NTPs es la prevención de riesgos en el ámbito de la NTP tratada. Como no podía ser de otra manera, también existe una NTP que trata sobre el trabajo con residuos. Concretamente es la NTP 1054, elaborada por el Instituto Nacional de de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) en 2015, y nos ofrece una lista donde clasifica de forma bastante clara los residuos peligrosos (Tabla 3).

Tabla 3. Características de los residuos para su clasificación como “residuos peligrosos” (Reglamento (UE) Nº 1357/2014).

Fuente: NTP 1054 del INSHT (2015)

CLASIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS DE PELIGROSIDAD
HP 1 “Explosivo”	Residuos que, por reacción química, pueden desprender gases a una temperatura, presión y velocidad tales que pueden ocasionar daños a su entorno. Se incluyen los residuos pirotécnicos, los residuos de peróxidos orgánicos explosivos y los residuos autorreactivos explosivos.
HP 2 “Comburente”	Residuos que, generalmente liberando oxígeno, pueden provocar o facilitar la combustión de otras sustancias.
HP 3 “Inflamable”	Residuos líquidos inflamables: residuos líquidos con un punto de inflamación inferior a 60°C, o gasóleos, carburantes diésel y aceites ligeros para calefacción usados con un punto de inflamación entre >55°C y ≤75°C. Residuos líquidos o sólidos pirofóricos inflamables: residuos líquidos o sólidos que, aun en pequeñas cantidades, pueden inflamarse al cabo de cinco minutos de entrar en contacto con el aire. Residuos sólidos inflamables: residuos sólidos que se inflaman con facilidad o que pueden provocar fuego o contribuir a provocar fuego por fricción. Residuos gaseosos inflamables: residuos gaseosos que se inflaman con el aire a 20°C y a una presión de referencia de 101,3 kPa. Residuos que reaccionan en contacto con el agua: residuos que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables en cantidades peligrosas. Otros residuos inflamables: aerosoles inflamables, residuos que experimentan calentamiento espontáneo inflamables, residuos de peróxidos orgánicos inflamables y residuos autorreactivos inflamables.
HP 4 “Irritante-irritación cutánea y lesiones oculares”	Residuos que, cuando se aplican, pueden provocar irritaciones cutáneas o lesiones oculares.
HP 5 “Toxicidad específica en determinados órganos (STOT en su sigla en inglés)/ Toxicidad por aspiración”	Residuos que pueden provocar una toxicidad específica en determinados órganos, bien por una exposición única, bien por exposiciones repetidas, o que pueden provocar efectos tóxicos agudos por aspiración.
HP 6 “Toxicidad aguda”	Residuos que pueden provocar efectos tóxicos agudos tras la administración por vía oral o cutánea o como consecuencia de una exposición por inhalación.
HP 7 “Carcinógeno”	Residuos que inducen cáncer o aumentan su incidencia.
HP 8 “Corrosivo”	Residuos que, cuando se aplican, pueden provocar corrosión cutánea.

Tabla 3. (cont.) Características de los residuos para su clasificación como “residuos peligrosos” (Reglamento (UE) Nº 1357/2014).

Fuente: NTP 1054 del INSHT (2015)

CLASIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS DE PELIGROSIDAD
HP 9 “Infeccioso”	Residuos que contienen microorganismos viables, o sus toxinas, de los que se sabe o existen razones fundadas para creer que causan enfermedades en el ser humano o en otros organismos vivos.
HP 10 “Tóxico para la reproducción”	Residuos que tienen efectos adversos sobre la función sexual y la fertilidad de hombres y mujeres adultos, así como sobre el desarrollo de los descendientes.
HP 11 “Mutágeno”	Residuos que pueden provocar una mutación, es decir, un cambio permanente en la cantidad o en la estructura del material genético de una célula.
HP 12 “Liberación de un gas de toxicidad aguda”	Residuos que emiten gases de toxicidad aguda (Acute Tox, 1, 2 o 3) en contacto con agua o con un ácido.
HP 13 “Sensibilizante”	Residuos que contienen una o varias sustancias que se sabe tienen efectos sensibilizantes para la piel o los órganos respiratorios.
HP 14 “Ecotóxico”	Residuos que presentan o pueden presentar riesgos inmediatos o diferidos para uno o más compartimentos del medio ambiente(1).
HP 15 “Residuos que pueden presentar una de las características de peligrosidad antes mencionada que el residuo original no presentaba directamente”	Cuando un residuo contenga una o varias sustancias clasificadas con una de las indicaciones de peligro o de las indicaciones de peligro suplementarias (peligro de explosión en masa en caso de incendio / explosivo en estado seco / puede formar peróxidos explosivos / riesgo de explosión al calentarlo en ambiente confinado), el residuo se clasificará como peligroso por HP 15, a menos que se presente en tal forma que en ningún caso tendrá propiedades explosivas o potencialmente explosivas. Además, los Estados miembros podrán caracterizar un residuo como peligroso por H 15 basándose en otros criterios aplicables, tales como la evaluación del lixiviado.

(1) La aplicación de esta característica de peligrosidad se basa en los criterios establecidos en el anexo VI de la Directiva 67/548/CEE del Consejo.

Tras enmarcar las posibles clasificaciones que nos ofrece la normativa, si consultamos al Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente español (MAPAMA), se establece la siguiente clasificación de residuos:

- Residuos domésticos.
- Biorresiduos.
- Neumáticos.
- Tierras y escombros (RCD).
- Policlorobifenilos/Policloroterfenilos (PCB).

- Aparatos eléctricos y electrónicos.
- Residuos mineros.
- Subproductos animales no destinados al consumo humano (SANDACH).
- Envases.
- Vehículos.
- Aceites industriales.
- Lodos de depuradora.
- Residuos sanitarios.
- Pilas y acumuladores.
- Residuos con características de peligrosidad.

Otro criterio de clasificación es el expuesto en la "Decisión de la Comisión, de 3 de mayo de 2000", que utiliza el siguiente índice, siendo bastante parecido al expuesto en el Anexo I de la presente Tesis con referencia al CER:

- 01 00 00: Residuos de la prospección, extracción, preparación y otros tratamientos de minerales y canteras.
- 02 00 00: Residuos de la producción primaria agraria, hortícola, de la caza, de la pesca y de la acuicultura; residuos de la preparación y elaboración de alimentos.
- 03 00 00: Residuos de la transformación de la madera y de la producción de papel, cartón, pasta de papel tableros y muebles.
- 04 00 00: Residuos de las industrias textil, del cuero y de la piel.
- 05 00 00: Residuos del refino de petróleo, purificación del gas natural y tratamiento pirolítico del carbón.
- 06 00 00: Residuos de procesos químicos inorgánicos.
- 07 00 00: Residuos de procesos químicos orgánicos
- 08 00 00: Residuos de la formulación, fabricación, distribución y utilización (FEDU) de revestimientos (pinturas, barnices y esmaltes vítreos), pegamentos, sellantes y tintas de impresión.
- 09 00 00: Residuos de la industria fotográfica.

- 10 00 00: Residuos inorgánicos de procesos térmicos.
- 11 00 00: Residuos inorgánicos que contienen metales procedentes del tratamiento y revestimiento de metales y de la hidrometalurgia no férrea.
- 12 00 00: Residuos del moldeo y tratamiento de superficie de metales y plásticos.
- 13 00 00: Residuos de aceite (excepto aceites comestibles y los capítulos 05 y 12).
- 14 00 00: Residuos de sustancias orgánicas utilizadas como disolventes (excepto los capítulos 07 y 08).
- 15 00 00: Residuos de envases; absorbentes, trapos de limpieza, materiales de filtración y ropas de protección no especificados en otra categoría.
- 16 00 00: Residuos no especificados en otros capítulo de la lista.
- 17 00 00: Residuos de la construcción y demolición (incluyendo la construcción de carreteras)
- 18 00 00: Residuos de servicios médicos o veterinarios y/o de investigación asociada (salvo los residuos de cocina y de restaurante no procedentes directamente de los servicios médicos).
- 19 00 00: Residuos de las instalaciones para el tratamiento de residuos, de las plantas externas de tratamiento de aguas residuales y de la industria del agua.
- 20 00 00: Residuos municipales y residuos asimilables procedentes de los comercios, industrias e instituciones, incluyendo las fracciones recogidas selectivamente.

Además de los criterios recogidos en las distintas normativas, en la bibliografía se encuentra también que un residuo puede clasificarse de diferentes formas, dependiendo de diversos factores, así, Avanzini, J.M. et al. (2003) en su documento de la Junta de Andalucía, recoge diferentes tipologías de clasificación, las cuales se exponen a continuación:

a) Fuente de producción:

1. Residuos del sector primario:
 - a. Mineros.
 - b. Agrícolas.
 - c. Forestales.
 - d. Ganaderos.
2. Residuos del sector secundario:
 - a. Industria.
 - b. Actividades de transformación.
3. Residuos del sector terciario:
 - a. Actividad domiciliaria y urbana.
 - b. Actividades de distribución.
 - c. Actividades de servicios.

b) Naturaleza de su origen:

1. Agrícolas.
2. Forestales.
3. Mineros.
4. Industriales.

c) Estado físico:

1. Sólidos.
 - a. Urbanos.
 - b. Agrícolas.
 - c. Ganaderos.
 - d. Industriales.
 - e. Mineros.
2. Líquidos.
 - a. Aguas domiciliarias.
 - b. Aguas pluviales.
 - c. Industriales.
 - d. Agro-ganaderos.
3. Gaseosos.
 - a. Procesos de combustión.
 - b. Procesos industriales.
 - c. Eliminación de residuos.

d) Lugar de producción:

1. Domiciliarios.
2. De clínicas y hospitales.
3. Procedentes de la limpieza viaria.

e) Tipo de materiales:

1. Orgánicos.
2. Metálicos.
3. Papel-cartón.
4. Plásticos.
5. Textiles.
6. Envases y embalajes.
7. Neumáticos.
8. Vehículos.
9. Enseres.
10. Escombros y restos de obras.

f) Grado de peligrosidad:

1. Peligrosos.
2. No peligrosos.
3. Inertes.

Como podemos constatar, no hay una clasificación única de los residuos, ya que si referenciamos, otros autores, como Avilez, L.S. (2009), consideran la siguiente clasificación:

a) Estado:

1. Líquidos.
2. Sólidos.
3. Gaseosos.

b) Tipo:

1. Físicos.
2. Químicos.
3. Biológicos.

c) Rapidez de transformación:

1. Biodegradables.
2. No biodegradables.

d) Origen:

1. Hospitalarios.
2. Urbanos.
3. Rurales.
4. Nucleares.
5. Industriales.
6. Domésticos.

En este último caso, la clasificación de los autores difiere de las anteriores en algunos términos (como la de hospitalarios en lugar de sanitarios). Esto se debe a la diferencias de legislación o terminología entre Honduras y España.

1.4. Generación y Gestión de residuos.

La cantidad de residuos generados por la población a lo largo del último siglo, ha experimentado un crecimiento exponencial con respecto a siglos anteriores, a causa, sobre todo, de la industrialización, a las "necesidades aparentes" de consumo de la población y, sobre todo, el uso de materiales no reciclables y a la nueva cultura de usar y tirar.

La generación de residuos, como ya se ha indicado anteriormente, tiene una composición muy variable. Los factores de los que depende la generación de residuos, según Madrid, F. (2012), depende de los siguientes factores:

- Nivel de vida: A mayor nivel de vida de la sociedad, mayor generación de residuos.
- Modo de vida: En este apartado se podrían hacer varias subclasificaciones, como pueden ser: Rural-Urbano; Nivel de industrialización; etc.
- Clima: En climas muy fríos, habrá más uso de calefacción, por lo que asociado a esto, habrá un aumento de cenizas en calefacciones tradicionales (combustión de carbón o leña).
- Época del año: En verano hay un aumento del consumo de productos frescos (frutas, verduras, etc.), mientras que en invierno aumenta el porcentaje de cenizas debido a la calefacción. Así mismo, en vacaciones y épocas festivas, se produce un aumento en las zonas turísticas y, por ende, una disminución en las ciudades.

Por tanto, a la hora de establecer las políticas para el control de los residuos, se deben de tener en cuenta los siguientes factores:

- Flujo de la población: En este apartado se ha de considerar los incrementos y disminuciones del número de habitantes.
- Nivel económico de la población: Con nivel económico nos referimos a la posibilidad de adquisición de bienes de consumo por parte de la población.
- Hábitos de consumo.
- Legislación: Puede suponer una limitación a la hora de ofrecer ciertos tipos de productos, como por ejemplo, los envases y embalajes, estando estos regulados en la Ley 11/1997 (última modificación el 29/07/2011). En esta ley describe cómo han de ser dichos envases y embalajes, composición y cantidad de los mismos, con vistas a favorecer su reciclado y recuperación.

A continuación, una vez definidos los factores que afectan a la generación de residuos, se exponen los datos en la Tabla 4, "Generación de residuos por país de la Unión Europea y actividad en miles de toneladas", además de indicar entre paréntesis el porcentaje que representa con respecto al total de residuos generados.

Tabla 4. Generación de residuos por país de la Unión Europea y actividad en miles de toneladas (2012). Fuente: Eurostat (2015).

Country	Total	Mining and quarrying (%)	Manufacturing (%)	Energy (%)	Construction and demolition (%)	Other economics activities (%)	Households (%)
EU 28	2.515.110	733.980 (29,18)	169.690 (6,75)	96.480 (3,84)	821.160 (32,65)	380.390 (15,12)	213.410 (8,49)
Turkey	1.013.226	950.587 (93,82)	13.141 (1,30)	18.424 (1,82)	0 (0,00)	289 (0,03)	30.785 (3,04)
Germany	368.022	8.625 (2,34)	56.596 (15,38)	8.050 (2,19)	197.528 (53,67)	60.752 (16,51)	36.472 (9,91)
France	344.732	2.477 (0,72)	21.431 (6,22)	2.100 (0,61)	246.702 (71,56)	42.024 (12,19)	29.996 (8,70)
Romania	266.976	223.293 (83,64)	6.029 (2,26)	9.043 (3,39)	1.325 (0,50)	22.638 (8,48)	4.647 (1,74)
United Kingdom	241.922	24.044 (9,94)	13.596 (5,62)	4.955 (2,05)	100.230 (41,43)	71.580 (29,59)	27.506 (11,37)
Poland	163.378	68.035 (41,64)	31.135 (19,06)	20.706 (12,67)	15.368 (9,41)	18.809 (11,51)	9.324 (5,71)
Italy	162.765	720 (0,44)	34.142 (20,98)	3.616 (2,22)	52.966 (32,54)	41.708 (25,62)	29.613 (18,19)
Bulgaria	161.252	141.083 (87,49)	3.009 (1,87)	9.533 (5,91)	1.033 (0,64)	3.841 (2,38)	2.755 (1,71)
Sweden	156.367	129.481 (82,81)	6.218 (3,98)	1.852 (1,18)	7.656 (4,90)	6.967 (4,46)	4.193 (2,68)
Netherlands	123.613	179 (0,14)	14.115 (11,42)	1.342 (1,09)	81.354 (65,81)	17.758 (14,37)	8.864 (7,17)
Spain	118.562	22.509 (18,99)	14.594 (12,31)	5.772 (4,87)	26.129 (22,04)	28.333 (23,90)	21.224 (17,90)
Finland	91.824	52.880 (57,59)	14.531 (15,82)	1.011 (1,10)	16.034 (17,46)	5.635 (6,14)	1.734 (1,89)
Greece	72.328	47.832 (66,13)	4.183 (5,78)	12.259 (16,95)	813 (1,12)	2.383 (3,29)	4.859 (6,72)
Belgium	67.630	115 (0,17)	17.736 (26,23)	1.314 (1,94)	24.570 (36,33)	18.891 (27,93)	5.004 (7,40)
Serbia	55.003	47.896 (87,08)	760 (1,38)	5.744 (10,44)	634 (1,15)	238 (0,43)	0 (0,00)
Austria	31.047	51 (0,16)	3.636 (11,71)	622 (2,00)	19.471 (62,71)	6.247 (20,12)	4.020 (12,95)
Czech Republic	23.171	167 (0,72)	4.376 (18,89)	1.063 (4,59)	8.593 (37,09)	5.739 (24,77)	3.233 (13,95)
Estonia	21.992	9.355 (42,54)	4.121 (18,74)	6.258 (28,46)	657 (2,99)	1.165 (5,30)	436 (1,98)
Denmark	16.332	18 (0,11)	1.610 (9,86)	893 (5,47)	3.867 (23,68)	6.216 (38,06)	3.727 (22,82)
Hungary	16.310	91 (0,56)	2.991 (18,34)	2.872 (17,61)	4.038 (24,76)	3.638 (22,31)	2.681 (16,44)
Portugal	14.184	243 (1,71)	3.188 (22,48)	422 (2,98)	928 (6,54)	4.672 (32,94)	4.731 (33,35)
Ireland	13.421	2.025 (15,09)	4.599 (34,27)	396 (2,95)	366 (2,73)	4.379 (32,63)	1.657 (12,35)
Norway	10.721	470 (4,38)	2.639 (24,62)	89 (0,83)	1.881 (17,55)	3.205 (29,89)	2.438 (22,74)
FYR of Macedonia	8.472	802 (9,47)	1.304 (15,39)	6 (0,07)	0 (0,00)	6.360 (75,07)	0 (0,00)
Slovakia	8.425	311 (3,69)	2.516 (29,86)	1.046 (12,42)	806 (9,57)	2.090 (24,81)	1.657 (19,67)
Luxembourg	8.397	131 (1,56)	509 (6,06)	2 (0,02)	7.079 (84,30)	426 (5,07)	249 (2,97)

Tabla 4.(cont.) Generación de residuos por país de la Unión Europea y actividad en miles de toneladas (2012). *Fuente: Eurostat (2015).*

Country	Total	Mining and quarrying (%)	Manufacturing (%)	Energy (%)	Construction and demolition (%)	Other economics activities (%)	Households (%)
Lithuania	5.679	26 (0,46)	2.551 (44,92)	29 (0,51)	419 (7,38)	1.477 (26,01)	1.177 (20,73)
Slovenia	4.547	14 (0,31)	1.345 (29,58)	1.069 (23,51)	535 (11,77)	941 (20,69)	641 (14,10)
Bosnia and Herzegovina	4.475	72 (1,61)	1.213 (27,11)	3.171 (70,86)	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)
Croatia	3.379	5 (0,15)	425 (12,58)	108 (3,20)	682 (20,18)	968 (28,65)	1.191 (35,25)
Latvia	2.310	2 (0,09)	396 (17,14)	133 (5,76)	8 (0,35)	558 (24,16)	1.213 (52,51)
Cyprus	2.085	218 (10,46)	98 (4,70)	2 (0,10)	965 (46,28)	353 (16,93)	451 (21,63)
Malta	1.452	45 (3,10)	9 (0,62)	2 (0,14)	1.041 (71,69)	201 (13,84)	155 (10,67)
Kosovo	1.167	177 (15,17)	80 (6,86)	151 (12,94)	0 (0,00)	268 (22,96)	490 (41,99)
Iceland	529	0 (0,00)	93 (17,58)	2 (0,38)	11 (2,08)	191 (36,11)	233 (44,05)
Liechtenstein	467	29 (6,21)	12 (2,57)	0 (0,00)	107 (22,91)	2 (0,43)	316 (67,67)
Montenegro	386	1 (0,26)	33 (8,55)	351 (90,93)	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)

Como se puede constatar en la Tabla 4, Turquía es el mayor productor de residuos de la Unión Europea, con 1.013.226 miles de Toneladas. En este caso, casi el 94% de la generación de residuos de este país, se corresponde con la actividad de minería y canteras.

El segundo puesto le correspondería a Alemania, con 368.022 miles de Toneladas, cuya principal actividad de generación es el sector de la construcción y la demolición.

A continuación, completando, se encuentra Francia, con 344.732 miles de Toneladas. Como en el caso de Alemania, su principal actividad generadora de residuos corresponde con la construcción y demolición. Sin embargo, comparativamente, Francia genera más residuos en este sector que Alemania, por lo que podemos establecer que la generación en Alemania está más diversificada que en Francia.

España, durante el año del estudio, se encontraba en el undécimo puesto de esta lista, con 118.562 miles de Toneladas generadas. En este caso, al igual que en Francia y Alemania, una de sus principales actividades de generación de residuos se corresponde con el sector de la construcción, sin embargo, casi con el mismo valor, tenemos la generación de residuos por "otras actividades económicas".

Una vez vistos los datos de generación europeos, si se considera el total de residuos generados por los 28 países que conforman la Unión Europea, obtendríamos el diagrama siguiente (Figura 6):

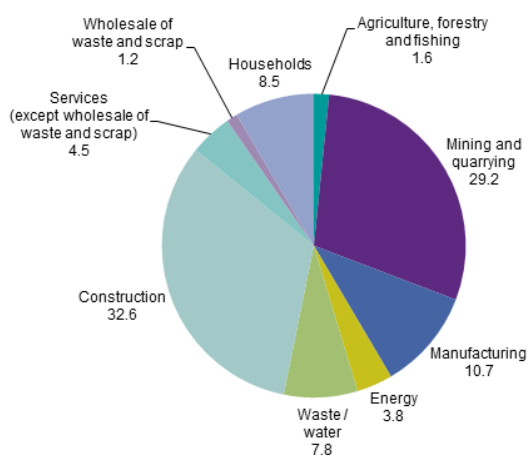


Figura 6. Generación de residuos por actividades económicas y hogares, EU-28, 2012. Fuente: Eurostat (2015)

Como se puede comprobar, el mayor porcentaje de generación en este supuesto, correspondería al sector de la construcción, con un 32,6%, seguido del sector minería con un 29,2%. Es decir, estos dos sectores conforman el 61,8% de la generación de residuos europeos.

Sin embargo, no todos los países tienen en el mismo número de habitantes, por lo que es interesante saber la producción de residuos por habitante de la UE.

Como se puede observar en la Figura 7, el país de la UE con mayor índice de producción de residuos por habitante es Bulgaria, seguido por Finlandia, Estonia, Suecia y Luxemburgo.

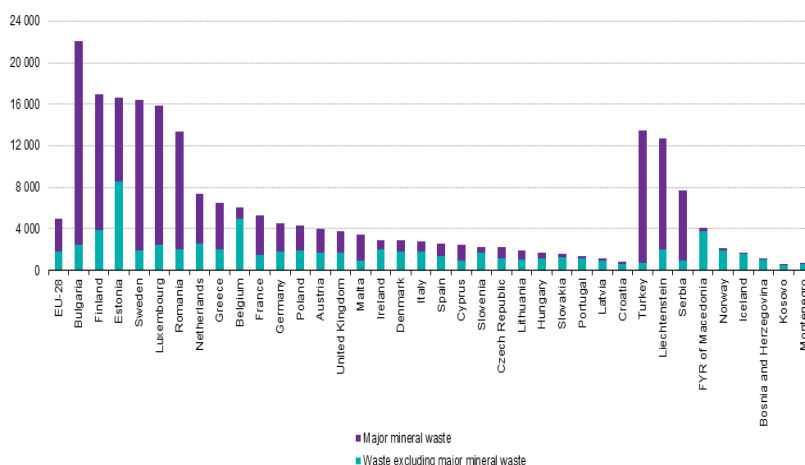


Figura 7. Generación de residuos domésticos en la UE per capita y país en kg/habitante (2012). Fuente: Eurostat (2015).

Una vez que se conoce el volumen de generación de residuos, la cuestión más lógica sería la manera en que dichos residuos han sido tratados. La nota ofrecida por Eurostat, también responde a dicha cuestión (Tabla 5):

Tabla 5. Tratamiento de residuos en la UE, en miles de Toneladas y porcentaje (2012).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat (2015).

	Total	Recycling (%)	Energy recovery (%)	Backfilling (%)	Incineration (%)	Disposal (%)
EU 28	2.302.560	838.950 (36,43)	101.140 (4,39)	213.790 (9,28)	36.650 (1,59)	1.112.020 (48,29)
Belgium	41.328	30.237 (73,16)	4.612 (11,16)	0 (0)	3.331 (8,06)	3.148 (7,62)
Bulgaria	158.752	1.789 (1,13)	172 (0,11)	0 (0)	14 (0,01)	156.777 (98,76)
Czech Republic	18.263	8.420 (46,10)	959 (5,25)	5.137 (28,13)	76 (0,42)	3.670 (20,09)
Denmark	14.070	8.147 (57,90)	3.255 (23,12)	0 (0)	0 (0)	2.668 (18,96)
Germany	352.996	152.807 (43,29)	33.953 (9,62)	91.469 (25,91)	11.017 (3,12)	63.750 (18,06)
Estonia	20.610	7.903 (38,34)	349 (1,69)	4.196 (20,36)	0 (0)	8.152 (39,55)
Ireland	8.033	827 (10,29)	403 (5,02)	1.985 (24,71)	13 (0,16)	4.805 (59,82)
Greece	71.334	2.928 (4,10)	118 (0,16)	5.440 (7,63)	21 (0,03)	62.827 (88,07)
Spain	108.475	48.745 (44,94)	3.269 (3,01)	8.194 (7,55)	7 (0,01)	48.259 (44,49)
France	315.147	151.724 (48,14)	11.637 (3,69)	39.591 (12,56)	7.153 (2,27)	105.042 (33,33)
Croatia	2.999	994 (33,14)	39 (1,30)	42 (1,40)	0 (0)	1.923 (64,12)
Italy	130.460	98.809 (75,74)	2.593 (1,99)	160 (0,12)	5.814 (4,46)	23.084 (17,69)
Cyprus	2.077	409 (19,69)	2 (0,10)	232 (11,17)	7 (0,34)	1.429 (68,80)
Latvia	1.573	808 (51,37)	153 (9,73)	0 (0)	1 (0,06)	612 (38,91)
Lithuania	4.221	999 (23,67)	106 (2,51)	0 (0)	1 (0,02)	3.115 (73,80)
Luxembourg	10.302	4.691 (45,53)	36 (0,35)	1.934 (18,77)	134 (1,30)	3.507 (34,04)
Hungary	12.964	4.637 (35,77)	960 (7,40)	436 (3,36)	90 (0,69)	6.842 (52,78)
Malta	1.351	116 (8,59)	0 (0)	46 (3,40)	6 (0,44)	1.183 (87,56)

Tabla 5.(cont.) Tratamiento de residuos en la UE, en miles de Toneladas y porcentaje (2012).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat (2015).

	Total	Recycling (%)	Energy recovery (%)	Backfilling (%)	Incineration (%)	Disposal (%)
Netherlands	119.962	61.796 (51,51)	8.997 (7,50)	0 (0)	1.612 (1,34)	47.556 (39,64)
Austria	32.122	14.272 (44,43)	3.305 (10,29)	2.795 (8,70)	75 (0,23)	11.675 (36,35)
Poland	160.697	80.941 (50,37)	3.567 (2,22)	35.103 (21,84)	328 (0,20)	40.757 (25,36)
Portugal	10.188	4.598 (45,13)	1.735 (17,03)	0 (0)	70 (0,69)	3.785 (37,15)
Romania	264.647	18.849 (7,12)	1.708 (0,64)	1.037 (0,39)	182 (0,07)	242.871 (91,77)
Slovenia	5.068	2.965 (58,50)	326 (6,43)	1.102 (21,74)	36 (0,71)	639 (12,61)
Slovakia	7.052	2.651 (37,59)	270 (3,83)	0 (0)	71 (1,01)	4.059 (57,56)
Finland	90.478	31.700 (35,04)	10.317 (11,40)	0 (0)	445 (0,49)	48.015 (53,07)
Sweden	151.225	18.732 (12,39)	6.712 (4,44)	774 (0,51)	43 (0,03)	124.964 (82,63)
United Kingdom	186.153	77.467 (41,61)	1.585 (0,85)	14.114 (7,58)	6.102 (3,28)	86.895 (46,68)
Iceland	521	344 (66,03)	14 (2,69)	3 (0,58)	0 (0)	160 (30,71)
Norway	10.103	4.303 (42,59)	4.271 (42,27)	143 (1,41)	86 (0,85)	1.300 (12,87)
FYR of Macedonia	9.023	68 (0,75)	19 (0,21)	0 (0)	41 (0,45)	8.896 (98,59)
Serbia	55.023	793 (1,44)	49 (0,09)	0 (0)	0 (0)	54.180 (98,47)
Turkey	983.046	307.467 (31,28)	440 (0,04)	0 (0)	44 (0,01)	675.095 (68,67)

Se comenzará analizando, los países con más generación de residuos. Turquía, primero de la lista en cuestión de generación de residuos, deposita en vertedero prácticamente el 66% de sus residuos en vertedero. El resto, prácticamente, se destina a reciclado.

Alemania, segundo país más generador, deposita el 43% aproximadamente en plantas de reciclado, mientras que sólo el 18% se destina a un vertedero.

Francia, tercer país de la UE en cuestión de generación de residuos, recicla el 48% de sus residuos, mientras que deposita en el vertedero el 33%.

España, undécimo puesto de esta lista, prácticamente mantiene el mismo porcentaje para ambos casos, el 48%.

En el global de la UE, de los 2.302.560 miles de Toneladas de residuos, deposita en vertedero el 48,29%, mientras que 36,44% se dispone para ser reciclado.

Centrando ahora el estudio en España, consultando las fuentes del Instituto Nacional de Estadística (INE) para el mismo año expuesto anteriormente, se obtiene lo siguiente (Tabla 6):

Tabla 6. Generación de residuos en España (2012)(en miles de Toneladas).

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

Generación	Peligrosos	No peligrosos	Total
Industria	1.391,9	41.483,7	42.875,6
Construcción	155	32.527	32.682
Servicios	735	7.182	7.917

Complementando esta información, el propio INE publicó, el 7 de Octubre de 2014, una nota de prensa en la cual ofrece el dato de los residuos urbanos, que fueron de 22,4 millones de Toneladas. Hay que destacar que en dicha nota de prensa, se expresó mal el término de "residuos urbanos", ya que desde 2011 habría que utilizar el término "residuos municipales".

Comparando estos datos con los ofrecidos por Eurostat, se puede confirmar que son semejantes, al menos en residuos urbanos/municipales (Household). Si combinamos las secciones europeas de manufacturación y otras actividades económicas (manufacturing y other economic activities) obtendremos un valor muy similar al ofrecido por el INE de industria. De forma análoga, si se suman los valores de energía y construcción (energy y construction and demolition), obtenemos un valor similar al ítem del INE de construcción.

En la nota de prensa citada, se comenta que la producción de residuos ha ido disminuyendo de forma paulatina desde el 2009 (año de referencia de la nota). Con respecto al año 2011, la generación de residuos experimenta una disminución del 3,8%.

Para finalizar con el tratamiento de residuos a nivel nacional en España, el Instituto Nacional de Estadística (INE) ofrece los siguientes datos, correspondientes a la forma de tratamiento de los residuos generados en 2012 (Tabla 7).

Tabla 7. Gestión de los residuos en España, en miles de Toneladas (2012).

Fuente: INE (2012)

Tratamiento de residuos	Peligrosidad	Cantidad (miles de Toneladas)	Porcentaje (%)
Recuperación	NO PELIGROSO	47.132	44,93662134
	PELIGROSO	1.612	
	TOTAL GENERAL	48.745	
Operaciones de relleno	NO PELIGROSO	8.193	7,552892372
	PELIGROSO	0	
	TOTAL GENERAL	8.193	
Vertido	NO PELIGROSO	47.615	44,48859184
	PELIGROSO	643	
	TOTAL GENERAL	48.259	
Incineración	NO PELIGROSO	3.112	3,020050703
	PELIGROSO	163	
	TOTAL GENERAL	3.276	
Total	NO PELIGROSO	106.054	99,99815626
	PELIGROSO	2.420	
	TOTAL GENERAL	108.475	

En la Tabla 7, se recogen la forma de tratamiento de los residuos en España durante el año 2012. Como se puede apreciar, la recuperación o reciclaje es la forma más predominante, con un 44,93% sobre el total generado en ese año. Muy de cerca tendríamos el depósito en vertedero, con un 44,49% aproximadamente. Entre ambos tratamientos, suman el 89,42% del total generado en el año de estudio.

No se han encontrado datos actualizados de la generación de residuos a nivel autonómico ni provincial. Los datos autonómicos más actuales encontrados en el INE, corresponden al año 2006. Dichos datos, recogidos en la Tabla 8, debido a su antigüedad con respecto a los demás mostrados en la presente Tesis (años 2012-2014), se ofrecen como orientación histórica.

Como se puede apreciar en la citada Tabla 8, las CCAA más generadoras de residuos son: en primer lugar Castilla y León, con un 22,93% sobre el total de los residuos generados en la Península en el 2006. En segundo lugar, tenemos la CCAA de Cataluña, con un 12,52% aproximadamente. En tercer lugar, con 12,09% encontramos la CCAA de Andalucía. Como contraparte a estas comunidades, La Rioja, con un 0,53% aproximadamente; Cantabria con un 1,15% aproximadamente y Extremadura con un 1,56% aproximadamente, son las CCAA menos generadoras de residuos en el 2006.

No se han encontrado datos sobre residuos de forma generalizada para la provincia de Jaén, lugar donde se centra el estudio realizado en este documento. Sin embargo, si hay cierta información en la generación de residuos domésticos, por lo que será mostrada y tratada en su correspondiente apartado.

Actualmente, concretamente en Octubre de 2016, Eurostats ha publicado datos más recientes sobre la generación y tratamiento de los residuos en la Unión Europea. De forma análoga al año estudiado anterior (2012), se muestran a continuación las tablas sobre generación (Tabla 8) y tratamiento (Tabla 9) de residuos en la UE.

Tabla 8. Generación de residuos por Comunidad Autónoma (CCAA), salvo lodos secos, en el año 2006 (miles de Toneladas). Fuente: INE (2007).

COMUNIDAD AUTÓNOMA	TOTAL NO PELIGROSOS	TOTAL PELIGROSOS	TOTAL GENERAL	(%)
Andalucía	51.343,97	1.593,39	52.937,36	12,09
Aragón	25.496,18	287,262	25.783,44	5,89
Balears, Illes	8.207,33	247,909	8.455,24	1,93
Canarias	11.142,39	375,633	11.518,02	2,63
Cantabria	4.708,25	322,417	5.030,68	1,15
Castilla y León	99.579,48	796,653	100.376,13	22,93
Castilla - La Mancha	14.225,36	711,304	14.936,66	3,41
Cataluña	52.032,08	2.762,51	54.794,59	12,52
Comunitat Valenciana	35.155,48	1.209,06	36.364,54	8,31
Extremadura	6.621,89	194,838	6.816,72	1,56
Galicia	28.268,23	643,104	28.911,33	6,60
Madrid, Comunidad	38.044,76	1.532,47	39.577,23	9,04
Murcia, Región	7.835,29	272,283	8.107,57	1,85
Navarra, Comunidad Foral	6.810,65	275,13	7.085,78	1,62
País Vasco	18.529,16	1.551,94	20.081,10	4,59
Rioja, La	2.223,76	93,166	2.316,93	0,53
Total nacional	424.252,13	13.428,47	437.680,61	100

Tabla 9. Generación de residuos en la UE por actividad durante el año 2014 en miles de Toneladas y en porcentaje (%).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat (2017).

Country	Total	Mining and quarrying (%)	Manufacturing (%)	Energy (%)	Construction (%)	Other economic activities (%)	Households (%)
EU-28	2.598.140	774.460 (29,81)	255.700 (9,84)	95.420 (3,67)	871.140 (33,53)	209.220 (8,05)	392.200 (15,10)
Germany	387.504	7.432 (1,92)	61.083(15,76)	9.975 (2,57)	206.466 (53,28)	36.888 (9,52)	65.660 (16,94)
France	327.997	2.346(0,72)	21.797 (6,65)	1.653 (0,50)	231.739 (70,65)	28.374 (8,65)	42.087 (12,83)
Romania (!)	266.976	223.293 (83,64)	6.029 (2,26)	9.043 (3,39)	1.325 (0,50)	4.647 (1,74)	22.638 (8,48)
United Kingdom	251.780	26.291 (10,44)	8.250(3,28)	3.256 (1,29)	120.356 (47,80)	27.715 (11,01)	65.912 (26,18)
Bulgaria	179.598	159.280 (88,69)	3.275(1,82)	9.105 (5,07)	1.340 (0,75)	2.604 (1,45)	3.993 (2,22)
Poland	179.018	75.736 (42,31)	31.592(17,65)	21.892 (12,23)	17.010 (9,50)	8.240 (4,60)	24.547 (13,71)
Sweden	167.027	138.898 (83,16)	5.726(3,43)	1.895 (1,13)	8.867 (5,31)	4.173 (2,50)	7.468 (4,47)
Italy	159.107	982 (0,62)	26.645(16,75)	3.195 (2,01)	51.684 (32,48)	29.660 (18,64)	46.941 (29,50)
Netherlands	134.146	132 (0,10)	13.452(10,03)	1.671 (1,25)	90.735 (67,64)	8.523 (6,35)	19.633 (14,64)
Spain	110.952	18.641 (16,80)	14.814(13,35)	5.272 (4,75)	20.418 (18,40)	19.847 (17,89)	31.961 (28,81)
Finland	95.970	62.775(65,41)	10.293(10,73)	1.464 (1,53)	16.297 (16,98)	1.603 (1,67)	3.538 (3,69)
Turkey	73.075	3.114 (4,26)	14.342(19,63)	24.014 (32,86)	:	31.230 (42,74)	:
Greece	69.759	47.357 (67,89)	4.894(7,02)	10.888 (15,61)	480 (0,69)	4.508 (6,46)	1.632 (2,34)
Belgium	65.573	62 (0,09)	14.253(21,74)	1.361 (2,08)	26.383 (40,23)	5.647 (8,61)	17.867 (27,25)
Austria	55.868	43 (0,08)	5.396(9,66)	531 (0,95)	40.266 (72,07)	4.170 (7,46)	5.463 (9,78)
Serbia	49.128	41.505 (84,48)	869(1,77)	4.478 (9,11)	275 (0,56)	1.637 (3,33)	365 (0,74)
Czech Republic	23.395	234 (1,00)	4.394(18,78)	1.012 (4,33)	9.410 (40,22)	3.261 (13,94)	5.084 (21,73)
Estonia	21.804	7.905 (36,25)	4.407(20,21)	7.110 (32,61)	671 (3,08)	482 (2,21)	1.229 (5,64)
Denmark	20.081	12 (0,06)	1.281(6,38)	1.082(5,39)	10.572 (52,65)	3.424 (17,05)	3.710 (18,48)
Hungary	16.651	83 (0,50)	2.699(16,21)	2.312 (13,88)	3.673 (22,06)	2.951 (17,72)	4.932 (29,62)
Portugal	14.587	278 (1,90)	2.616(17,93)	177 (1,22)	1.513 (10,37)	4.710 (32,29)	5.292 (36,28)
Ireland (!)	13.421	2.025 (15,09)	4.599(34,27)	396 (2,95)	366 (2,72)	1.657 (12,34)	4.379 (32,62)

": " No se dispone de datos.

Tabla 9. (cont.) Generación de residuos en la UE por actividad durante el año 2014 en miles de Toneladas y en porcentaje (%).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat (2017).

Country	Total	Mining and quarrying (%)	Manufacturing (%)	Energy (%)	Construction (%)	Other economic activities (%)	Households (%)
Norway	11.854	380 (3,21)	2.877(24,27)	151 (1,27)	2.694 (22,73)	2.379 (20,07)	3.373 (28,45)
Slovakia	8.901	289 (3,25)	2.624(29,48)	537 (6,03)	1.387 (15,58)	1.733 (19,47)	2.331 (26,19)
Luxembourg	7.073	130 (1,83)	286(4,04)	3 (0,04)	5.979 (84,54)	243 (3,43)	432 (6,11)
Lithuania	6.200	25 (0,40)	2.609(42,07)	101 (1,63)	435 (7,01)	1.162 (18,74)	1.869 (30,15)
Slovenia	4.686	8 (0,16)	1.315(28,06)	633 (13,51)	815 (17,39)	562 (12,00)	1.353 (28,88)
Bosnia and Herzegovina (¹)	4.457	72(1,62)	1.213(27,23)	3.171 (71,15)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Croatia	3.728	5 (0,14)	485(13,02)	120 (3,21)	621(16,66)	1.162 (31,17)	1.334 (35,79)
Latvia	2.621	5(0,20)	245(9,34)	727 (27,74)	454 (17,33)	709 (27,05)	481 (18,35)
FYR of Macedonia	2.187	75 (3,41)	1.485(67,92)	510 (23,33)	9 (0,43)	0 (0)	107 (4,91)
Cyprus	2.051	:	:	2 (0,09)	635 (30,95)	414 (20,16)	:
Malta	1.665	36(2,18)	25(1,47)	4 (0,24)	1.241 (74,54)	154 (9,27)	205 (12,31)
Kosovo (¹)	1.167	177(15,19)	80(6,87)	151 (12,97)	0 (0)	490 (42,01)	268 (22,97)
Montenegro	1.164	262(22,54)	61(5,21)	369 (31,67)	107 (9,20)	187 (16,09)	178 (15,30)
Liechtenstein	556	9(1,66)	11(1,99)	0 (0,05)	0 (0)	533 (95,94)	2 (0,36)

":." No se dispone de datos.

Como se puede apreciar, hay un cambio significativo en el orden de países de la UE más productores.

Turquía, país más productor en 2012, ahora se encuentra en el puesto número 13 de mayores productores. A excepción de este caso, el resto de países se encuentran ubicados en la misma posición, prácticamente.

Así pues, durante el año 2014, los países más productores de residuos fueron: Alemania, con 387.504 miles de Toneladas; Francia, con 327.997 miles de Toneladas; y Rumania, con 266.976 miles de Toneladas. Sin embargo, la fuente de estos datos (Eurostat) menciona que los datos de Rumania, Irlanda, Kosovo y Bosnia and Herzegovina, pertenecen a 2012, por lo que dicho ordenamiento no es fiable. Si obviáramos el dato de Rumania, el país que cierra el podio de mayores productores de residuos, sería Reino Unido, con 251.780 miles de Toneladas.

Por otra parte, España, se sitúa en el puesto número 11, con una producción de 110.952 miles de Toneladas.

A lo largo de estos dos años, se observa que hay fluctuaciones en la generación: como por ejemplo Alemania y Reino Unido, que produjeron más residuos; mientras que Francia disminuyó su cantidad generada.

En la Tabla 10, se muestran los datos relativos al tratamiento de estos residuos. Al igual que en la Tabla 9, se presta atención a los países que más volumen de residuos tratan. La lista coincide totalmente con la de los países más generadores, teniendo a Alemania, Francia y Rumania/Reino Unido en la parte más alta.

Sin embargo, si se presta mayor atención, dependiendo del tipo de tratamiento planteado, la lista varía. En el caso del reciclado (Recycling), el país que más utiliza este tratamiento es Italia, con un 77% del total de los residuos tratados. Seguidamente, Bélgica, con un 74% e Islandia, con un 66%, completarían los tres primeros puestos. Sin embargo, como en el caso de Rumania, los datos de Islandia se corresponden con los obtenidos en el año 2012, por lo que el dato no es del todo fiable. En ese caso, el tercer país con mayor tasa de reciclaje sería Dinamarca, con un 57,6%.

Tabla 10. Tratamiento de residuos en la UE durante el año 2014 en miles de Toneladas y porcentaje (%).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat (2017).

Country	Total Waste	Total Trated	Recycling (%)	Energy recovery (%)	Backfilling (%)	Incineration (%)	Disposal (%)
EU-28	2.598.140	2.144.640	837.160 (39,03)	104.840 (4,89)	231.760 (10,81)	35.620 (1,66)	935.260 (43,61)
Germany	387.504	370.741	158.205 (42,67)	38.987 (10,52)	93.953 (25,34)	8.378 (2,26)	71.217 (19,21)
France	327.997	304.406	163.916 (53,85)	13.384 (4,40)	31.621 (10,39)	6.061 (1,99)	89.426 (29,38)
Romania (!)	266.976	264.647	18.849 (7,12)	1.708 (0,65)	1.037 (0,39)	182 (0,07)	242.871 (91,77)
United Kingdom	251.780	207.262	89.416 (43,14)	1.938 (0,93)	21.701 (10,47)	7.557 (3,65)	86.651 (41,81)
Poland	179.018	182.435	92.126 (50,50)	3.851 (2,11)	39.141 (21,45)	1.835 (1,01)	45.482 (24,93)
Bulgaria	179.598	175.706	3.560 (2,03)	194 (0,11)	0 (0)	19 (0,01)	171.933 (97,85)
Sweden	167.027	163.287	15.179 (9,30)	7.617 (4,66)	2.532(1,55)	108 (0,07)	137.851 (84,42)
Netherlands	134.146	133.712	61.740 (46,17)	11.305 (8,45)	0 (0)	1.240 (0,93)	59.428 (44,44)
Italy	159.107	129.176	99.397 (76,95)	2.101 (1,63)	317 (0,25)	6.697 (5,18)	20.664 (16,00)
Spain	110.952	103.875	37.751 (36,34)	3.548 (3,42)	13.029 (12,54)	8 (0,01)	49.539 (47,69)
Finland	95.970	93.254	12.854 (13,78)	4.485 (4,81)	0 (0)	496 (0,53)	75.419 (80,87)
Turkey	73.075	79.268	23.014 (29,03)	566 (0,71)	:	36 (0,05)	: (:)
Greece	69.759	67.052	2.175 (3,24)	137 (0,20)	5.434 (8,10)	22 (0,03)	59.283 (88,41)
Austria	55.868	53.944	18.704 (34,67)	3.524 (6,53)	10.834 (20,08)	86 (0,16)	20.797 (38,55)
Serbia	49.128	49.445	1.285 (2,60)	56 (0,11)	0 (0)	0 (0)	48.104 (97,29)
Belgium	65.573	42.772	31.621 (73,93)	5.817 (13,60)	0 (0)	1.831 (4,28)	3.503 (8,19)
Estonia	21.804	20.734	4.150 (20,02)	514 (2,48)	2.463 (11,88)	0 (0)	13.607 (65,63)

Tabla 10. (cont.) Tratamiento de residuos en la UE durante el año 2014 en miles de Toneladas y porcentaje (%).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat (2017).

Country	Total Waste	Total Trated	Recycling (%)	Energy recovery (%)	Backfilling (%)	Incineration (%)	Disposal (%)
Czech Republic	23.395	19.868	9.552 (48,08)	1.016 (5,12)	5.785 (29,12)	79 (0,40)	3.435 (17,29)
Denmark	20.081	17.718	10.201 (57,57)	3.664 (20,68)	0 (0)	5 (0,03)	3.847 (21,71)
Hungary	16.651	14.320	7.096 (49,55)	1.222 (8,53)	506 (3,53)	94 (0,66)	5.402 (37,72)
Norway	11.854	11.686	4.731 (40,48)	4.188 (35,84)	616 (5,27)	54 (0,46)	2.097 (17,94)
Portugal	14.587	9.942	5.469 (55,01)	311 (3,13)	0 (0)	997 (10,03)	3.165 (31,84)
Luxembourg	7.073	8.534	3.695 (43,29)	210 (2,46)	1.363 (15,97)	0 (0)	3.266 (38,27)
Ireland (¹)	13.421	8.033	827 (10,29)	403 (5,02)	1.985 (24,71)	13 (0,17)	4.805 (59,81)
Slovakia	8.901	7.126	2.935 (41,19)	313 (4,40)	0 (0)	60 (0,84)	3.818 (53,58)
Slovenia	4.686	5.445	2.818 (51,75)	269 (4,94)	1.824 (33,51)	35 (0,64)	499 (9,16)
Lithuania	6.200	4.541	1.171 (25,80)	186 (4,10)	113 (2,50)	2 (0,05)	3.068 (67,56)
Croatia	3.728	3.464	1.579 (45,57)	49 (1,41)	69 (1,98)	0 (0)	1.768 (51,04)
Latvia	2.621	1.941	1.077 (55,51)	170 (8,75)	17 (0,88)	1 (0,03)	676 (34,83)
Cyprus	2.051	1.817	245 (13,47)	31 (1,70)	471 (25,92)	0 (0)	1.070 (58,90)
Malta	1.665	1.565	527 (33,70)	0 (0)	585 (37,37)	6 (0,39)	447 (28,54)
FYR of Macedonia	2.187	1.499	0 (0)	0 (0)	0 (0)	20 (1,30)	1.479 (98,68)
Montenegro	1.164	952	10 (1,03)	1 (0,15)	0 (0)	0 (0)	941 (98,62)
Iceland (¹)	556	521	344 (66,00)	14 (2,73)	3 (0,55)	0 (0)	160 (30,71)

Para el tratamiento de recuperación de energía (Energy Recovery), la lista estaría compuesta por Noruega, con un 35,8%; Dinamarca, con un 20,7%; y Bélgica, con un 13,6%.

Para el relleno de terreno (Backfilling), Malta (37,4%), Eslovenia (33,5%) y la República Checa (29,1%) conformarían los primeros puestos de esta lista.

En el caso de las incineraciones (Incineration), la lista estaría conformada por Portugal (10%), Italia (5,2%) y Bélgica (4,3%).

Por último, los residuos depositados en vertedero (Disposal), tendría la siguiente lista: Montenegro (98,8%), Macedonia (98,7%) y Bulgaria (97,8%).

En el caso de España, se obtiene que principalmente el tratamiento de residuos se corresponde al depósito en vertedero (47,7%) y al reciclaje (36,3%).

Esto supone que España aumentó la cantidad de residuos que se depositaban en vertedero, mientras que disminuyó la cantidad que se destinaban a reciclaje, con respecto a los datos de 2012.

En el global de la UE, de los 2.144.640 miles de Toneladas de residuos, se deposita en vertedero el 43,6%, mientras que 39% se dispone para ser reciclado. Lo cual supone una disminución del primer tratamiento y un aumento del segundo con respecto a los datos de 2012.

Al igual que los datos Europeos, se disponen de datos más recientes de generación en España, concretamente los referidos a los años 2013 y 2014. Los datos ofrecidos de construcción y servicios, corresponden al año 2013, mientras que el dato de industria corresponde al año 2014. A continuación, se referencian los datos mencionados (Tabla 11):

Tabla 11. Generación de residuos en España (2014)(miles de Toneladas).

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

	Peligrosos	No peligrosos	Total
Industria	1.310	37.417	38.727
Construcción	62	20.946	21.008
Servicios	494	5.422	5.916

De forma análoga, se publicó una nota de prensa más actualizada, con fecha de emisión del 28 de noviembre de 2016, con datos referidos al año 2014. En dicha nota, se comunica que la generación de residuos urbanos fue de 21,3 millones de Toneladas. Este dato supone un descenso del 4,95% con respecto al año 2012. Comparando el resto de datos citados, se observa

una clara disminución de los residuos citados con respecto al 2012. No se han encontrado datos más actualizados en el Eurostat para constatar si esta disminución es un hecho generalizado en la Unión Europea o solo es un caso aislado en España.

Como en el caso anterior, ahora se procederá al análisis de la gestión que tuvieron dichos residuos en España (Tabla 12).

Tabla 12. Tratamiento de los residuos generados en España en 2014 (miles de Toneladas). *Fuente: INE (2014).*

Tratamiento de residuos	Peligrosidad	Cantidad (miles de Toneladas)	Porcentaje (%)
Recuperación	NO PELIGROSO	35.639	36,0726133
	PELIGROSO	1.658	
	TOTAL GENERAL	37.298	
Operaciones de Relleno	NO PELIGROSO	13.021	12,5932087
	PELIGROSO	0	
	TOTAL GENERAL	13.021	
Vertido	NO PELIGROSO	49.009	47,9066124
	PELIGROSO	524	
	TOTAL GENERAL	49.534	
Incineración	NO PELIGROSO	3.405	3,42659845
	PELIGROSO	137	
	TOTAL GENERAL	3.543	
Total	NO PELIGROSO	101.075	100
	PELIGROSO	2.321	
	TOTAL GENERAL	103.397	

Se comprueba que los datos obtenidos de Eurostat, coinciden con los obtenidos por el INE, puesto que los porcentajes de los tratamientos coinciden.

Como se mencionó anteriormente, no se disponen de datos autonómicos de generación de residuos, a excepción de los residuos municipales, los cuales serán tratados en el siguiente punto.

2. RESIDUOS DOMÉSTICOS.

2.1. Producción de residuos domésticos.

Para comenzar este apartado, consideramos la definición de residuo doméstico de la Ley 22/2011: *"son residuos generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas. Se consideran también residuos domésticos los similares a los anteriores generados en servicios e industrias."*

Se incluyen también en esta categoría los residuos que se generan en los hogares de aparatos eléctricos y electrónicos, ropa, pilas, acumuladores, muebles y enseres así como los residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliaria.

Tendrán la consideración de residuos domésticos los residuos procedentes de limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas, los animales domésticos muertos y los vehículos abandonados".

Sin embargo, se ha de considerar las definiciones previas a las de la Ley 22/2011 de residuo doméstico, debido al tratamiento histórico que se está realizando en la presente Tesis. Para ello, consultamos la definición ofrecida por la Ley 10/1998. Sin embargo, el término definido en esta Ley, es "residuos urbanos o municipales".

«Residuos urbanos o municipales»: los generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como todos aquellos que no tengan la calificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en los anteriores lugares o actividades.

- *Tendrán también la consideración de residuos urbanos los siguientes: Residuos procedentes de la limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas.*
- *Animales domésticos muertos, así como muebles, enseres y vehículos abandonados.*
- *Residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliaria.*

Por tanto, se observa que las definiciones entre residuos urbanos, municipales y domésticos, son prácticamente idénticas. A cuenta de mantener el carácter histórico de la presente Tesis, se referirá al término correspondiente según la época a la que corresponda la información.

A continuación, se procede a mostrar la generación de residuos domésticos a nivel europeo, desde 1995 hasta 2014, reflejados en la Tabla 13.

Como se puede apreciar, en esta ocasión sólo 6 países sobrepasan las 10.000 miles de Toneladas en la UE. Estos son, por orden: Alemania (36.472 miles de Toneladas), Turquía (30.785 miles de Toneladas), Francia (29.996 miles de Toneladas), Italia (29.613 miles de Toneladas), Reino Unido (27.506 miles de Toneladas) y España (21.224 miles de Toneladas).

Teniendo en cuenta los datos disponibles, es interesante el hecho de poder comparar la generación interanual de residuos municipales de los países miembros de la UE (Tabla 13).

Se hace notar que en las Tablas 13 y 14, aparecen datos con el símbolo ":". Este símbolo indica que no se dispone de datos.

Tabla 13. Generación de residuos municipales por país de la Unión Europea en miles de toneladas (1995-2014).

Fuente: Eurostat (2017).

GEO/TIME	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
EU - 28	:	:	240.188	:	:	254.047	:	:	:
EU - 27	225.873	231.928	239.173	239.225	246.497	252.874	252.588	255.945	251.125
Belgium	4.613	4.567	4.650	4.603	4.702	4.830	4.802	4.981	4.824
Bulgaria	5.838	5.165	4.809	4.880	4.910	4.998	4.773	4.715	4.690
Czech Republic	3.120	3.200	3.280	3.017	3.365	3.434	2.798	2.845	2.857
Denmark	2.725	3.253	3.104	3.141	3.329	3.546	3.519	3.568	3.618
Germany	50.894	52.544	53.966	53.058	52.373	52.810	52.075	52.772	49.622
Estonia	533	565	593	557	569	633	509	553	567
Ireland	1.848	1.898	2.000	2.057	2.168	2.279	2.704	2.720	2.918
Greece	:	3.600	3.900	4.082	4.264	4.447	4.559	4.640	4.710
Spain	20.076	21.125	22.174	22.423	24.470	26.505	26.616	26.404	27.270
France	28.253	28.950	29.677	30.449	30.612	31.232	32.198	32.684	31.400
Croatia	:	:	1.015	:	:	1.173	:	:	:
Italy	25.780	25.960	26.605	26.846	28.364	28.959	29.409	29.864	30.035
Cyprus	387	400	411	418	426	436	456	465	481
Latvia	657	650	621	597	613	642	713	793	695
Lithuania	1.546	1.445	1.510	1.578	1.236	1.276	1.313	1.395	1.328
Luxembourg	240	242	253	266	278	285	285	291	306
Hungary	4.752	4.834	5.016	4.976	4.943	4.552	4.603	4.646	4.700
Malta	146	156	167	177	181	208	212	214	231
Netherlands	8.337	8.565	8.986	9.069	9.205	9.529	9.550	9.684	9.504
Austria	3.476	4.110	4.241	4.240	4.496	4.646	4.634	4.914	4.932
Poland	10.985	11.621	12.183	11.827	12.317	12.226	11.109	10.509	9.925
Portugal	3.529	3.740	4.013	4.198	4.427	4.705	4.709	4.595	4.693
Romania	7.758	7.375	7.347	6.246	7.066	7.961	7.539	8.365	7.611

": No se dispone de datos.

Tabla 13. (cont.) Generación de residuos municipales por país de la Unión Europea en miles de toneladas (1995-2014).

Fuente: Eurostat (2017).

GEO/TIME	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Slovenia	1.186	1.175	1.170	1.159	1.090	1.020	953	812	834
Slovakia	1.580	1.479	1.477	1.396	1.408	1.369	1.286	1.449	1.511
Finland	2.109	2.100	2.300	2.400	2.500	2.600	2.412	2.384	2.428
Sweden	3.405	3.458	3.678	3.869	3.794	3.793	3.907	4.149	4.156
United Kingdom	28.900	29.750	31.042	31.697	33.392	33.954	34.945	35.532	35.279
Iceland	114	117	120	123	126	130	133	137	140
Norway	2.722	2.761	2.721	2.858	2.650	2.755	1.629	1.780	1.836
Switzerland	4.240	4.280	4.294	4.369	4.555	4.731	4.794	4.936	4.916
Montenegro	:	:	:	:	:	:	:	:	:
FYR of Macedonia	:	:	:	:	:	:	:	:	:
Serbia	:	:	:	:	:	:	:	:	:
Turkey	27.234	29.348	31.944	32.973	30.470	30.617	31.031	30.999	31.081
Bosnia and Herzegovina	:	:	:	:	:	:	:	:	:
Kosovo	:	:	:	:	:	:	:	:	:

":" No se dispone de datos.

Tabla 13. (cont.) Generación de residuos municipales por país de la Unión Europea en miles de toneladas (1995-2014).

Fuente: Eurostat (2017).

GEO/TIME	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
EU - 28	252.798	255.399	259.403	261.430	261.089	257.089	253.923	250.644	245.061	242.339	240.636
EU - 27	251.488	253.950	257.749	259.711	259.300	255.346	252.293	248.999	243.391	240.618	238.999
Belgium	5.059	5.052	5.115	5.243	5.134	5.037	4.973	5.035	4.969	4.891	4.788
Bulgaria	4.619	4.502	4.387	4.172	4.486	4.449	4.094	3.732	3.364	3.135	3.192
Czech Republic	2.841	2.954	3.039	3.025	3.176	3.310	3.334	3.358	3.233	3.228	3.261
Denmark	3.757	3.990	4.021	4.313	4.560	4.206	:	4.349	4.421	4.437	4.450
Germany	48.434	46.555	46.426	47.887	48.367	48.466	49.237	50.237	49.759	49.570	51.102
Estonia	606	587	536	602	524	452	406	399	371	386	470
Ireland	3.001	3.041	3.385	3.398	3.224	2.953	2.846	2.823	2.693	:	:
Greece	4.782	4.853	4.927	5.002	5.077	5.154	5.917	5.586	5.585	:	:
Spain	25.746	25.683	26.209	26.154	25.317	25.108	23.774	22.672	21.896	21.184	20.836
France	32.444	33.366	33.990	34.630	34.714	34.504	34.535	35.019	34.198	33.996	33.703
Croatia	1.311	1.449	1.654	1.719	1.788	1.743	1.630	1.645	1.670	1.721	1.637
Italy	31.150	31.668	32.516	32.536	32.461	32.107	32.440	31.386	29.994	29.573	27.647
Cyprus	498	508	521	540	573	589	571	572	568	533	524
Latvia	720	716	760	861	752	753	680	721	613	704	726
Lithuania	1.260	1.287	1.326	1.354	1.369	1.206	1.253	1.339	1.330	1.280	1.270
Luxembourg	311	313	323	333	341	338	344	345	346	335	348
Hungary	4.592	4.646	4.711	4.594	4.553	4.312	4.033	3.809	3.988	3.738	3.795
Malta	250	252	253	266	276	268	249	245	247	246	256
Netherlands	9.746	9.769	9.761	9.922	9.868	9.738	9.484	9.479	9.203	8.840	8.895
Austria	4.687	4.732	4.933	4.951	4.997	4.921	4.701	4.807	4.883	4.905	4.833
Poland	9.759	12.169	12.235	12.264	12.194	12.053	12.032	12.129	12.084	11.295	10.330
Portugal	4.665	4.745	4.898	4.967	5.472	5.496	5.457	5.178	4.766	4.598	4.710
Romania	7.483	8.173	8.392	8.161	8.439	7.768	6.343	5.216	5.044	5.070	4.953

": No se dispone de datos.

Tabla 13. (cont.) Generación de residuos municipales por país de la Unión Europea en miles de toneladas (1995-2014).

Fuente: Eurostat (2017).

GEO/TIME	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Slovenia	969	989	1.036	1.060	1.095	1.069	1.004	852	744	853	892
Slovakia	1.400	1.468	1.524	1.579	1.686	1.654	1.719	1.679	1.657	1.645	1.733
Finland	2.453	2.506	2.600	2.675	2.768	2.562	2.519	2.719	2.738	2.682	2.630
Sweden	4.134	4.306	4.447	4.442	4.455	4.366	4.115	4.246	4.285	4.326	4.246
United Kingdom	36.121	35.121	35.479	34.780	33.424	32.507	31.955	31.066	30.413	30.890	31.131
Iceland	147	153	171	174	208	132	153	158	164	167	175
Norway	1.903	1.968	2.140	2.312	2.324	2.269	2.295	2.403	2.392	2.518	2.175
Switzerland	4.900	4.940	5.330	5.465	5.653	5.461	5.565	5.478	5.576	5.708	6.006
Montenegro	:	:	:	:	:	:	:	337	319	315	343
FYR of Macedonia	:	:	:	:	714	726	721	735	786	793	765
Serbia	:	:	1.730	2.067	2.550	2.636	2.650	2.710	2.620	2.410	2.130
Turkey	29.736	31.352	30.082	30.366	28.454	30.196	29.733	30.862	30.786	30.920	31.230
Bosnia and Herzegovina	:	:	:	:	1.367	1.362	1.276	1.307	1.303	1.192	1.335
Kosovo	:	:	:	:	:	:	:	:	754	726	:

": " No se dispone de datos.

Tabla 14. Incremento de generación de residuos municipales entre 1995-2014 y 2012-2014.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat (2017)

GEO/TIME	Incremento 1995-2014 (%)	Incremento 2012-2014 (%)
EU - 28	:	-1,805672873
EU - 27	5,811230205	-1,804503864
Belgium	3,793626707	-3,642584021
Bulgaria	-45,32374101	-5,112960761
Czech Republic	4,519230769	0,866068667
Denmark	63,30275229	0,65596019
Germany	0,408692577	2,699009224
Estonia	-11,81988743	26,68463612
Ireland	:	:
Greece	:	:
Spain	3,785614664	-4,841066862
France	19,2899869	-1,447453067
Croatia	:	-1,976047904
Italy	7,2420481	-7,82489831
Cyprus	35,4005168	-7,74647887
Latvia	10,5022831	18,4339315
Lithuania	-17,8525226	-4,5112782
Luxembourg	45	0,57803468
Hungary	-20,1388889	-4,83951856
Malta	75,3424658	3,6437247
Netherlands	6,69305506	-3,34673476
Austria	39,0391254	-1,02396068
Poland	-5,96267638	-14,5150612
Portugal	33,465571	-1,17498951
Romania	-36,1562258	-1,80412371
Slovenia	-24,7892074	19,8924731
Slovakia	9,6835443	4,58660229
Finland	24,703651	-3,94448503
Sweden	24,6989721	-0,91015169
United Kingdom	7,71972318	2,36083254
Iceland	53,5087719	6,70731707
Norway	-20,095518	-9,07190636
Switzerland	41,6509434	7,71162123
Montenegro	:	7,52351097
FYR of Macedonia	:	-2,67175573
Serbia	:	-18,7022901
Turkey	14,6728354	1,44221399
Bosnia and Herzegovina	:	2,45587107
Kosovo	:	:

":." No se dispone de datos.

A vista de los valores de la Tabla 14, se observa que los países de la UE que más han reducido su generación desde 1995 hasta 2012, han sido Bulgaria con un -45,3%; Rumania, con un -35,2%; y Eslovenia, con un -24,8%; aproximadamente. En contraparte, Malta, con un 75,3%; Dinamarca, con un 63,3%; e Islandia, con un 53,5%; fueron los mayores productores de este periodo.

Con respecto a los últimos años, Serbia, con un -18,7%; Polonia, con un -14,5% y Noruega, con un -9,1%; son los países europeos que más han disminuido su generación de residuos urbanos en el periodo 2012-2014. Los mayores productores en el mismo periodo, fueron: Estonia, con un 26,7%; Eslovenia, con un 19,9%; y Letonia, con un 18,4%.

En el caso de España, durante el periodo 1995-2014, generó en 2014 más residuos municipales, concretamente, un 3,8% con respecto al establecido en 1995. Sin embargo, si se toma de referencia el año 2012, ha disminuido su generación un -4,8%. Comparando los valores medios de la UE en dichos periodos, España ha generado menos cantidad de residuos municipales que dicha media, establecida en 5,8% (con respecto a la generación de 1995) y -1,8% (con respecto a 2012).

De la misma forma que en el apartado de residuos generales, Eurostat facilita información sobre el método de tratamiento de los residuos municipales en Europa (Tabla 15).

De la información de los datos de la Tabla 15, se comprueba de forma general que en la UE, al final del periodo mostrado, el depósito en vertedero (landfill), experimentó un descenso del -54,4% con respecto al año 1995; mientras que hay un aumento generalizado en las demás formas de tratamiento de residuos municipales, como son la incineración (incineration; con un 95,5%), reciclado (recycling; con un 172,3%) y compostaje (composting; con un 170,9%).

Con respecto a los dos años de estudio (2012-2014), se obtiene que la situación se mantiene: hay descenso en el depósito en vertedero (-13,5%); mientras que el tratamiento de residuos por otros métodos aumenta, como el reciclado (4,6%), la incineración (6,7%) y el compostaje (6,6%).

Tabla 15. Tratamiento de residuos municipales en Europa, durante el periodo 1995-2015, en millones de Toneladas.

Fuente: Eurostat (2017)

Municipal waste landfilled, incinerated, recycled and composted in the EU-27																						
	95	96	97	98	99	2000	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	(%) 1995- 2014	(%) 2012- 2014
Million tonnes																						
Landfill	144	142	143	140	139	139	135	131	124	117	109	108	106	99	96	92	84	76	70	66	-54,4	-13,5%
Incineration	32	32	35	35	36	39	40	41	41	44	48	51	52	55	56	57	60	59	62	63	95,9	6,7%
Recycling	25	28	32	35	40	40	42	46	47	49	52	54	59	60	61	62	64	65	65	68	172,3	4,6%
Composting	14	16	17	18	19	24	24	26	26	28	29	31	32	35	35	34	34	36	37	38	170,0	6,6%
Other	10	14	12	12	12	11	12	12	12	13	16	13	11	10	7	7	6	6	6	5	-52,2	-19,1%

A continuación, en las Tablas 16 y 17, se muestran los datos de generación y tratamiento de residuos municipales en los años 2012 y 2014, mientras que en la Tabla 18-21, se recogen la cantidad de residuos municipales tratados por método de tratamiento utilizado por país miembro de la UE durante el periodo 2006 a 2014.

Como primer dato, se puede apreciar que salvo algunos países, como Serbia, Estonia y Bosnia y Herzegovina, todos los demás superan el 80% a la hora del tratamiento de los residuos con respecto a la generación. De forma general, se establece que en Europa, la forma más predominante de tratamiento de residuos consiste en el depósito en vertedero o en operaciones de relleno, seguido del reciclado, la incineración y, finalmente, el compostaje.

Debido a la cantidad de datos generados, se comenta solamente de forma sucinta los de España, país donde se ha realizado el estudio.

Viendo los datos concretos de 2012 y 2014, se aprecia que la cultura en el tema de residuos municipales de España continua siendo mayoritariamente su deposición en vertedero (60,57% en 2012 y 57,70% en 2014). Sin embargo, se ve que en estos dos años, se ha producido una reducción de este método de tratamiento (-10,31%), aumentando la popularidad de otros métodos, como la incineración (11,78%) y el compostaje (22,43%). El último método expuesto, el reciclado, experimenta una reducción porcentual sustanciosa durante este periodo concreto (-21,30%).

Si consultamos el otro periodo de estudio (2006-2014), se ve que las pautas del periodo 2012-2014 no son una casualidad. Hay una notable disminución en el porcentaje de depósitos en vertedero (-30,23%); en el reciclaje, se sigue experimentando una regresión con respecto al año 2006, pero no tan acentuada como la de los depósitos en vertedero (-3,40%); la incineración mantiene un ligero aumento (0,46%); sin embargo, la gran sorpresa es el compostaje, que experimenta una acentuada regresión con respecto al año 2006 (-56,29%).

Tabla 16. Tratamiento de residuos municipales en miles de Toneladas (2012). Fuente: Eurostat (2017).

GEO/TIME	Residuos generados	Residuos tratados	Porcentaje sobre residuos tratados (%)	Landfill/ disposal(%)	Total incineration (including energy recovery) (%)	Material recycling (%)	Composting and digestion (%)
EU - 28	245.061	238.774	97,43	77.613 (32,50)	59.403 (24,88)	65.647 (27,49)	36.110 (15,12)
EU - 27	243.391	237.146	97,43	76.233 (32,15)	59.402 (25,05)	65.428 (27,59)	36.084 (15,22)
Belgium	4.969	4.717	94,93	32 (0,68)	2.047 (43,40)	1.600 (33,92)	1.038 (22,01)
Bulgaria	3.364	3.164	94,05	2.323 (73,42)	0 (0,00)	749 (23,67)	92 (2,91)
Czech Republic	3.233	3.233	100	1.828 (56,54)	654 (20,23)	665 (20,57)	85 (2,63)
Denmark	4.421	4.421	100	107 (2,42)	2.454 (55,51)	1.135 (25,67)	725 (16,40)
Germany	49.759	49.759	100	107 (0,22)	17.192 (34,55)	23.596 (47,42)	8.864 (17,81)
Estonia	371	247	66,58	129 (52,23)	47 (19,03)	52 (21,05)	19 (7,69)
Ireland	2.693	2.439	90,57	1.028 (42,15)	427 (17,51)	829 (33,99)	156 (6,40)
Greece	5.585	5.585	100	4.507 (80,70)	0 (0,00)	869 (15,56)	209 (3,74)
Spain	21.896	21.896	100	13.263 (60,57)	2.112 (9,65)	4.277 (19,53)	2.245 (10,25)
France	34.198	34.198	100	9.120 (26,67)	12.141 (35,50)	7.217 (21,10)	5.720 (16,73)
Croatia	1.670	1.627	97,42	1.380 (84,82)	2 (0,12)	220 (13,52)	26 (1,60)
Italy	29.994	28.765	95,90	11.720 (40,74)	5.529 (19,22)	7.177 (24,95)	4.339 (15,08)
Cyprus	568	528	92,96	451 (85,42)	0 (0,00)	70 (13,26)	7 (1,33)
Latvia	613	613	100	516 (84,18)	0 (0,00)	84 (13,70)	13 (2,12)
Lithuania	1.330	1.283	96,47	971 (75,68)	0 (0,00)	261 (20,34)	51 (3,98)
Luxembourg	346	346	100	61 (17,63)	121 (34,97)	96 (27,75)	68 (19,65)
Hungary	3.988	3.988	100	2.609 (65,42)	364 (9,13)	832 (20,86)	183 (4,59)
Malta	247	234	94,74	203 (86,75)	1 (0,43)	20 (8,55)	10 (4,27)
Netherlands	9.203	9.202	99,99	138 (1,50)	4.515 (49,07)	2.196 (23,86)	2.353 (25,57)
Austria	4.883	4.718	96,62	207 (4,39)	1.693 (35,88)	1.168 (24,76)	1.650 (34,97)
Poland	12.084	9.581	79,29	7.158 (74,71)	51 (0,53)	1.244 (12,98)	1.128 (11,77)
Portugal	4.766	4.766	100	2.593 (54,41)	930 (19,51)	549 (11,52)	694 (14,56)

Tabla 16. (cont.) Tratamiento de residuos municipales en miles de Toneladas (2012). Fuente: Eurostat (2017).

GEO/TIME	Residuos generados	Residuos tratados	Porcentaje sobre residuos tratados (%)	Landfill / disposal (%)	Total incineration (including energy recovery) (%)	Material recycling (%)	Composting and digestion (%)
Romania	5.044	4.261	84,48	3.427 (80,43)	89 (2,09)	165 (3,87)	580 (13,61)
Slovenia	744	639	85,89	316 (49,45)	10 (1,56)	270 (42,25)	42 (6,57)
Slovakia	1.657	1.600	96,56	1.211 (75,69)	168 (10,50)	140 (8,75)	81 (5,06)
Finland	2.738	2.738	100	901 (32,91)	925 (33,78)	589 (21,51)	323 (11,80)
Sweden	4.285	4.285	100	27 (0,63)	2.233 (52,11)	1.403 (32,74)	621 (14,49)
United Kingdom	30.413	29.940	98,44	11.281 (37,68)	5.698 (19,03)	8.173 (27,30)	4.788 (15,99)
Iceland	164	164	100	110 (67,07)	8 (4,88)	39 (23,78)	7 (4,27)
Norway	2.392	2.343	97,95	44 (1,88)	1.346 (57,45)	620 (26,46)	333 (14,21)
Switzerland	5.576	5.576	100	0 (0,00)	2.786 (49,96)	1.939 (34,77)	851 (15,26)
Montenegro	319	280	87,77	277 (98,93)	0 (0,00)	3 (1,07)	0 (0,00)
FYR of Macedonia	786	786	100	786 (100)	: (:)	: (:)	: (:)
Serbia	2.620	1.830	69,85	1.830 (100)	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)
Turkey	30.786	25.707	83,5	25.552 (99,40)	: (:)	: (:)	155 (0,60)
Bosnia and Herzegovina	1.303	873	67	873 (100)	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)
Kosovo	754	:	:	:	: (:)	: (:)	: (:)

": " No se dispone de datos.

Tabla 17. Tratamiento de residuos municipales en miles de Toneladas (2014). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostats (2017).

GEO/TIME	Residuos generados	Residuos tratados	Porcentaje sobre residuos tratados (%)	Landfill / disposal (%)	Total incineration (including energy recovery) (%)	Material recycling (%)	Composting and digestion (%)
EU - 28	240.636	236.856	98,43	67.447 (28,48)	63.284 (26,72)	68.076 (28,74)	38.049 (16,06)
EU - 27	238.999	235.274	98,44	66.137 (28,11)	63.281 (26,90)	67.840 (28,83)	38.016 (16,16)
Belgium	4.788	4.672	97,58	49 (1,05)	2.075 (44,41)	1.578 (33,78)	970 (20,76)
Bulgaria	3.192	3.004	94,11	2.217 (73,80)	51 (1,70)	677 (22,54)	59 (1,96)
Czech Republic	3.261	3.261	100	1.827 (56,03)	604 (18,52)	736 (22,57)	93 (2,85)
Denmark	4.450	4.450	100	56 (1,26)	2.385 (53,60)	1.198 (26,92)	811 (18,22)
Germany	51.102	49.985	97,81	123 (0,25)	16.318 (32,65)	24.302 (48,62)	9.242 (18,49)
Estonia	470	398	84,68	30 (7,54)	222 (55,78)	125 (31,41)	22 (5,53)
Ireland	:	:	:	: (:)	: (:)	: (:)	: (:)
Greece	:	:	:	: (:)	: (:)	: (:)	: (:)
Spain	20.836	20.836	100	12.023 (57,70)	2.394 (11,49)	3.526 (16,92)	2.894 (13,89)
France	33.703	33.703	100	8.691 (25,79)	11.794 (34,99)	7.436 (22,06)	5.782 (17,16)
Croatia	1.637	1.582	96,64	1.310 (82,81)	3 (0,19)	236 (14,92)	34 (2,15)
Italy	27.647	27.797	100,54	9.332 (33,57)	5.868 (21,11)	7.732 (27,82)	4.865 (17,50)
Cyprus	524	491	93,70	398 (81,06)	4 (0,81)	71 (14,46)	18 (3,67)
Latvia	726	711	97,93	515 (72,43)	0 (0,00)	170 (23,91)	26 (3,66)
Lithuania	1.270	1.247	98,19	748 (59,98)	113 (9,06)	268 (21,49)	119 (9,54)
Luxembourg	348	348	100	62 (17,82)	119 (34,20)	99 (28,45)	67 (19,25)
Hungary	3.795	3.713	97,84	2.181 (58,74)	373 (10,05)	923 (24,86)	236 (6,36)
Malta	256	240	93,75	220 (91,67)	1 (0,42)	19 (7,92)	0 (0,00)
Netherlands	8.895	8.895	100	128 (1,44)	4.238 (47,64)	2.112 (23,74)	2.417 (27,17)
Austria	4.833	4.673	96,69	194 (4,15)	1.756 (37,58)	1.231 (26,34)	1.492 (31,93)
Poland	10.330	10.331	100	5.437 (52,63)	1.560 (15,10)	2.180 (21,10)	1.154 (11,17)

": " No se dispone de datos.

Tabla 17. (cont.) Tratamiento de residuos municipales en miles de Toneladas (2014).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostats (2017).

GEO/TIME	Residuos generados	Residuos tratados	Porcentaje sobre residuos tratados (%)	Landfill / disposal (%)	Total incineration (including energy recovery) (%)	Material recycling (%)	Composting and digestion (%)
Portugal	4.710	4.710	100	2.307 (48,98)	974 (20,68)	765 (16,24)	665 (14,12)
Romania	4.953	4.334	87,5	3.558 (82,10)	133 (3,07)	253 (5,84)	391 (9,02)
Slovenia	892	530	59,42	208 (39,25)	2 (0,38)	259 (48,87)	62 (11,70)
Slovakia	1.733	1.528	88,17	1.158 (75,79)	190 (12,43)	88 (5,76)	91 (5,96)
Finland	2.630	2.630	100	458 (17,41)	1.316 (50,04)	474 (18,02)	382 (14,52)
Sweden	4.246	4.246	100	27 (0,64)	2.102 (49,51)	1.418 (33,40)	699 (16,46)
United Kingdom	31.131	30.514	98,02	8.656 (28,37)	8.263 (27,08)	8.503 (27,87)	5.091 (16,68)
Iceland	175	174	99,43	116 (66,67)	7 (4,02)	37 (21,26)	15 (8,62)
Norway	2.175	2.127	97,79	60 (2,82)	1.148 (53,97)	567 (26,66)	351 (16,50)
Switzerland	6.006	6.006	100	0 (0,00)	2.790 (46,45)	1.960 (32,63)	1.256 (20,91)
Montenegro	343	332	96,79	306 (92,17)	0 (0,00)	27 (8,13)	0 (0,00)
FYR of Macedonia	765	765	100	765 (100)	: (:)	: (:)	: (:)
Serbia	2.130	1.685	79,11	1.670 (99,11)	0 (0,00)	15 (0,89)	0 (0,00)
Turkey	31.230	27.990	89,62	27.864 (99,55)	0 (0,00)	: (:)	126 (0,45)
Bosnia and Herzegovina	1.335	894	66,97	894 (100)	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)
Kosovo	:	:	:	: (:)	: (:)	: (:)	: (:)

": " No se dispone de datos.

Tabla 18. Tratamiento de residuos municipales en miles de Toneladas (2006-2014) (Landfill/Deposital).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostats (2017).

GEO/TIME	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Incremento 2012-2014 (%)	Incremento 2006-2014 (%)
EU - 28	109.656	107.442	100.924	97.650	93.354	85.378	77.613	71.879	67.447	-15,07	-62,58
EU - 27	108.435	105.793	99.194	95.959	91.817	83.882	76.233	70.466	66.137	-15,27	-63,96
Belgium	492	499	212	164	87	48	32	42	49	34,69	-904,08
Bulgaria	2.751	2.980	3.359	3.421	3.041	2.568	2.323	2.167	2.217	-4,78	-24,09
Czech Republic	2.043	2.121	2.057	2.114	2.162	2.167	1.828	1.815	1.827	-0,05	-11,82
Denmark	203	204	175	130	:	111	107	78	56	-91,07	-262,50
Germany	307	299	286	176	206	247	107	135	123	13,01	-149,59
Estonia	373	390	333	287	267	239	129	53	30	-330,00	-1143,33
Ireland	1.981	2.015	1.939	1.724	1.496	1.344	1.028	:	:	:	:
Greece	4.295	3.999	4.181	4.181	4.903	4.578	4.507	:	:	:	:
Spain	15.657	15.569	13.091	14.540	14.789	14.276	13.263	11.801	12.023	-10,31	-30,23
France	12.318	12.372	10.995	10.802	10.745	9.677	9.120	8.777	8.691	-4,94	-41,73
Croatia	1.221	1.649	1.731	1.691	1.537	1.496	1.380	1.413	1.310	-5,34	6,79
Italy	17.462	16.912	16.069	15.538	15.015	13.206	11.720	10.914	9.332	-25,59	-87,12
Cyprus	499	512	531	540	490	461	451	423	398	-13,32	-25,38
Latvia	670	735	705	694	617	531	516	521	515	-0,19	-30,10
Lithuania	1.211	1.245	1.237	1.093	1.079	1.034	971	798	748	-29,81	-61,90
Luxembourg	61	60	60	61	62	62	61	61	62	1,61	1,61
Hungary	3.792	3.429	3.341	3.212	2.838	2.563	2.609	2.415	2.181	-19,62	-73,87
Malta	219	255	266	257	226	205	203	209	220	7,73	0,45

": " No se dispone de datos.

Tabla 18.(cont.) Tratamiento de residuos municipales en miles de Toneladas (2006-2014) (Landfill/Deposit)

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostats (2017).

GEO/TIME	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Incremento 2012-2014 (%)	Incremento 2006-2014 (%)
Netherlands	232	199	154	152	145	151	138	131	128	-7,81	-81,25
Austria	485	427	373	302	153	230	207	199	194	-6,70	-150,00
Poland	8.987	9.098	8.716	7.915	7.428	7.659	7.158	5.979	5.437	-31,65	-65,29
Portugal	3.143	3.170	3.530	3.342	3.381	3.048	2.593	2.320	2.307	-12,40	-36,24
Romania	6.294	6.122	6.486	6.164	4.813	4.057	3.427	3.503	3.558	3,68	-76,90
Slovenia	725	688	685	628	571	481	316	224	208	-51,92	-248,56
Slovakia	1.169	1.210	1.276	1.264	1.325	1.240	1.211	1.152	1.158	-4,58	-0,95
Finland	1.504	1.411	1.406	1.180	1.136	1.093	901	672	458	-96,72	-228,38
Sweden	226	186	140	58	38	33	27	28	27	0,00	-737,04
United Kingdom	21.335	19.685	17.590	16.020	14.686	12.574	11.281	10.516	8.656	-30,33	-146,48
Iceland	117	117	155	94	110	108	110	110	116	5,17	-0,86
Norway	390	432	415	324	137	56	44	52	60	26,67	-550,00
Switzerland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Montenegro	:	:	:	:	:	297	277	278	306	9,48	:
FYR Macedonia	:	:	531	726	721	735	786	793	765	-2,75	:
Serbia	1.040	1.241	1.520	1.581	1.889	2.090	1.830	1.920	1.670	-9,58	37,72
Turkey	24.709	25.484	23.798	25.700	24.904	26.319	25.552	25.267	27.864	8,30	11,32
Bosnia and Herz.	:	:	1.220	1.002	1.042	1.034	873	894	894	2,35	:
Kosovo	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

": " No se dispone de datos.

Tabla 19. Tratamiento de residuos municipales en miles de Toneladas (2006-2014) (Total incineration (including energy r.)).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostats (2017)

GEO/TIME	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Incremento 2012-2014 (%)	Incremento 2006-2014 (%)
EU - 28	51.345	51.846	54.833	55.568	57.211	60.191	59.403	61.696	63.284	6,13	18,87
EU - 27	51.345	51.846	54.833	55.568	57.211	60.191	59.402	61.695	63.281	6,13	18,86
Belgium	1.707	1.978	2.013	1.940	1.975	2.041	2.047	2.125	2.075	1,35	17,73
Bulgaria	0	0	0	0	0	0	0	49	51	100,00	100,00
Czech Republic	392	390	369	372	497	610	654	631	604	-8,28	35,10
Denmark	2.138	2.203	2.199	2.025	:	2.434	2.454	2.443	2.385	-2,89	10,36
Germany	17.293	17.324	17.247	17.698	18.256	18.358	17.192	16.707	16.318	-5,36	-5,97
Estonia	1	2	1	1	0	0	47	214	222	78,83	99,55
Ireland	0	0	82	111	109	196	427	:	:	:	:
Greece	0	0	0	0	0	0	0	:	:	:	:
Spain	2.383	2.591	2.170	2.241	2.044	2.342	2.112	2.492	2.394	11,78	0,46
France	11.283	11.202	12.166	11.950	11.730	12.419	12.141	12.099	11.794	-2,94	4,33
Croatia	0	0	0	0	0	0	2	1	3	33,33	100,00
Italy	4.121	4.029	4.372	4.770	5.440	5.593	5.529	5.970	5.868	5,78	29,77
Cyprus	0	0	0	0	0	0	0	0	4	100,00	100,00
Latvia	5	3	3	1	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Lithuania	0	0	0	0	1	7	0	92	113	100,00	100,00
Luxembourg	120	123	124	121	123	124	121	119	119	-1,68	-0,84
Hungary	389	382	393	406	406	408	364	336	373	2,41	-4,29
Malta	0	0	0	0	0	3	1	1	1	0,00	100,00

": No se dispone de datos.

Tabla 19. (cont.) Tratamiento de residuos municipales en miles de Toneladas (2006-2014) (Total incineration (including energy r.))

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostats (2017).

GEO/TIME	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Incremento 2012-2014 (%)	Incremento 2006-2014 (%)
Netherlands	3.253	3.267	4.936	4.809	4.675	4.678	4.515	4.303	4.238	-6,54	23,24
Austria	1.430	1.453	1.357	1.440	1.636	1.678	1.693	1.716	1.756	3,59	18,56
Poland	45	41	40	46	39	45	51	766	1.560	96,73	97,12
Portugal	978	948	993	1.083	1.058	1.088	930	1.091	974	4,52	-0,41
Romania	0	0	0	0	21	47	89	97	133	33,08	100
Slovenia	1	0	13	14	9	11	10	4	2	-400	50
Slovakia	190	180	157	183	183	186	168	174	190	11,58	0
Finland	222	310	478	463	556	678	925	1.137	1.316	29,71	83,13
Sweden	2.093	2.174	2.272	2.148	2.099	2.206	2.233	2.192	2.102	-6,23	0,43
United Kingdom	3.302	3.245	3.448	3.747	4.124	5.040	5.698	6.510	8.263	31,04	60,04
Iceland	13	17	13	11	12	10	8	7	7	-14,29	-85,71
Norway	675	866	873	941	1.154	1.341	1.346	1.446	1.148	-17,25	41,2
Switzerland	2.660	2.680	2.830	2.660	2.757	2.732	2.786	2.798	2.790	0,14	4,66
Montenegro	:	:	:	:	:	0	0	0	0	0	:
FYR of Macedonia	:	:	0	:	:	0	:	:	:	:	:
Serbia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Turkey	0	0	0	0	0	0	:	:	0	:	0
Bosnia and Herz.	:	:	0	0	0	0	0	0	0	0	:
Kosovo	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

": " No se dispone de datos.

Tabla 20. Tratamiento de residuos municipales en miles de Toneladas (2006-2014) (Material recycling).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostats (2017).

GEO/TIME	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Incremento 2012-2014 (%)	Incremento 2006-2014 (%)
EU - 28	:	59.520	60.122	61.486	62.532	64.467	65.647	64.957	68.076	3,57	:
EU - 27	54.314	59.480	60.087	61.458	62.479	64.344	65.428	64.730	67.840	3,56	19,94
Belgium	1.601	1.741	1.664	1.697	1.672	1.707	1.600	1.548	1.578	-1,39	-1,46
Bulgaria	839	858	871	887	1.003	895	749	787	677	-10,64	-23,93
Czech Republic	201	276	280	353	452	496	665	686	736	9,65	72,69
Denmark	977	1.149	1.559	1.310	:	1.187	1.135	1.152	1.198	5,26	18,45
Germany	21.195	22.555	22.752	22.204	22.476	23.135	23.596	23.094	24.302	2,91	12,78
Estonia	70	122	78	52	41	58	52	49	125	58,40	44,00
Ireland	1.064	1.081	977	902	910	861	829	:	:	:	:
Greece	551	905	797	936	872	832	869	:	:	:	:
Spain	3.646	3.496	3.898	3.811	4.175	3.782	4.277	3.284	3.526	-21,30	-3,40
France	5.661	5.964	5.972	6.004	6.143	7.220	7.217	7.320	7.436	2,95	23,87
Croatia	:	39	35	28	53	123	220	228	236	6,78	:
Italy	3.813	5.536	4.631	6.042	6.107	7.149	7.177	7.335	7.732	7,18	50,69
Cyprus	22	28	42	49	61	72	70	70	71	1,41	69,01
Latvia	29	38	43	56	60	62	84	142	170	50,59	82,94
Lithuania	14	80	101	87	43	244	261	261	268	2,61	94,78
Luxembourg	84	86	89	89	93	98	96	95	99	3,03	15,15
Hungary	432	490	607	576	641	654	832	799	923	9,86	53,20
Malta	6	5	8	9	13	19	20	20	19	-5,26	68,42

": No se dispone de datos.

Tabla 20.(cont.) Tratamiento de residuos municipales en miles de Toneladas (2006-2014) (Material recycling).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostats (2017).

GEO/TIME	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Incremento 2012-2014 (%)	Incremento 2006-2014 (%)
Netherlands	2.247	2.388	2.450	2.384	2.354	2.291	2.196	2.112	2.112	-3,98	-6,39
Austria	1.259	1.318	1.476	1.492	1.272	1.146	1.168	1.202	1.231	5,12	-2,27
Poland	487	580	895	1.421	1.783	1.173	1.244	1.499	2.180	42,94	77,66
Portugal	475	528	567	648	619	595	549	594	765	28,24	37,91
Romania	41	34	72	78	162	173	165	214	253	34,78	83,79
Slovenia	145	217	190	189	203	258	270	239	259	-4,25	44,02
Slovakia	14	39	60	72	98	104	140	108	88	-59,09	84,09
Finland	677	695	715	615	495	592	589	510	474	-24,26	-42,83
Sweden	1.658	1.591	1.520	1.604	1.414	1.406	1.403	1.443	1.418	1,06	-16,93
United Kingdom	7.107	7.680	7.775	7.890	8.069	8.134	8.173	8.468	8.503	3,88	16,42
Iceland	:	:	36	21	24	32	39	42	37	-5,41	:
Norway	574	642	670	620	609	598	620	590	567	-9,35	-1,23
Switzerland	1.785	1.855	1.893	1.871	1.878	1.895	1.939	1.919	1.960	1,07	8,93
Montenegro	:	:	:	:	:	0	3	3	27	88,89	:
FYR of Macedonia	:	:	0	:	:	0	:	:	:	:	:
Serbia	0	0	0	0	0	0	0	25	15	100,00	100,00
Turkey	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
Bosnia and Herzegovina	:	:	0	0	0	0	0	0	0	0,00	:
Kosovo	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

": " No se dispone de datos.

Tabla 21. Tratamiento de residuos municipales en miles de Toneladas (2006-2014) (Composting and digestion).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostats (2017)

GEO/TIME	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Incremento 2012-2014 (%)	Incremento 2006-2014 (%)
EU - 28	:	31.884	35.096	34.876	34.701	34.688	36.110	37.321	38.049	5,10	:
EU - 27	30.544	31.869	35.081	34.864	34.688	34.674	36.084	37.291	38.016	5,08	19,65
Belgium	1.190	1.236	1.047	1.025	1.057	1.028	1.038	1.031	970	-7,01	-22,68
Bulgaria	0	0	0	0	0	84	92	107	59	-55,93	100,00
Czech Republic	23	30	50	56	76	74	85	96	93	8,60	75,27
Denmark	703	757	627	741	:	616	725	764	811	10,60	13,32
Germany	7.631	7.709	8.082	8.388	8.298	8.498	8.864	8.536	9.242	4,09	17,43
Estonia	23	17	28	43	33	35	19	20	22	13,64	-4,55
Ireland	55	79	107	88	107	157	156	:	:	:	:
Greece	81	98	100	37	142	175	209	:	:	:	:
Spain	4.523	4.498	6.158	4.516	2.767	2.272	2.245	3.607	2.894	22,43	-56,29
France	4.728	5.091	5.581	5.748	5.917	5.703	5.720	5.800	5.782	1,07	18,23
Croatia	:	15	15	12	13	14	26	29	34	23,53	:
Italy	2.433	2.599	3.106	3.490	3.943	3.980	4.339	4.319	4.865	10,81	49,99
Cyprus	0	0	0	0	0	0	7	8	18	61,11	100,00
Latvia	5	5	5	2	4	8	13	40	26	50,00	80,77
Lithuania	11	22	15	16	19	23	51	95	119	57,14	90,76
Luxembourg	57	64	68	67	67	62	68	61	67	-1,49	14,93
Hungary	58	64	85	90	148	184	183	188	236	22,46	75,42
Malta	28	6	0	0	0	9	10	0	0	0,00	0,00

": " No se dispone de datos.

Tabla 21. (cont.) Tratamiento de residuos municipales en miles de Toneladas (2006-2014) (Composting and digestion).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostats (2017).

GEO/TIME	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Incremento 2012-2014 (%)	Incremento 2006-2014 (%)
Netherlands	2.317	2.401	2.330	2.393	2.310	2.360	2.353	2.294	2.417	2,65	4,14
Austria	1.661	1.661	1.683	1.553	1.520	1.578	1.650	1.627	1.492	-10,59	-11,33
Poland	358	363	386	672	790	951	1.128	1.231	1.154	2,25	68,98
Portugal	302	321	382	424	399	447	694	593	665	-4,36	54,59
Romania	0	2	3	4	650	436	580	455	391	-48,34	100,00
Slovenia	15	15	17	20	22	45	42	58	62	32,26	75,81
Slovakia	48	65	64	64	59	69	81	69	91	10,99	47,25
Finland	197	258	234	305	332	355	323	362	382	15,45	48,43
Sweden	470	491	522	555	564	602	621	663	699	11,16	32,76
United Kingdom	3.626	4.016	4.402	4.566	4.786	4.922	4.788	4.904	5.091	5,95	28,78
Iceland	:	:	4	6	8	8	7	8	15	53,33	:
Norway	289	344	343	356	358	361	333	397	351	5,13	17,66
Switzerland	885	930	930	930	930	851	851	991	1.256	32,25	29,54
Montenegro	:	:	:	:	:	0	0	0	0	0,00	:
FYR of Macedonia	:	:	0	:	:	0	:	:	:	:	:
Serbia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Turkey	255	334	276	315	194	291	155	160	126	-23,02	-102,38
Bosnia and Herzegovina	:	:	0	0	0	0	0	0	0	0,00	:
Kosovo	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

": No se dispone de datos.

Se toma a continuación como referencia la nota de prensa nº866 del INE, de 7 de octubre de 2014. Como se indicó anteriormente, dicha nota de prensa establece la recogida de residuos urbanos en 22,4 millones de Toneladas, aumentado su generación un 3,8% con respecto al año anterior (2011). Así mismo, dicha nota de prensa ofrece el siguiente gráfico (Figura 8).

Residuos urbanos recogidos.
Unidad: millones de toneladas

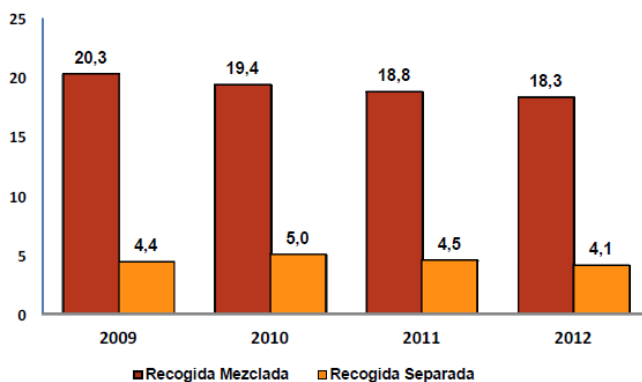


Figura 8. Residuos urbanos/municipales recogidos en España en millones de Toneladas en el periodo 2009-2012 . Fuente: INE (2014).

Se puede apreciar una tendencia a la reducción de generación de residuos municipales, tanto mezclada como en la separación en origen. A continuación, se exponen de forma más detallada esta generación de residuos (Tabla 22).

Tabla 22. Cantidad y composición de residuos municipales en Toneladas/año (2012). Fuente: MAGRAMA e INE (2014)

Modalidad de recogida	Código LER – RESIDUO		T/año	%
Residuos mezclados	23 03 01	Mezclas de residuos municipales	17.911.465	85
Residuos recogidos separadamente	20 01 01	Papel y cartón	1.085.574	15
	15 01 01	Envases de papel y cartón		
	20 01 02	Vidrio	8.818	
	20 01 08	Residuos biodegradables de cocinas y restaurantes	547.564	
	20 02 01	Residuos biodegradables de parques y jardines	249.101	
	15 01 06	Envases mezclados	641.266	
	15 01 07	Envases de vidrio	726.729	
TOTAL			21.170.517	100

La Tabla 22 indica que sólo el 15% de los residuos municipales generados fueron recogidos mediante mecanismos de separación en origen.

La recogida separada mencionada en la tabla anterior, queda desglosada en la Tabla 23.

Tabla 23. Recogida de residuos urbanos de forma separada en miles de Toneladas (2012). *Fuente: INE (2014).*

Residuos de recogida separada	Cantidad (T/año)	% sobre el total	% de variación interanual
Total	4.080,70	100	-9,5
Papel y cartón	1.085,60	26,6	-14,3
Animales y vegetales	799,8	19,6	-14
Vidrio	735,5	18	0,3
Envases mixtos y embalajes mezclados	641,3	15,7	-1,9
Otros	497,1	12,2	-17,1
Madera	130,5	3,2	2,3
Plásticos	107,5	2,6	2,7
Metálicos	34,6	0,9	-20,2
Equipos eléctricos y electrónicos	32,2	0,8	9,7
Pilas y acumuladores	1,9	0	15,5

Según estos datos, con respecto al año 2011, se ha producido un aumento en la recogida o generación de vidrios (0,3%); madera (2,3%); plásticos (2,7%); equipos eléctricos y electrónicos (9,7%); y en pilas y acumuladores (15,5%). En el resto de los item mencionados en la Tabla 23, han experimentado un descenso en su recogida.

Continuando con la información ofrecida por la nota de prensa del 2014 del INE, muestra los datos de recogida de residuos urbanos/municipales por comunidad autónoma (CCAA), recogidos en la presente Tesis en la Figura 9.

Recogida de residuos urbanos por comunidad autónoma. Año 2012.
Unidad: miles de toneladas

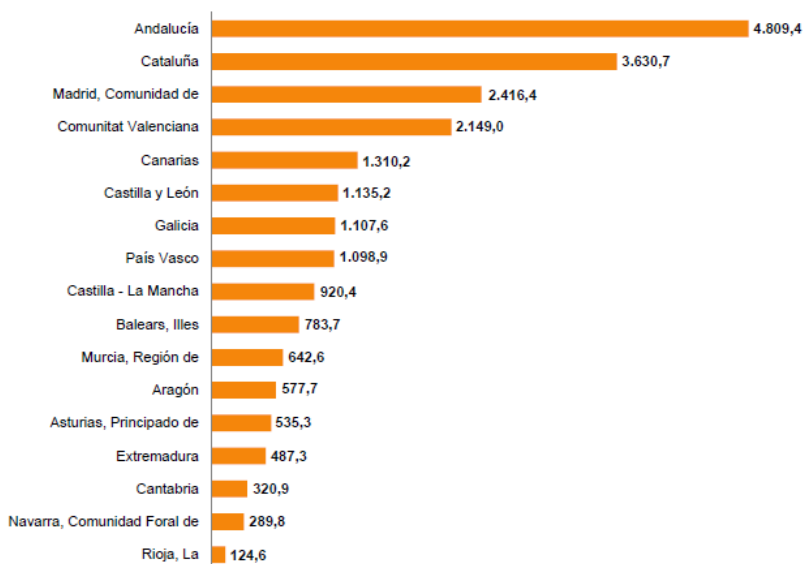


Figura 9. Recogida de residuos urbanos por comunidad autónoma en miles de toneladas (2012). Fuente: INE (2014).

Entre las CC AA que tienen una mayor recogida de residuos urbanos, se encuentran, Andalucía, con 4.809,4 miles de Toneladas, ocupa el primer puesto de las CCAA en generación de residuos municipales. Seguidamente, está Cataluña, con 3.630,7 miles de Toneladas, a 1178,7 miles de Toneladas de la primera productora, y la Comunidad de Madrid, con 2.416,4 miles de Toneladas.

Como CCAA menos productoras de residuos municipales, están La Rioja, con 124,6 miles de Toneladas; la Comunidad Foral de Navarra, con 289,8 miles de Toneladas; y a Cantabria, con 320,9 miles de Toneladas.

Por lo comentando anteriormente, la cantidad de residuos generados se pueden justificar por diversos factores, como el nivel de vida, la concentración de población, etc. Llegado a este punto, la pregunta lógica que se podría plantear, es si hay relación entre el volumen de residuos generados y la cantidad de población de la CCAA estudiada. Estos datos se recogen en la Tabla 24.

Tabla 24. Generación de residuos municipales (miles de Toneladas) y censo de población (habitantes) por CCAA en el año 2012.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE.

	Generación de residuos municipales (miles de Toneladas)	Población a 1 de Enero de 2013 (personas)
Total Nacional	22.339,70	46.559.730
Andalucía	4.809,40	8.393.159
Cataluña	3.630,70	7.480.921
Madrid, Comunidad de	2.416,40	6.414.708
Comunitat Valenciana	2.149,00	4.987.017
Galicia	1.107,60	2.761.969
Castilla y León	1.135,20	2.518.527
País Vasco	1.098,90	2.177.006
Canarias	1.310,20	2.105.232
Castilla - La Mancha	920,4	2.094.391
Murcia, Región de	642,60	1.461.986
Aragón	577,70	1.338.308
Balears, Illes	783,7	1.110.114
Extremadura	487,30	1.100.967
Asturias, Principado de	535,30	1.067.801
Navarra, Comunidad Foral de	289,80	638.948
Cantabria	320,90	590.037
Rioja, La	124,60	318.639

En la Tabla anterior, se han obviado las comunidades de Ceuta y Melilla, por no disponer de datos de generación de residuos en dichos lugares. La Tabla ha sido ordenada según el número de personas que habitaban la CCAA a 1 de Enero de 2013, estableciendo una correspondencia perfecta con las 4 primeras CCAA más generadoras de residuos y con la última. Sin embargo, el resto de datos poblacionales no se ordenan de la misma forma que la generación de los residuos, por lo que se puede establecer que debe haber un factor diferente al poblacional. Dicho factor o factores, pueden ser desde la calidad o nivel de vida de la CCAA; a ambientales, tales como el climatología local o la época del año (Madrid, F. (2012)).

A continuación, pasamos a un estudio de la generación de residuos per capita a nivel autonómico, reflejado en la Figura 10.

Recogida de residuos por comunidad autónoma. Año 2012.

Unidad: kilogramos por habitante

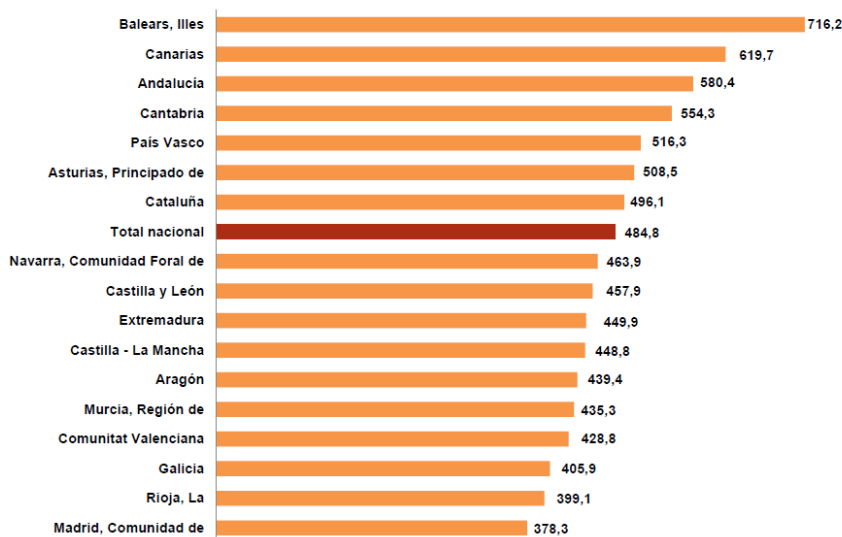


Figura 10. Recogida de residuos por comunidad autónoma en kg/habitante (2012). Fuente: INE (2014).

Como se puede apreciar, si utilizamos esta forma de exponer los datos, las Islas Baleares, Canarias y Andalucía, serían los mayores productores de residuos. Por lo comentando anteriormente, para tener una visión global adecuada, se ha de estudiar la generación de residuos desde dos perspectivas: la generación absoluta por CCAA y la generación por habitante de la CCAA. Con estas dos variables, se puede establecer que la CCAA más generadora (tanto de forma absoluta, como per capita) sería Andalucía.

Se puede observar que la media nacional es de 484,8 kg/hab/año, unos 1,33 kg/hab/día (dividiendo la cantidad de residuos municipales en 2012 por la población española en ese mismo periodo). Si realizamos los mismos cálculos con los primeros productores de residuos, obtendríamos que las comunidades insulares de Baleares y Canarias, con 716,2 y 619,7 kg/hab/año, generarían respectivamente, 1,96 y 1,70 kg/hab/día. En contraparte, las comunidades españolas que menos residuos generaron, Madrid y La Rioja, con 378,3 y 399,1 kg/hab/año, sus habitantes generaron, respectivamente 1,03 y 1,09 kg/hab/día.

En el caso de Andalucía, se observa que es la tercera comunidad más productora de residuos, con 580,4 kg/hab/año, unos 1,59 kg/hab/día.

Según el Sistema Municipal de Indicadores de Sostenibilidad, emitido por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Madrid, 25 de noviembre de 2010), la cantidad deseable sería inferior a 1,2-1,4 kg/hab/día, por lo que en el año de estudio, Andalucía (lugar del estudio) superaría ampliamente dicha marca.

Una vez que se sabe el volumen de producción de residuos, la siguiente pregunta lógica sería ¿qué tipos de residuos son los más recogidos por CCAA?. La Tabla 25 ofrece un resumen, en términos absolutos, de la composición de los residuos de cada CCAA.

Tabla 25. Composición de los residuos recogidos por CCAA, en miles de Toneladas (2012). Fuente: INE (2014).

	Residuos mezclados	Vidrio	Papel y cartón	Envases mixtos	Total residuos
Total Nacional	18.315,10	735,5	1.085,60	641,3	22.395,80
Andalucía	4.234,60	76,1	111,7	131,7	4.809,40
Aragón	464,2	23,9	25,5	14,1	577,7
Asturias, Principado	403,5	33,5	55,7	10	535,3
Baleares, Illes	659,8	29	38,9	23,9	783,7
Canarias	1.162,20	29,1	33,5	15,3	1.310,20
Cantabria	263,2	10,3	12	5,1	320,9
Castilla y León	936	40,8	49,3	20,9	1.135,20
Castilla - La Mancha	839,9	21,1	28,5	17,6	920,4
Cataluña	2.418,10	169,2	318,1	129,7	3.630,70
Comunitat Valenciana	1.857,40	79,5	60,3	40,2	2.149,00
Extremadura	434,2	7,4	32,6	10	487,30
Galicia	940,2	36,5	34,6	21,4	1.107,60
Madrid, Comunidad	1.999,80	80,6	114,4	131	2.416,40
Murcia, Región de	582,90	22,6	8,4	15,7	642,60
Navarra, Comunidad	184,10	15,7	24,4	17,9	289,80
País Vasco	780,10	54	124,3	32	1.098,90
Rioja, La	105,80	5,9	7,9	4,7	124,60

Como sucedía a nivel nacional, el volumen de residuos mezclados es muy superior al de los residuos separados en origen.

Una vez desarrollados los datos de generación de residuos a nivel nacional, se particulariza el estudio a la provincia de Jaén, lugar donde se ha desarrollado la Tesis. Concretamente, se han obtenido los datos de gestión y generación de residuos durante el año 2012, quedando estos recogidos en la Tabla 26. Debido a la gran cantidad de datos expuestos, se ubica dicha Tabla en el Anexo II.

Con respecto al tratamiento de estos residuos, en el caso de España, se mantiene la misma jerarquía a la hora de tratar los residuos urbanos, salvo que la tercera forma de tratamiento más empleada es la del compostaje en lugar de la incineración, que pasa al cuarto lugar.

Si se consulta los datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), se obtienen los siguientes datos (Tabla 27).

Tabla 27. Tratamiento de residuos municipales en España, en miles de Toneladas (2012). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del INE.

Operación de tratamiento	Peligrosidad	Cantidad (miles de Toneladas)	Porcentaje (%)
Recuperación	NO PELIGROSO	47.132	44,94
	PELIGROSO	1.612	
	TOTAL GENERAL	48.745	
Operaciones de relleno	NO PELIGROSO	8.193	7,55
	PELIGROSO	0	
	TOTAL GENERAL	8.193	
Vertido	NO PELIGROSO	47.615	44,49
	PELIGROSO	643	
	TOTAL GENERAL	48.259	
Incineración	NO PELIGROSO	3.112	3,02
	PELIGROSO	163	
	TOTAL GENERAL	3.276	
Total	NO PELIGROSO	106.054	100
	PELIGROSO	2.420	
	TOTAL GENERAL	108.475	

Como se puede apreciar, las operaciones en España más comunes a la hora del tratamiento con los residuos municipales, son la recuperación y el vertido o depósito en vertedero.

Si se centra ahora el análisis en la producción en la CCAA de Andalucía, se obtienen los siguientes datos (Tabla 28).

Tabla 28. Tratamiento de residuos municipales en Andalucía en miles de toneladas (2012). Fuente: Junta de Andalucía (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, publicación "Datos básicos 2014").

Provincia	Total recogido	Plantas de recuperación y compostaje	Vertido controlado directo
Almería	351,40	81,4	18,6
Cádiz	714,86	74,2	25,8
Córdoba	284,00	91,4	8,6
Granada	690,63	58,4	41,6
Huelva	254,31	99,2	0,8
Jaén	268,52	90,4	9,6
Málaga	1216,81	37,1	62,9
Sevilla	775,47	79,3	20,7

Con estos datos, se puede establecer que hay un cierto predominio en el reciclado y compostaje en esta CCAA. De todas las provincias de Andalucía, Huelva es la más concienciada con la problemática de los residuos, al depositar en vertedero solo un 0,8%, si bien es la que menos residuos genera. En el caso de Jaén, se deposita en vertedero un 9,6% de los residuos.

Como en el apartado anterior, se presentan ahora los datos obtenidos en Octubre de 2016, cuando el INE publicó su nota de prensa nº1004. (Figura 11).

Recogida de residuos urbanos
Unidad: miles de toneladas

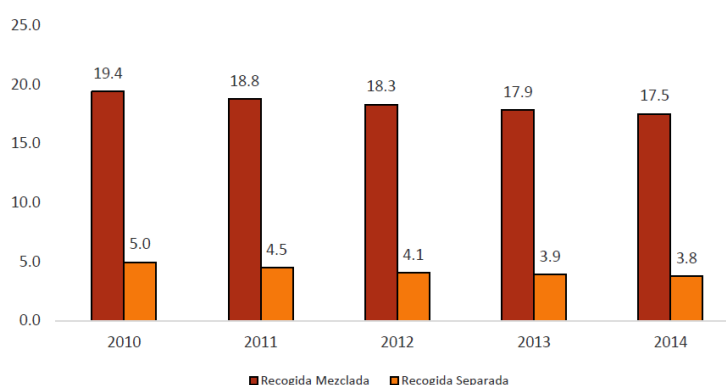


Figura 11. Residuos urbanos/municipales recogidos en España en millones de Toneladas en el periodo 2010-2014. Fuente: INE (2016).

Como se puede apreciar en el gráfico, la tendencia a reducir el volumen de residuos se sigue manteniendo, habiendo una diferencia de 0,8 miles de toneladas en la recogida mezclada y 0,3 miles de toneladas con respecto a la recogida separada.

A continuación, se expone la cantidad y composición de los residuos municipales en España durante el año 2014, expresado en Toneladas/año (Tabla 29).

Tabla 29. Cantidad y composición de residuos municipales en Toneladas/año (2014). Fuente: MAGRAMA e INE (2016).

Modalidad de recogida	Código LER - RESIDUO		T/año	%
Residuos mezclados	23 03 01	Mezclas de residuos municipales	18.886.941	85
Residuos recogidos selectivamente	20 01 01	Papel y cartón	976.896	15
	20 01 02	Vidrio	9.845	
	20 01 08	Residuos biodegradables de cocinas y restaurantes	539.685	
	20 02 01	Residuos biodegradables de parques y jardines	242.275	
	15 01 06	Envases mezclados	565.736	
	15 01 07	Envases de vidrio	724.019	
TOTAL			19.945.397	100

Como se puede comprobar en la Tabla 29, se mantiene el mismo porcentaje de residuos mezclados y recogidos separadamente que se mostró en la Tabla 22, con referencia al 2012. Sin embargo, el volumen recogido no es el mismo, puesto que la cantidad neta de residuos recogidos varia con respecto al 2012 en 1.225.120 de Toneladas menos, lo que representa un 5,79% menos con respecto al año 2012.

Como en el estudio realizado en 2012, a continuación se muestran los datos relativos al desglose del apartado de la Tabla 29 de los residuos recogidos selectivamente (Tabla 30).

Tabla 30. Recogida de residuos urbanos de forma separada en miles de Toneladas (2014). Fuente: INE (2016).

Residuos de recogida separada	Cantidad	% sobre el total	% de variación interanual
Total	3.798,2	100,0	-3,4
Papel y cartón	976,9	25,7	-1,1
Animales y vegetales	782,0	20,6	-7,4
Vidrio	733,9	19,3	1,8
Otros	598,6	15,8	-11,1
Envases mixtos y embalajes mezclados	565,7	14,9	1,1
Madera	88,5	2,3	-16,2
Equipos eléctricos y electrónicos	52,6	1,4	26,4

Como se puede apreciar, si comparamos los elementos que componen los residuos recogidos de forma separada de la Tabla 30 con los presentados en la Tabla 23, hay algunos ítems que ya no figuran en esta nueva nota de prensa. Concretamente los plásticos, los metálicos y las pilas y acumuladores. Si se ciñe a los datos presentados únicamente, se distingue que el volumen recogido es prácticamente cualquiera de los ítems presentados es menor, a excepción del ítem "otros". Posiblemente, se recojan en este ítem los datos referidos a plásticos, metálicos, pilas y acumuladores y otros residuos municipales diferentes, que aparecían en la nota de prensa de 2012.

En cuanto al porcentaje de variación interanual, al igual que sucedía en 2012, todos los ítems muestran descensos en dicho apartado, a excepción del vidrio, los envases y embalajes y los equipos eléctricos y electrónicos, que muestran un aumento (1,8%; 1,1% y 26,4%, respectivamente).

Una vez visto el panorama nacional, la nota de prensa, al igual que su edición de 2012, ofrece información sobre la recogida de residuos urbanos/municipales por comunidad autónoma (CCAA) (Figura 12).

Comparando los datos con los de 2012, cada CCAA se mantiene en el mismo puesto en este particular ranking.

Andalucía, la CCAA que más residuos recoge, pasa de esta manera de recoger 4.809,4 miles de Toneladas, a 4.583,6 miles de Toneladas, por lo que reduce su recogida en el año 2014. Cataluña, pasa de 3.630,07 miles de Toneladas a 3.680,7 miles de Toneladas, aumentando casi 50 mil Toneladas

su recogida. La tercera CCAA que más residuos municipales recoge es la Comunidad de Madrid, que en 2012 recogió un total de 2.416,4 miles de Toneladas, mientras que en 2014, recogió 2.502,1 mil Toneladas, teniendo un aumento de 85,7 mil Toneladas.

Recogida de residuos urbanos por comunidad autónoma. Año 2014

Unidad: miles de toneladas

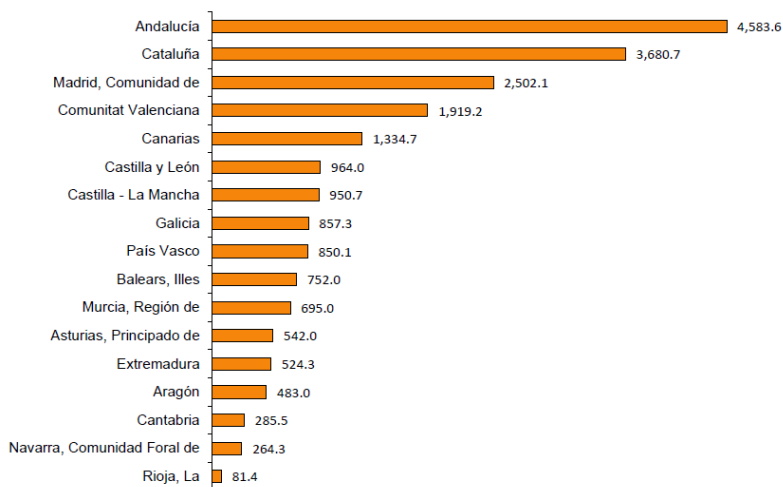


Figura 12. Recogida de residuos urbanos por comunidad autónoma en miles de toneladas (2014). Fuente: INE (2016).

Como CCAA menos productoras de residuos municipales, tenemos a La Rioja, con 81,4 miles de Toneladas (reduciendo su recogida con respecto al 2012 en 43,2 mil Toneladas); la Comunidad Foral de Navarra, con 264,3 miles de Toneladas (mientras que en 2012 se registraron 289,8, una reducción de 25,5 mil Toneladas); y a Cantabria, con 285,5 miles de Toneladas (en 2012 se registraron 320,9 miles de Toneladas, por lo que hay una reducción de recogida de 35,4 miles de Toneladas).

En la Figura 13, se muestran los kg/habitante que se recogieron por CCAA durante el año 2014.

Se puede observar que la media nacional es de 459,1 Kg/hab/año; por lo que se puede apreciar que ha disminuido con respecto a la del 2012, que era de 484,8 kg/hab/año.

Recogida de residuos urbanos por habitante y comunidad autónoma. Año 2014

Unidad: kilogramos por habitante

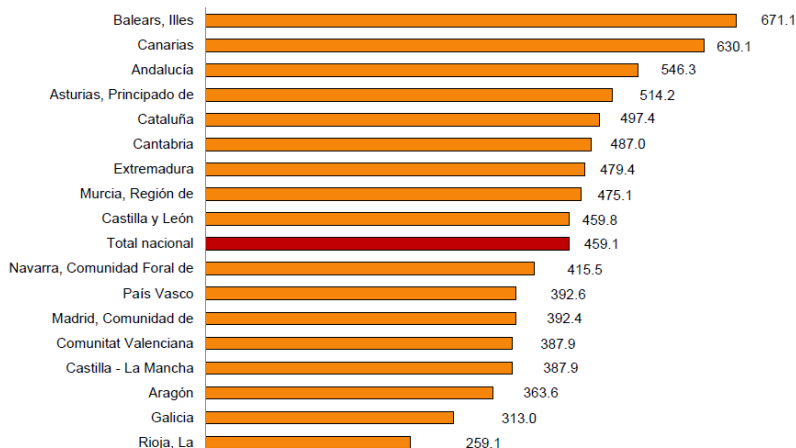


Figura 13. Recogida de residuos por comunidad autónoma en kg/habitante (2014). Fuente: INE (2016).

Continuando con esta comparación, las comunidades insulares de Baleares y Canarias, con 671,1 y 630,1 kg/hab/año; tienen una disminución en la recogida de residuos y un aumento, respectivamente, con respecto al año 2012, donde se registraron 716,2 y 619,7 kg/hab/año, respectivamente.

En contraparte, las comunidades españolas que menos residuos generaron en 2014, fueron Galicia y La Rioja, con 313,0 y 259,1 kg/hab/año, respectivamente, lo que supone un cambio con respecto a 2012, ya que en ese año, la comunidad de Madrid era la que menos residuos municipales recogía con 378,3kg/hab/año, mientras que 2014, recogió 392,6 kg/hab/año, aupándola al puesto 13 de esta lista.

En el caso de Andalucía, se observa que es la tercera comunidad que más residuos municipales recoge, con 546,3 kg/hab/año, disminuyendo la cantidad que recogió en 2012, que fue de 580,4 kg/hab/año.

Como en el caso de 2012, ahora se muestran los tipos de residuos recogidos por CCAA en el año 2014, en la Tabla 31.

Tabla 31. Composición de los residuos recogidos por CCAA, en miles de Toneladas (2014). Fuente: INE (2016).

	Residuos mezclados	Vidrio	Papel y cartón	Envases mixtos	Total residuos
Total nacional	17.530,10	733,1	976,1	565,7	21.328,30
Andalucía	4.102,00	82,2	95,9	76,4	4.583,60
Aragón	390	16,7	22,5	14,6	483
Asturias, Principado	411,5	32,7	49,8	10	542
Baleares, Illes	621,5	31,6	39,6	14,6	752
Canarias	1.202,60	31,2	30,7	16,2	1.334,70
Cantabria	238,4	10,2	9,9	5,1	285,5
Castilla y León	828	40,9	43,4	20,9	964
Castilla - La Mancha	874,5	20,7	26,2	17,5	950,7
Cataluña	2.543,70	162,4	271,4	120,6	3.680,70
Comunitat Valenciana	1.640,50	79	57,9	40,5	1.919,20
Extremadura	437,9	7,2	39,1	10,6	524,3
Galicia	656,8	39	31,7	22,3	857,3
Madrid, Comunidad	2.126,80	78	89,5	122,7	2.502,10
Murcia, Región	625,90	21	12,9	12,8	695,00
Navarra, Comunidad	152,30	16,7	23	20,3	264,30
País Vasco	574,90	56,1	122,1	36	850,10
Rioja, La	61,60	6,7	7,4	4,7	81,40

Como se puede apreciar, se sigue manteniendo una tendencia a mezclar residuos por parte de todas las CCAA, en lugar de su separación en origen.

Como en el caso de 2012, se expone la cantidad de residuos municipales generados por municipio en la CCAA de Jaén durante el año 2014 en la Tabla 32, ubicada en el Anexo II.

Una vez concluidos los datos sobre la recogida, se procede, como en 2012, a exponer la forma de tratamiento que se les aplica en España a los residuos municipales (Tabla 33).

Tabla 33. Tratamiento de residuos municipales en España, en miles de Toneladas (2014). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del INE.

Operación de tratamiento	Peligrosidad	Cantidad (miles de Toneladas)	Porcentaje (%)
Recuperación	NO PELIGROSO	35.639,17	36,07
	PELIGROSO	1.658,97	
	TOTAL GENERAL	37.298,14	
Operaciones de relleno	NO PELIGROSO	13.021,32	12,59
	PELIGROSO	0	
	TOTAL GENERAL	13.021,32	
Vertido	NO PELIGROSO	49.009,45	47,91
	PELIGROSO	524,826	
	TOTAL GENERAL	49.534,27	
Incineración	NO PELIGROSO	3.405,87	3,43
	PELIGROSO	137,741	
	TOTAL GENERAL	3.543,61	
Total	NO PELIGROSO	101.075,80	100
	PELIGROSO	2.321,54	
	TOTAL GENERAL	103.397,34	

Como se puede apreciar, las operaciones en España más comunes a la hora del tratamiento con los residuos municipales, son el vertido o depósito en vertedero y la recuperación.

Si se centra ahora el análisis en la producción en la CCAA de Andalucía, se obtienen los siguientes datos (Tabla 34).

Tabla 34. Tratamiento de residuos municipales en Andalucía en miles de toneladas (2014). Fuente: Junta de Andalucía (Conserjería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, publicación "IMA 2015").

Provincia	Residuos recogidos	Compostaje (%)	Vertido controlado directo (%)	Reciclaje (%)
Almería	301,13	279,8 (92,9)	21,3 (7,1)	-
Cádiz	667,92	549,9 (82,3)	118,0 (17,7)	-
Córdoba	360,69	308,6 (85,6)	52,1 (14,4)	-
Granada	601,72	384,7 (63,9)	217,0 (36,1)	-
Huelva	248,87	248,7 (99,9)	0,2 (0,1)	-
Jaén	270,27	241,6 (89,4)	28,7 (10,6)	-
Málaga	828,07	457,5 (55,2)	370,6 (44,8)	-
Sevilla	702,72	602,9 (85,8)	99,8 (14,2)	-
Andalucía	3.981,39	3.073,6 (77,2)	907,8 (22,8)	-
Andalucía con recogida selectiva	4.237,67	3.073,6 (72,5)	907,8 (21,4)	256,3 (6,0)

A vista de la Tabla 34, se puede establecer que hay un cierto predominio en el reciclado y compostaje en esta CCAA. De todas las provincias de Andalucía, Huelva es la más concienciada con la problemática de los residuos, al depositar en vertedero solo un 0,1%, si bien es la que menos residuos genera. En el caso de Jaén, se deposita en vertedero un 10,6% de los residuos.

2.2. Composición de los residuos domésticos.

La información de este apartado corresponde a la del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA).

Según el MAPAMA, la composición de los residuos domésticos está constituida por:

1. Biorresiduos.

"Los biorresiduos domésticos son los residuos orgánicos biodegradables de origen vegetal y/o animal, susceptibles de degradarse biológicamente generados en el ámbito domiciliario y comercial (siempre que estos últimos sean similares a los primeros)".(MAPAMA (2013)).

Pueden ser clasificados dependiendo de varios factores, como pueden ser:

- **Naturaleza:**
 - Residuos orgánicos de origen alimentario y de cocina.
 - Residuos vegetales o Fracción Vegetal (FV).
- **Gestión:**
 - Fracción Orgánica (FO) o Fracción Orgánica de Recogida Separada (FORS), dependiendo si la materia orgánica se recoge de forma separada.

Está constituida por:

- Fracción Vegetal en forma de restos vegetales de pequeño tamaño y de tipo no leñoso procedentes de jardinería y poda.
 - Ramos marchitos, flores y hojas secas.
 - Malas hierbas, césped, pequeñas ramas de poda y hojarasca.
 - Residuos de papel.
 - Papel de cocina sucio.

- Servilletas de papel sucias.
- Pañuelos de papel.
- Restos de comida y restos de preparación de la comida (cocinados o crudos).
 - Pielés y restos de fruta y verdura.
 - Huesos y restos de carne.
 - Espinas y restos de pescado, así como caparazones y conchas de marisco.
 - Cáscaras de huevo y pieles y cáscaras de frutos secos.
 - Restos de comida y comida en mal estado.
 - Restos de pan.
 - Poso de café y restos de infusiones.
- Materiales compostables.
 - Bolsas compostables.
 - Otros materiales compostables.
- Otros materiales.
 - Tapones de corcho.
 - Serrín.
 - Astillas y virutas de madera natural.
 - Mondadientes y palos de helado, palillos de comida china o de cocinar pinchos, etc.
 - Excrementos de animales domésticos sin lechos ni arenas absorbentes.
- Poda: formada por la Fracción Vegetal (FV) en forma de restos vegetales de jardinería y poda de mayor tamaño y de tipo leñoso. Por cuestiones como su temporalidad de generación (frecuencia y periodo), la forma de recogida y su tratamiento, tiene una gestión específica.

Para aclarar la diferencia entre Fracción Vegetal y Poda, se elaboró un estudio en Cataluña, "ESTUDIO DE MEJORA DE LA GESTIÓN DE LA FRACCIÓN VEGETAL EN CATALUÑA" (2006), donde se establecieron los criterios para su diferenciación que se recogen en la Tabla 35.

Tabla 35: Diferenciación entre Fracción Vegetal y Poda.

Fuente: Estudio de mejora de la gestión de la fracción vegetal en Cataluña (2006).

	Césped/hoja	Poda leñosa
Capacidad estructurante	NO	SI
Relación C/N	BAJA	ALTA
Necesidad de trituración	NO	SI

En la Figura 14, se muestra un ejemplo de clasificación de biorresiduos domésticos en función de su gestión.

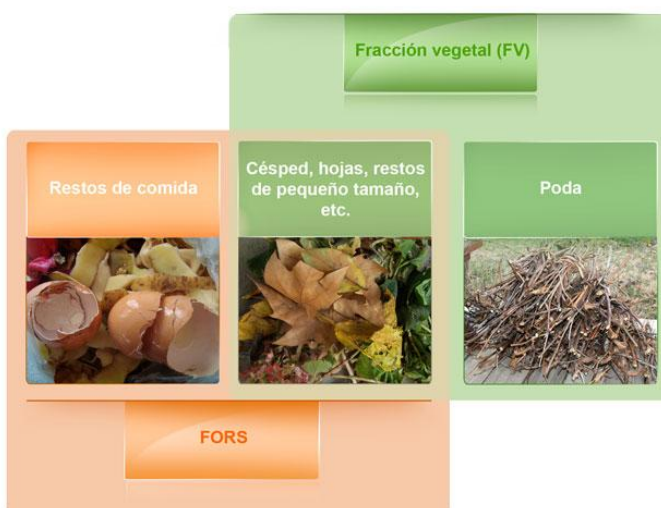


Figura 14. Clasificación de los biorresiduos domésticos en función de su gestión. Fuente: Mapama (2013).

2. Papel y cartón.

El papel y el cartón están compuestos principalmente de celulosa. Dicha celulosa proviene de especies vegetales o recicladas a partir de papel y cartón usados.

3. Aparatos eléctricos y electrónicos.

Aparatos eléctricos y electrónicos o AEE: todos los aparatos que para funcionar debidamente necesitan corriente eléctrica o campos electromagnéticos, y los aparatos necesarios para generar, transmitir y medir tales corrientes y campos, que están destinados a utilizarse con una tensión nominal no superior a 1.000 voltios en corriente alterna y 1.500 voltios en corriente continua (Real Decreto 110/2015).

Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), según la Ley 22/2011, son todos los aparatos eléctricos y electrónicos que pasan a ser residuos de acuerdo con la definición que consta en el artículo 3.a). Esta definición comprende todos aquellos componentes, subconjuntos y consumibles que forman parte del producto en el momento en que se desecha.

4. Textil y calzado.

Se considera como este tipo de residuo cualquier producto textil, como la ropa de vestir, el calzado y los productos textiles del hogar y otros productos similares. Dichas prendas se convierten en residuos cuando han sido desechados por sus dueños, ya sea por el fin de su vida útil o por las modas y las pautas de renovación del vestuario. Con respecto a la renovación del vestuario, factores como la calidad y los precios actuales de los productos textiles hacen que estos residuos estén cada vez más presentes. Por tanto, una prenda textil puede ser desechado, pero estar aún en buen estado de uso, por lo que podría ser reutilizado.

5. Aceite de cocina.

Según la Ley 22/2011, son residuos de aceites (genérico) todos los aceites minerales o sintéticos, industriales o de lubricación, que hayan dejado de ser aptos para el uso originalmente previsto, como los aceites usados de motores de combustión y los aceites de cajas de cambios, los aceites lubricantes, los aceites para turbinas y los aceites hidráulicos.

Para el MAPAMA, los residuos de aceite de cocina: son grasas de origen animal o vegetal (aceites de oliva, de semillas de girasol y otras, etc.). Son utilizados para cocinar, ya sea en el domicilio doméstico u en otros lugares profesionales, como en centros de hostería, lugares de comida rápida, etc. Cuando ya no es útil y se convierte en residuo, su poseedor (dependiendo del ámbito) lo desecha, o tiene la intención o la obligación de desecharlo.

6. Envases ligeros.

Las siguientes definiciones aparecen en la Ley 11/1997.

Se considera envase o embalaje todo producto fabricado con materiales de cualquier naturaleza y que se utilice para contener, proteger, manipular, distribuir y presentar mercancías, desde materias primas, hasta artículos acabados, en cualquier fase de la cadena de fabricación, distribución y consumo. También se consideran envases todos los artículos desechables utilizados con esta misma finalidad. En este concepto se incluyen únicamente los envases de venta primarios, los envases colectivos o secundarios y los envases de transporte terciarios.

El residuo de envase es todo envase, o material que forma parte del envase, del cual se desprende su poseedor o tenga la obligación de desprenderse según la normativa vigente.

Dentro de este grupo, los envases ligeros, son aquellos envases que como característica común tienen una baja relación peso/volumen. Está fundamentalmente constituida por botellas y botes de plástico, plástico film, latas y brics, cartón para bebidas u otros envases mixtos (MAPAMA, 2013).

7. Vidrio.

Normalmente referidos a los vidrios de silicatos, están compuestos por una elevada proporción de sílice (SiO_2) y forman un material inorgánico duro, frágil, transparente y amorfo que se usa para hacer ventanas, lunas, lentes, botellas y envases y una gran variedad de productos (MAPAMA).

8. Pilas y baterías.

Las pilas y los acumuladores son dispositivos que permiten la obtención de energía eléctrica por transformación de la energía química. Usados en prácticamente cualquier aparato eléctrico, contienen algunos metales pesados como el mercurio, el cadmio o el plomo, que son peligrosos para la salud y el medio ambiente. Por ello, se consideran residuos peligrosos y están sujetos a una recogida y tratamiento específicos.

Las pilas, normalmente, no son recargables. Los acumuladores, por contra, tienen diferentes elementos secundarios que permiten su recarga, lo que posibilita varios ciclos de carga y descarga.

Este tipo de residuos, se rigen por una normativa específica a nivel europeo, la Directiva 2006/66/CE, modificada por Directiva 2013/56/UE, que se ha traspuesto al marco normativo estatal mediante el Real Decreto 106/2008 y el Real Decreto 943/2010, por el que se modifica el Real Decreto 106/2008, además del Real Decreto 710/2015, por el que se modifica el Real Decreto 106/2008.

Las únicas excepciones a esta normativa son las pilas, acumuladores y baterías utilizados en equipos concebidos para fines militares o destinados a ser enviados al espacio, que quedan excluidos de esta normativa.

9. Medicamentos.

Un medicamento es toda sustancia medicinal y sus asociaciones o combinaciones destinadas a su utilización en las personas o en los animales que se presente dotada de propiedades para prevenir, diagnosticar, tratar, aliviar o curar enfermedades o dolencias o para afectar a funciones corporales o al estado mental (MAPAMA). Esta definición está más elaborada que la ofrecida en la Ley 29/2006.

Los residuos de medicamentos de procedencia doméstica, son medicamentos caducados y sobrantes de algún tratamiento, además de sus envases, estén vacíos o no, que se hayan generado en el hogar.

10. Otros.

Dentro de este apartado, según MAPAMA, se citan:

- **Fracción resto:** Fracción de los residuos de origen doméstico que se obtiene una vez efectuadas las recogidas separadas (en algunas zonas también se le denomina rechazo, o erróneamente, orgánica) (MAPAMA 2013). Dicha fracción puede tener aún materiales valorizables. Los materiales que debería contener esta fracción son, entre otros:

- Textil sanitario: pañales, compresas y tampones, bastoncillos para los oídos, discos mamarios, toallitas húmedas, hilo dental, pequeños residuos de curas domésticas (tiritas, esparadrapo, vendas, gasas, algodón, etc.).
- Otros productos de aseo: maquinillas de afeitar, cepillo de dientes, limas, preservativos, etc.
- Residuos de la limpieza doméstica: polvo de barrer y bolsas de aspiradora.
- Elementos de cerámica: Platos, tazas, etc.
- Residuos de cigarrillos: Colillas y ceniza.
- Ceniza de chimeneas o estufas.
- Fotografías, tarjetas de crédito o similares.
- Y en general, todos aquellos residuos que no estén sujetos a recogidas separadas por parte de los entes locales.

- **Residuos voluminosos.**

Los residuos voluminosos son aquellos de tamaño grande que por sus dimensiones pueden distorsionar la gestión ordinaria de los residuos de origen doméstico (MAPAMA). Dentro de este grupo de residuos existen diferentes flujos según su naturaleza:

- Muebles y enseres: Los muebles y enseres son los objetos de uso diario o de decoración de un domicilio.
- Madera: Este flujo incluye todos aquellos elementos estructurales y de mobiliario de madera procedentes de los domicilios, actividades económicas y equipamientos, como marcos de ventana, puertas, marcos de puerta, restos de muebles, cajas de mercado, etc. Se diferencia entre madera propiamente dicha y conglomerado (madera triturada y compactada recubierta a menudo por una capa de fórmica o melanina.) Este residuo se genera básicamente en pequeñas obras de bricolaje o reformas.

- RAEE de gran tamaño: Los RAEE de tamaño grande también se consideran residuos voluminosos y se deben recoger de forma apropiada mediante los sistemas habilitados para ello.
- Chatarra: La chatarra está constituida por aquellos elementos residuales férricos que se pueden generar en los hogares, equipamientos y actividades económicas, como por ejemplo, cañerías, somieres, pies de lámparas, etc. Se incluyen también dentro de este grupo de residuos, los residuos férricos de producción de pequeñas industrias si éstas pueden depositarlos conforme a las ordenanzas municipales en los puntos limpios.

- **Neumáticos.**

Los neumáticos fuera de uso son aquellos que han sido desechados tras ser sustituidos por unos nuevos o cuando el vehículo entero es desechado como residuo al haber llegado al final de su vida útil. Este residuo está contemplado en el Real Decreto 1619/2005, de conformidad con la Ley 10/1998; la cual fue derogada por la actual Ley 22/2011.

La composición de los neumáticos es, fundamentalmente, caucho natural y sintético, elementos metálicos y fibras. Su lugar de generación suelen ser los talleres mecánicos y el hogar.

- **Residuos peligrosos.**

Según la Ley 22/2011, son aquellos que presentan una o varias de las características peligrosas enumeradas en el anexo III de dicha Ley 22/2011, y aquellos que pueda aprobar el Gobierno de conformidad con lo establecido en la normativa europea o en los convenios internacionales de los que España sea parte. También tienen esta consideración, los recipientes y envases que los hayan contenido. Algunos de estos residuos disponen de normas específicas que regulan su consideración y gestión.

- **Vehículos fuera de uso.**

Según el Real Decreto 20/2017, se entiende vehículo como "El vehículo de motor concebido y fabricado principalmente para el transporte de personas y su equipaje que tenga, como máximo, ocho plazas de asiento además de la del conductor (categoría M1); el vehículo de motor concebido y fabricado principalmente para el transporte de mercancías cuya masa máxima no sea superior a 3,5 toneladas (categoría N1); y el vehículo con tres ruedas simétricas (categoría L5e) y con un motor cuya cilindrada sea superior a 50 cm³ para los motores de combustión interna, o con una velocidad máxima por construcción superior a 45 km/h, con exclusión de los ciclomotores. Las mencionadas categorías M1, N1 y L5e se definen en el Reglamento (UE) n.º 678/2011 de la Comisión. Así mismo, dicho Real Decreto, define vehículos fuera de uso como: "Todo vehículo del apartado anterior al que le es de aplicación la Ley 22/2011".

Consultando la Ley 22/2011, en su Artículo 3, vemos que se le aplica a los vehículos fuera de uso el trato de "residuo doméstico" si son abandonados.

- **Tierras y escombros**

Las tierras y escombros son residuos de la construcción y demolición compuestos por restos de tierra, arenas y similares utilizados en construcción y provenientes de excavaciones, residuos de actividades de construcción, demolición, vaciado y/o movimiento de tierra y, en general, todos los sobrantes de obras o cualquier material residual asimilable a los anteriormente citados (MAPAMA). Los residuos de la construcción y demolición están regulados por el Real Decreto 105/2008.

2.3. Características de los residuos domésticos

Una vez establecida la clasificación de residuos domésticos que se empleará en la presente Tesis, se procede a desarrollar las características de cada componente de los mismos (MAPAMA, 2013 y Grima, A. et al. (2013)).

1. Biorresiduos:

- Una de las principales características de los biorresiduos, es la heterogeneidad de su composición. Es decir, la composición de esta fracción de los residuos municipales depende de factores como la naturaleza de su composición y de su origen, de la estación del año en la que nos encontremos y del tipo de hábitos alimenticios que tenga la población. A pesar de la variabilidad de composición, hay algunos elementos que siempre estarán presentes en la mezcla de biorresiduos: agua (en una proporción variable, pero se estima de forma general entorno al 80%) y elementos derivados de su composición en materia orgánica, como hidratos de carbono, proteínas y grasas. Sin embargo, no se puede hablar de una proporción única de dichos elementos por la variabilidad o heterogeneidad mencionada anteriormente. Esto afecta a variables como la densidad, que puede oscilar entre 0,6- 0,8 t/m³ (si contiene restos vegetales la densidad desciende a 0,25-0,3 t/m³).
- Son biodegradables, es decir, son fácilmente descomponibles o degradados por ciertos microorganismos. Como consecuencia de esta degradación, se generan malos olores y lixiviados. Acudiendo a la "Guía para la implantación de la recogida separada y tratamiento de la fracción orgánica" del MAPAMA (2013), y a Grima, A. et al. (2013), las características principales de los biorresiduos, según su gestión se recogen en la siguiente Tabla 36.

Tabla 36. Características de los biorresiduos, según su gestión.

Fuente: MAPAMA (2013) y Grima, A. et al. (2013).

	FO	FV Poda
Humedad	Alta (75 a 85%)	Baja (20 a 40%)
Materia orgánica	75 a 85%	80%
Nitrógeno orgánico	5,50%	1,20%
Relación C/N	17	32
Densidad	0,6 a 0,8 t/m ³	0,3 a 0,4 t/m ³ (triturada)
Mal olor	Sí	No
Generación	Constante	Estacional

FO: Fracción orgánica; FV: Fracción vegetal.

2. Papel y cartón

Se pueden clasificar en cuatro grupos principales dentro del ámbito de recuperación de residuos municipales, según su composición y resistencia:

- Papel/cartón para envases y embalajes: cajas de cartón, bolsas, sacos, etc.
- Papeles gráficos: papel de periódicos, papeles para la edición de libros, folios, sobres, carpetas, cuadernos, etc.
- Papeles higiénicos y sanitarios: papel higiénico, toallitas, pañuelos, papel de cocina, servilleta, etc.
- Papeles especiales: papeles de seguridad, papel filtro, papel decorativo, papel autoadhesivo, papel metalizado, etc.
- Otros: de forma minoritaria con respecto a los anteriores, se recogen elementos de extrema resistencia en componentes del automóvil, fricción en frenos y transmisión, papel electrónico en cables y transformadores de alto voltaje, cartón dieléctrico con efectos aislantes, papel para placas de circuito impreso de ordenadores, etc.

Los principales factores que condicionan la recogida de estos residuos, suelen ser el volumen y su densidad variable, además de la frecuencia de producción de dichos residuos. En base a estos factores, se ha de proporcionar un tipo de receptáculo de recogida adecuado, así como la dotación de recursos y los vehículos a utilizar. Según la Agencia de Residuos de Cataluña (ARC) (2007), se establece:

- Papel: entre 40 y 130 kg/m³ y un valor medio de 90 kg/m³.
- Cartón: entre 40 y 80 kg/m³ y un valor medio de 50 kg/m³.

Los residuos de papel y cartón admitidos en los canales de recogida municipales habituales:

- Periódicos, revistas, publicidad, libretas y cuadernos, sobres, folios, libros, papeles para envolver regalos, etc.

- Cajas y paquetes de cartón (paquetes de cereales, cajas de zapatos, paquetes de tabaco, etc.), envases de papel, hueveras de cartón, embalajes voluminosos de cartón, bolsas de papel, rollos de papel higiénico, etiquetas de la ropa, etc.

Dentro de este sistema de recogida, no se aceptan: el papel carbón, papel plastificado, celofán, servilletas y papel de cocina usados, papeles sucios, fotografías, cartón para bebidas, etc. Se debe evitar la entrega de espirales, clips, grapas, etc., pues dificultan el proceso de reciclaje y puede reducir la calidad del papel reciclado resultante.

3. Aparatos electrónicos y eléctricos

Según el Real Decreto 110/2015, *"los AEE son productos muy complejos que, generalmente, incluyen numerosas partes y componentes: piezas metálicas y plásticas variadas, carcasas de plástico, madera o metal, tarjetas de circuitos impresos, tubos de rayos catódicos, pantallas de cristal líquido, cables, pilas, baterías, componentes eléctricos y electrónicos, diversos fluidos, contrapesos de hormigón, cartuchos de impresión, motores eléctricos, etc. Estas piezas y componentes están fabricados en materiales muy diversos y de diferente naturaleza. Básicamente, se trata de metales (férreos y no férreos), polímeros, vidrios y otros materiales (madera, caucho, cartón, etc.).*

Estos aparatos pueden contener cadmio, mercurio, plomo, arsénico, fósforo, aceites peligrosos, y gases que agotan la capa de ozono o que afectan al calentamiento global como los clorofluorocarburos (CFC), hidrofluorocarburos (HC) o hidrofluorocarburos (HCFC), cuya emisión debe controlarse especialmente y que se encuentran presentes en los circuitos de refrigeración y en las espumas aislantes de los aparatos de intercambio de temperatura. Es por eso que todas las etapas de la gestión, desde su recogida, almacenamiento, transporte y tratamiento deben hacerse en unas condiciones seguras, sin mezclarse con otros flujos de residuos (recogida separada) y que eviten manipulaciones o roturas que puedan liberar este tipo de sustancias peligrosas al medio ambiente o exponer a los trabajadores que están en contacto con estos residuos, durante su tratamiento a sustancias peligrosas.

Las dos facetas de estos residuos, su alto contenido en materiales valiosos y de sustancias peligrosas son las que determinan la peculiaridad de este tipo de residuos y por lo que la Directiva pretende mejorar el comportamiento medioambiental de todos los agentes que intervienen en el ciclo de vida de los aparatos eléctricos y electrónicos, como, los productores de AEE, los distribuidores y los consumidores, y, en particular, de aquellos agentes directamente implicados en la recogida y tratamiento de los RAEE".

Las sustancias peligrosas más habituales que incorporan los AEE para su funcionamiento y que deben ser gestionadas y tratadas una vez que los aparatos se conviertan en RAEE son (MAPAMA):

- **Cadmio:** Más del 90% en las pilas recargables.
- **Plomo:** Más del 90% en las baterías, con pequeñas contribuciones por parte de las soldaduras para los circuitos impresos, lámparas y tubos fluorescentes.
- **Óxido de plomo** (utilizado en el vidrio): Más del 80% en los tubos de rayos catódicos mientras que el resto procede de las lámparas y los tubos fluorescentes.
- **Mercurio:** Más del 90% procede de las pilas y sensores de posición con una pequeña contribución por parte de los relés y lámparas fluorescentes.
- **Cromo hexavalente:** Utilizado como inhibidor de corrosión en el sistema de refrigeración de los refrigeradores por absorción.
- **Níquel:** Baterías Ni-Cd.
- **PCB** (Bifenilos policlorados): Más del 90% provienen de los condensadores y transformadores.
- **Compuestos bromados/retardantes de llama:**
 - **TBBA** (Tetra-bromo-bifenil A): Más del 90% proviene de los circuitos impresos, placas y carcasas.
 - **PBB** (Polibromobifenilos) y **PBDE** (polibromodifenil-eteres): Componentes termoplásticos, cables, etc.

- **Octa y deca BDE** (octa y decabromo difenil eter): Más del 80% dentro de los ordenadores, con menores contribuciones por parte de los aparatos de TV y aparatos eléctricos de cocinas domésticas.
- **CFC, HCFC, HC:** Unidades de refrigeración y espumas aislantes.
- **Cloroparafinas:** Más del 90% en el PVC de los cables.
- **Plata, cobre, bario y antimonio.**

Sin embargo, el art. 6 del Real Decreto 219/2013, de 22 de marzo, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos, limita la concentración en peso de materiales homogéneos cualquier sustancia que aparezca en su anexo II.

4. Textiles y calzado

Según la información publicada por MAPAMA y el ayuntamiento de La Losa (Segovia), los productos textiles están constituidos por:

- Fibras o materiales naturales derivados de:
 - Plantas: algodón, lino, seda, etc.
 - Animales: lana, piel, cueros, etc.
 - Minerales: metales
- Materiales sintéticos obtenidos de componentes químicos derivados del petróleo en su mayoría.

5. Aceite de cocina

Como se dijo en el punto 2.2 de la presente Tesis, los residuos de aceite de cocina son grasas de origen animal o vegetal (aceites de oliva, de semillas de girasol y otras, etc.).

6. Envases ligeros

Según MAPAMA, hay tres grupos de envases ligeros según los materiales que los conforman y su posterior reciclaje:

- **Envases de plástico:** Los plásticos son compuestos poliméricos naturales artificiales (en su gran mayoría), transformados mediante la aplicación de calor y de presión (MAPAMA). Una definición similar de plásticos, ofrecida por el profesor Pozuelo de Diego, de la Universidad Carlos III de Madrid, indica que son: "aquellos polímeros cuya propiedad fundamental es la plasticidad (termoplásticos). Se deforma plásticamente bajo acción de presión y/o calor. Son mezcla de un polímero con los aditivos y cargas, que hace que pueda ser transformada por flujo o moldeo en forma líquida o fundida".

Según el Real Decreto 782/1998, en el anejo 3, tendríamos el sistema de numeración y abreviaturas para el plástico, los cuales deben aparecer en el envase (Tabla 37, numeración 1-6).

Dicha clasificación se realiza según la longitud, estructura, y elementos de su cadena molecular, junto con los aditivos, que determinan las características del plástico utilizado para el envase.

- **Envases metálicos:** Grupo formado principalmente por latas férricas o de latón y las de aluminio. Suelen contener normalmente alimentos, pero en este grupo también entran otros envases, como los aerosoles. De forma análoga al punto anterior, el Real Decreto 782/1998, establece el siguiente sistema de numeración e identificación (Tabla 37, numeración 20-22).
- **Envases mixtos** (compuestos por varios materiales):
 - Brics o cartón para bebidas: estos envases están compuestos mayoritariamente por cartón y otras capas minoritarias de plástico y/o aluminio y normalmente contienen productos líquidos o semilíquidos. Es importante no confundir estos envases ligeros mixtos con productos de papel y cartón (Tabla 37, numeración 40-41).
 - Otros envases mixtos, compuestos por varios materiales normalmente plástico y aluminio, o plástico y papel.

Tabla 37: Sistema de numeración y abreviaturas para los envases.

Fuente: Real Decreto 782/1998.

Material	Abreviaturas	Numeración
Tereftalato de polietileno	PET	1
Polietileno de alta densidad	HDPE	2
Policloruro de vinilo	PVC	3
Polietileno de baja densidad	LDPE	4
Polipropileno	PP	5
Poliestireno	PS	6
Cartón corrugado	PAP	20
Cartón no corrugado	PAP	21
Papel	PAP	22
Acero	FE	40
Aluminio	ALU	41

Los marcados registrados en las Tabla 37 son de carácter voluntario, salvo que haya alguna norma comunitaria que lo obligue.

En España, este grupo de residuos son gestionados a través del Sistema integrado de gestión/sistema colectivo de responsabilidad ampliada gestionado por ECOEMBES, los cuales deben incluir la marca del Punto Verde como identificación de ser partícipes en un programa de reciclado y recuperación.

A efectos del Real Decreto 782/1998, los elementos de la siguiente lista no están considerados como envases:

- Bolsas empleadas para la entrega y recogida de los residuos urbanos de origen doméstico. No se incluyen en este concepto y tienen, por tanto, la consideración de envases, las bolsas de un solo uso entregadas en los comercios para el transporte de la mercancía por el consumidor o usuario final, señaladas en el primer párrafo del artículo 2.1, aunque posteriormente se utilicen para la entrega y recogida de los residuos urbanos.
- Cestas de la compra.
- Envoltorios, entendiendo por tales los materiales utilizados para envolver un producto, que no acompañan a éste en el momento de su puesta en el mercado, sino que se incorporan al mismo en el momento de su venta al por menor al consumidor final.

- No se incluirán en el concepto de cestas de la compra y de envoltorios, y tienen, por tanto, la consideración de envases, las bolsas de un solo uso entregadas o adquiridas en los comercios para el transporte de la mercancía por el consumidor o usuario final, señaladas en el primer párrafo del artículo 2.1.
- Sobres.
- Carteras, portafolios y otros utensilios similares empleados para portar documentos.
- Maletas.
- Encendedores.
- Bolsas para infusiones unidas inseparablemente al producto que contienen.
- Recambios para estilográficas o bolígrafos.
- Monederos y billeteros.
- Jeringuillas, bolsas de plasma y productos que, debido a su finalidad, puedan considerarse en sí mismos como productos sanitarios.
- Frascos o bolsas para tomas de muestras de sangre, heces u orina y otros recipientes similares utilizados con fines analíticos.
- Prospectos o instrucciones que acompañen a los medicamentos en sus envases.
- Casetes de cintas magnetofónicas, de vídeo o de uso informático.
- Cajas de lentes de contacto y de gafas.

La gestión del resto de plásticos y metales no envases se realiza por otras vías como los puntos limpios o los recuperadores a través de la fracción resto.

La densidad de los envases ligeros, según MAPAMA, varía en un rango de los 25-28 kg/m³, ya que tienen poco peso en relación al volumen que ocupan. Por este motivo, este tipo de residuos tiene una frecuencia más elevada frente a otros tipos, como el vidrio o el papel y cartón. Se trata de un residuo compactable, pero sólo hasta cierto punto ya que existen ciertas limitaciones atendiendo a las condiciones marcadas por Ecoembes y a los procesos de separación en planta.

Los residuos de envase que han de depositarse en los sistemas de recogida separada de envases ligeros son los siguientes (MAPAMA y ECOEMBES):

- Envases de plástico rígido: garrafas y botellas de agua, botellas de refrescos, botellas de leche y lácteos, botellas de aceite y vinagre, botellas de suavizantes, detergentes y otros productos de limpieza, botes de cacao, envases de plástico de yogures y otros alimentos, envases de plástico de bricolaje, cosmética e higiene, bandejas, anillas de packs para latas, hueveras de plástico, redes fruta, bandejas y elementos de EPS (Porexpan), etc.
- Envases de plástico film: bolsas de plástico de asas y transparentes, plástico para envolver packs o bandejas (tapas), bolsas de queso rallado, paquetes de legumbres, bolsas de galletas, envase toallitas para bebés, etc.
- Envases metálicos: latas de hierro y de aluminio de refrescos y conservas, aerosoles vacíos, papel de aluminio empleado para envolver, bandejas de aluminio, etc. Cartón para bebidas (brics): brics de lácteos, zumos, tomates, caldos, etc.
- Otros envases mixtos: bolsas de patatas fritas, paquetes de café, bolsas de congelados, bolsas de golosinas, papel alimentación (parafinado, doble capa papel-plástico,...)
- Otros envases ligeros: en general, aquellos envases identificados con el punto verde que no sean ni de papel ni de vidrio (envases de madera, cerámica, etc.) y tapones de botes y botellas.

Se recomienda aportar los envases limpios y aclarados para mejorar las condiciones del almacenaje en casa y su gestión posterior.

Los siguientes elementos no son aceptados:

- En general cualquier objeto de plástico (juguetes, sillas, persianas, macetas, figuras plásticas) o de metal (trozos de materiales de construcción, estanterías metálicas, restos de lampistería -tubos, grifos, etc-, cables eléctricos, colgadores metálicos) que no sea envase.
- Envases llenos y otros envases como botes metálicos de pinturas o productos químicos (residuos peligrosos), cuyo destino debe ser el punto limpio.
- Envases de medicamentos como tarros y botellas, cuyo destino debe ser el circuito de reciclaje del resto de los envases de medicamentos a través de SIGRE, que es el único sistema integrado de gestión de medicamentos autorizado en España por las autoridades sanitarias y medioambientales, lo cual garantiza que tanto los envases como los residuos de medicamentos que pueda contener van a recibir un tratamiento medioambiental adecuado una vez que el ciudadano los deposita en el Punto SIGRE.
- Otros envases de papel-cartón y envases de vidrio (o cualquier producto con estos materiales), neumáticos, pequeños electrodomésticos o productos de informática que contengan tinta.

7. Vidrio

Para MAPAMA, hay tres grupos de productos de vidrio en cuanto a sus circuitos de recogida:

- Vidrio envase no reutilizable (botellas, botes y frascos). Este grupo de residuos deben incluir el Punto Verde, como identificador de pertenecer al Sistema integrado de gestión/sistema colectivo de responsabilidad ampliada de envases de vidrio gestionado por Ecovidrio. Los productores de estos envases deben financiar su recuperación una vez se convierten en residuos.

- Vidrio envase reutilizable (botellas de bebidas para refrescos, vinos y espumosos, cervezas, aguas, productos lácteos, etc.). Este grupo de productos disponen de Sistemas de Depósito Devolución y Retorno (SDDR) para las actividades de restauración y hostelería, aunque aún existen algunas actividades comerciales muy particulares como bodegas y distribuidores de leche que ofrecen estos envases a los ciudadanos. Se pueden encontrar algunas marcas de perfumes que permiten el relleno de los frascos.
- Vidrio no envase. Forman parte de este grupo:
 - Utensilios de vidrio para el hogar: vasos, platos, bandejas, frascos, etc.
 - Elementos de vidrio para la construcción y decoración: vidrio plano para ventanas, puertas, mamparas, mesas, etc. y vidrio de seguridad, armado, etc.

Su gestión se realiza por otras vías como los puntos limpios, recuperadores de vidrio, gestores de tierras y escombros de construcción y demolición (si están mezclados con otros residuos de este sector) o bien a través de la fracción resto.

Como características generales, el vidrio es un residuo no compactable, su densidad oscila entre 180-480 kg/m³, su frecuencia de producción es muy variable, ya que depende de la actividad que los genere.

Los residuos de vidrios que son permitidos en el Sistema Integrado de Gestión (SIG) son:

- Botellas de vidrio.
- Tarros y frascos de vidrio. Tarros y frascos de vidrio tanto de bebidas y alimentos como de perfumes y cosmética.

Los siguientes elementos no son aceptados:

- Cualquier elemento de vidrio o cristal que no sea un envase: cristalerías, vajillas, jarrones, vidrio plano, vidrio armado, vidrio laminado, ventanas, etc.
- Cerámicas, porcelanas, ladrillos y piedras.
- Tapas y tapones.
- Envases de medicamentos.

8. Pilas y acumuladores

Las pilas, dependiendo de la finalidad que tengan, tienen diferentes formas: cilíndricas, prismáticas o de botón. Sin embargo, su clasificación principal se rige por su capacidad de volver a cargarse una vez agotada su carga eléctrica o no.

- Primarias: no recargables.
- Secundarias o acumuladores: recargables. Este grupo genera, por tanto, muchos menos residuos que el primer grupo.

Las pilas contienen diferentes elementos que, si bien son tóxicos para el medio ambiente y los seres vivos, son imprescindibles para su funcionamiento. Estos elementos son el mercurio, plomo y el cadmio y, dependiendo del tipo de pila, puede además contener zinc, manganeso y níquel.

Estos residuos están normalizados por el Real Decreto 106/2008, el cual realiza una definición detallada de cada tipología de pila y acumulador en su artículo 3:

- Pila: Fuente de energía eléctrica obtenida por transformación directa de energía química y constituida por uno o varios elementos primarios (no recargables).
- Acumulador: Fuente de energía eléctrica generada por transformación directa de energía química y constituida por uno o varios elementos secundarios (recargables).
- Pila botón: Pila o acumulador, pequeño, portátil y de forma redonda, cuyo diámetro sea mayor que su altura, destinado a aparatos especiales, como audífonos, relojes, pequeños aparatos portátiles y dispositivos de reserva.
- Pila estándar: Pila de peso inferior a 1 Kg, diferente de las pilas botón, destinada a ser instalada en productos de gran consumo o profesionales.
- Pila o acumulador portátil: Cualquier pila, pila botón, acumulador o batería que esté precintado, pueda llevarse en la mano y no sea industrial ni de automoción, tales como, por ejemplo, las pilas botón y estándar, y los acumuladores utilizados en teléfonos móviles,

videocámaras, luces de emergencia y herramientas portátiles.

- Pila o acumulador de automoción: Pila o acumulador utilizado para el arranque, encendido o alumbrado de vehículos.
- Pila o acumulador industrial: Pila o acumulador diseñado exclusivamente para uso industrial o profesional o utilizado en cualquier tipo de vehículo eléctrico.
- Batería: Conjunto de pilas o acumuladores conectados entre sí, formando una unidad integrada y cerrada dentro de una carcasa exterior no destinada a ser desmontada ni abierta por el usuario final. Ejemplos de baterías son las baterías de automoción y las baterías industriales.

Al igual que con otros residuos ya mencionados, son gestionados a través de Sistemas integrados de gestión/sistemas colectivos de responsabilidad ampliada, de manera que sus productores deben financiar su gestión y reciclado una vez se convierten en residuos y las entidades gestoras de estos sistemas deben desarrollar circuitos de recogida separada y transporte.

9. Medicamentos

Los residuos de los medicamentos pueden generarse en una de estas tres situaciones:

- Al acabar un medicamento: el envase vacío, tanto el que está en contacto directo con el medicamento, como el envoltorio exterior y el prospecto.
- Al finalizar un tratamiento: los envases vacíos o con restos de medicación.
- Al revisar el botiquín: los medicamentos que no se necesiten y los caducados y todos dentro de su caja de cartón.

Todos los productos considerados medicamentos, deben incorporar de forma obligatoria en su envase, el símbolo de SIGRE, ya que la forma de gestión de este residuo consiste en un Sistema integrado de gestión/sistema colectivo de responsabilidad ampliada

gestionado por SIGRE, mediante el cual los productores de los medicamentos se hacen responsables de los residuos que los medicamentos generan y deben financiar su adecuada recogida y tratamiento una vez se convierten en residuos.

No se aceptan como residuos de medicamentos los siguientes productos o elementos:

- Gasas y/o apósitos.
- Agujas y objetos cortantes.
- Prótesis.
- Termómetros, pilas, radiografías.
- Reactivos de laboratorio de las formulas magistrales.

2.4. Prevención de los residuos domésticos

En el artículo 1 de la Ley 22/2011, se establece como objetivo de la misma: *"Esta Ley tiene por objeto regular la gestión de los residuos impulsando medidas que prevengan su generación y mitiguen los impactos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente asociados a su generación y gestión, mejorando la eficiencia en el uso de los recursos. Tiene asimismo como objeto regular el régimen jurídico de los suelos contaminados"*.

Por ende, consultamos la definición que la propia ley nos ofrece de prevención: *"conjunto de medidas adoptadas en la fase de concepción y diseño, de producción, de distribución y de consumo de una sustancia, material o producto, para reducir:*

- 1º. La cantidad de residuo, incluso mediante la reutilización de los productos o el alargamiento de la vida útil de los productos.*
- 2º. Los impactos adversos sobre el medio ambiente y la salud humana de los residuos generados, incluyendo el ahorro en el uso de materiales o energía.*
- 3º. El contenido de sustancias nocivas en materiales y productos"*.

En la Figura 15, se puede observar según MAPAMA, las formas de prevenir los residuos y las medidas adoptar en cada caso.



Figura 15. Tipos de prevención de residuos. Fuente: MAPAMA (2017).

Como se puede apreciar, en la Figura 15 se indica que hay dos formas de prevenir la generación de residuos. La primera sería de carácter cuantitativo, es decir, disminuir la cantidad de residuos que se producen, en alguna o todas de sus variables (peso, volumen, número o unidades). La segunda, tiene un carácter cualitativo, es decir, no afecta a la cantidad física de residuos generados, sino a los componentes que los forman. De esta manera, la idea sería reducir la cantidad de sustancias peligrosas o contaminantes contenidas en los productos o residuos. Como ejemplo de este tipo de prevención, tenemos los gases clorofluorocarbonos (CFCs), ya comentados anteriormente. Estos gases eran usados en la refrigeración de frigoríficos y congeladores domésticos, pero se prohibió su uso tras detectarse que eran nocivos para el medio ambiente, concretamente, la capa de ozono.

Si se consulta el artículo 15.1 de la misma Ley, se muestran cuales son los objetivos principales de ley en la temática de prevención:

"Las administraciones públicas, en sus respectivos ámbitos competenciales, aprobarán antes del 12 de diciembre de 2013, programas de prevención de residuos en los que se establecerán los objetivos de prevención, de reducción de la cantidad de residuos generados y de reducción de la cantidad de sustancias peligrosas o contaminantes, se describirán las medidas de prevención existentes y se evaluará la utilidad de los ejemplos de medidas que se indican en el anexo IV u otras medidas adecuadas. Estas medidas se encaminarán a lograr la reducción del peso de los residuos producidos en 2020 en un 10% respecto a los generados 2010. La finalidad de dichos objetivos y medidas será romper el vínculo entre el crecimiento económico y los impactos sobre la salud humana y el medio ambiente asociados a la generación de residuos".

El Plan Integrado de Residuos (PNIR) 2008-2015 incluye, en su punto 3.3, objetivos de prevención contra la generación de residuos, referidos todos a su generación en 2006. Concretamente:

- *Tendencia a la estabilización de la generación (2010).*
- *Tendencia a la disminución del 8% (2011-2015).*
- *Tendencia a la disminución del 10% (2015 en adelante).*
- *Residuos de Envases (RE):*
 - *Disminución 8% de los comerciales e industriales (a partir de 2011).*
 - *Disminución 4% de los domésticos (a partir de 2012).*
 - *Obligación de elaboración de Planes Empresariales de Prevención (PEP) a todas las empresas envasadoras.*
- *Bolsas comerciales de un solo uso:*
 - *Disminución del 50% a partir de 2009.*
 - *Prohibición de las bolsas de plástico de un solo uso no biodegradables no más tarde de 2010.*

Posteriormente, se han publicado dos planes más. El primero, publicado el 27 de noviembre de 2013, en el cual valoraban la actuación del primer PNIR, con base comparativa en el año 2010, y proponían medidas algo más concretas en ciertos ámbitos de generación de residuos. El segundo, conocido como el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022, establecía la base comparativa en 2012 y, nuevamente, proponía medidas más específicas para llevar a cabo los nuevos objetivos.

Según MAPAMA, según se muestra en la Figura 16, existen actividades para la prevención y reutilización, puede conseguirse durante varias etapas en el proceso de concepción, producción, distribución, uso de un bien o producto y gestión como residuo:



Figura 16. Actividades de prevención en las etapas del ciclo producto-residuo. Fuente: MAPAMA y BCNecología (2012).

La figura hace incidir en que la prevención en la generación de residuos comienza desde el momento del diseño del producto. Se ha de considerar, en este punto, que el producto sea respetuoso con el medio ambiente (ecodiseño). Es decir, el producto, tarde o temprano, completo o alguno de sus componentes como envases o piezas intercambiables (pilas, bombillas, etc) serán desechados como residuos y hay que intentar por las vías posibles que dichos desechos sean lo más fácilmente tratables posible. Por tanto, en este proceso, se tienen en cuenta los subproductos de generación del producto, las posibles mejoras técnicas posibles (MTD) para reducir la generación de subproductos, introducción de materiales reciclados a la cadena de producción, etc. Así mismo, en la Figura 16 se contempla la fase de venta, donde el producto será enviado a los puntos de distribución en embalajes. Dichos embalajes, una vez recibido el producto, se convertirán en nuevos residuos a no ser que se contemple una forma de reciclarlos o reutilizarlos (logística inversa). Así mismo, dependiendo del tipo de producto fabricado, se ha de considerar el manejo y gestión de excedentes del mismo. Por último, el usuario del producto ha de tener una concienciación con el medio ambiente, no desechando productos que aún pueden ser reutilizados o reparados. Si finalmente, el producto, por haber agotado su vida útil, es desechado, se entraría en el circuito de reciclaje, reutilización y compostaje (dependiendo del tipo de producto).

En función de estas etapas se pueden definir cuatro tipos de acciones para fomentar la prevención (MAPAMA):

- Acciones a favor de una producción y venta eco-responsable, en el ámbito empresarial y comercial: introducción de planes empresariales de prevención, del eco-diseño, de las mejores técnicas disponibles y de los sistemas de gestión medioambiental acreditables, regulación de la producción de publicidad, revistas y prensa, organización de acontecimientos eco-responsables, gestión y donación de excedentes alimentarios, etc.

- Acciones a favor de una compra responsable: consumo desmaterializado (servicios o bienes inmateriales), de productos duraderos y reutilizables, consumo de productos a granel o en envases reutilizables, ordenación de la publicidad no nominal, solicitud de eco-etiquetajes, introducción de cláusulas ecológicas en las compras públicas, etc.
- Acciones a favor de un uso responsable de los productos: utilización de las tecnologías de la información y de la comunicación (TIC) y uso responsable del papel, compra y consumo de envases reutilizables, reutilización de productos y preparación para la reutilización con acciones a favor de la reparación y los centros de segunda mano, reducción del despilfarro alimentario, etc.
- Acciones para evitar que los residuos, una vez generados, entren en los circuitos de recogida: donación, intercambio, segundo uso y compostaje doméstico.

De la misma forma se citan a continuación, algunas actuaciones de prevención:

- El Programa Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020, aprobado el 13 de diciembre de 2013, cuyas líneas de prevención son: disminución de la cantidad de residuos, reutilización y alargamiento de su vida útil, reducción del contenido de sustancias nocivas en materiales y productos, así como de sus impactos sobre la salud humana y el medio ambiente.
- Instrumentos de prevención por cada tipo de fracción, como la compra y uso responsable de productos, aprovechamiento de los excedentes, compra o uso de productos sin envases o con envases reciclables, etc.
- Iniciativas y Experiencias de reducción del consumo de bolsas comerciales de un solo uso, conforme a lo establecido en la disposición adicional segunda de la Ley 22/2011, por la cual, para el año 2018, deben haber desaparecido este tipo de bolsas y ser sustituidas por otras reutilizables y reciclables.
- Semana Europea de la Prevención de Residuos.

2.5. Modelo de gestión para los residuos domésticos.

Según la Ley 22/2011, en su artículo 3, define la gestión de residuos como: *"la recogida, el transporte y tratamiento de los residuos, incluida la vigilancia de estas operaciones, así como el mantenimiento posterior al cierre de los vertederos, incluidas las actuaciones realizadas en calidad de negociante o agente"*.

Dentro de la definición dada, se menciona el tratamiento de residuos, pero cabe preguntarse que entiende la Ley por este término: *"son aquellas operaciones de valorización o eliminación, incluida la preparación anterior a la valorización o eliminación"*.

Al igual que en la definición anterior, se estudia ahora que se entiende por valorización y eliminación, según la Ley 22/2011:

"Valorización": *cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales, que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función en la instalación o en la economía en general. En el anexo II se recoge una lista no exhaustiva de operaciones de valorización.*

El anexo mencionado en la anterior definición, puede consultarse en el Anexo III de la presente tesis.

"Eliminación": *cualquier operación que no sea la valorización, incluso cuando la operación tenga como consecuencia secundaria el aprovechamiento de sustancias o energía. En el anexo I (de la Ley 22/2011) se recoge una lista no exhaustiva de operaciones de eliminación"*.

El anexo mencionado en la anterior definición, puede consultarse en el Anexo IV de la presente tesis.

Como se puede observar, las operaciones de valorización y eliminación son incompatibles entre sí, por tanto, cabe preguntarse ¿cuál es el procedimiento a la hora de realizar la gestión de residuos municipales? La respuesta al interrogante planteado queda resuelto en el artículo 8 de la misma Ley 22/2011: *"Las administraciones competentes, en el desarrollo de las políticas y de la legislación en materia de prevención y gestión de residuos, aplicarán para conseguir el mejor resultado ambiental global, la jerarquía de residuos por el siguiente orden de prioridad:*

- a. *Prevención*
- b. *Preparación para la reutilización*
- c. *Reciclado*
- d. *Otro tipo de valorización, incluida la valorización energética*
- e. *Eliminación*

Al establecerse esta jerarquía a la hora de gestionar los residuos, se cumple el objetivo de la actuación en materia de prevención de generación de residuos. Al igual que en los casos anteriores, se define los términos reutilización, preparación para la reutilización y el reciclado, según la Ley 22/2011:

"Reutilización": cualquier operación mediante la cual productos o componentes de productos que no sean residuos se utilizan de nuevo con la misma finalidad para la que fueron concebidos.

Preparación para la reutilización: la operación de valorización consistente en la comprobación, limpieza o reparación, mediante la cual productos o componentes de productos que se hayan convertido en residuos se preparan para que puedan reutilizarse sin ninguna otra transformación previa.

"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".

Por tanto, se comienza a seguir el proceso desde su inicio, la prevención, según la información facilitada por MAPAMA:

1. Prevención

El objetivo de la prevención, es la reducción en la generación de residuos y su toxicidad. Para ello, es necesario emprender acciones en cada una de las fases del producto: desde su creación, fabricación, hasta la generación del residuo y su necesidad de gestión.

Es necesario fomentar la producción eco-responsable, el consumo responsable, la utilización responsable de los productos y otras acciones de reutilización de productos o preparación para la reutilización de productos desechados (MAPAMA).

Centrando el tema en la gestión de residuos municipales, es obvio que siempre se generará algún tipo de residuo, por mucho que consigamos minimizar su generación. Por tanto, dentro del apartado de prevención, se han de establecer medidas que faciliten y optimicen el resto del proceso de gestión. Si se considera la peor situación posible, no podremos reutilizar estos residuos generados, por lo que sólo se podrá realizar su valorización o su eliminación. Con vistas a esta situación, se establece el modelo de separación en origen. Este se caracteriza por el número y tipo de fracciones a separar por el usuario cuando desecha los productos. En España se han configurado seis modelos de separación de residuos de competencia municipal atendiendo a las distintas fracciones principales separadas en origen (MAPAMA), y que se muestra en la Tabla 38.

Tabla 38: Modelos de separación de residuos de competencia municipal implantados en España. *Fuente: MAPAMA (2017).*

Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6
5 fracciones	Húmedo -seco	Multiproducto	4 fracciones + poda	4 fracciones	3 fracciones
Vidrio	Vidrio	Vidrio	Vidrio	Vidrio	Vidrio
Papel-cartón	Papel- cartón	Papel-cartón + Envases ligeros	Papel- cartón	Papel- cartón	Papel- cartón
Envases ligeros	Resto + Envases ligeros	-	Envases ligeros	Envases ligeros	-
Resto		Resto	Resto (incluye FO)	Resto (incluye FO)	Resto (incluye FO + envases ligeros)
Fracción orgánica	Fracción orgánica	Fracción orgánica	Residuos de jardinería	-	-

FO: Fracción Orgánica;

Resto: fracción indiferenciada no considerada como recogida separada.

Los tipos más habituales el Tipo 1, el Tipo 4 y, sobre todo el Tipo 5.

De los restantes, el Tipo 2 realiza la separación de vidrio, papel-cartón, la fracción orgánica. Sin embargo, une en un único contenedor la fracción resto y los envases ligeros, con lo que, fundamentalmente, se realiza una separación de la fracción orgánica e inorgánica. El Tipo 6 es un modelo residual en España, ya que no realiza ningún tipo de separación, a excepción de vidrios y papel-cartón. Finalmente, el Tipo 3 existe sólo en algunas zonas y separa vidrio y fracción orgánica. Sin embargo, realiza una separación de elementos de celulosa, ya que mezcla en un único contenedor el papel-cartón con los envases ligeros.

Estos tipos de recogida de residuos, se complementan con las realizadas a residuos específicos, como pueden ser los residuos voluminosos, pilas, aceites, etc.

Además, cada vez más municipios ya disponen de servicios de punto limpio en sus distintas modalidades (fijo, móvil, de barrio, etc.).

2. Sistemas de recogida.

Una vez que se ha establecido las fracciones en las que los residuos han de ser separados, se ha de diferenciar los métodos de recogida de dichas fracciones, que se detallan en la Figura 17. Se pueden observar seis sistemas distintos de recogida de residuos, así como, las diferentes alternativas que cada uno puede presentar en función de las condiciones de la demanda de la ciudadanía.

Así por ejemplo, en el caso de los puntos limpios, cabe la posibilidad de realizarlo, desde plantas con carácter fijo a móviles y de barrio, en base a distintas circunstancias, poblaciones de pocos habitantes o situadas a distancias incómodas del núcleo de la población.



Figura 17. Sistemas de recogida de residuos. Fuente: MAPAMA (2017).

Dichos sistemas se verán ampliados y tratados en el siguiente punto de la presente Tesis.

3. Tratamientos y destino final.

Los tratamientos de cada fracción se ajustarán generalmente al modelo de separación en origen elegido en cada caso. Los tratamientos más habituales según la fracción recogida, se muestran en la Tabla 39.

Tabla 39. Sistemas de tratamiento según fracciones.

Fuente: MAPAMA (2013).

FRACCIÓN	TRATAMIENTOS
Fracción orgánica	- Instalación de compostaje
	- Instalación de biometanización
Resto	- Instalación de selección y clasificación
	- Instalación de tratamiento mecánico-biológico
	-Triaje+bioestabilización
	-Triaje +biometanización+bioestabilización
	- Incineradora (valorización energética o eliminación)
	- Depósito controlado con recuperación energética
	- Depósito controlado sin recuperación energética
Envases Ligeros	Instalación de selección y clasificación de envases
Vidrio	Instalación de separación y preparación de vidrio
Papel y Cartón	Instalación de separación y preparación de papel y cartón
RAEE	Instalación de tratamiento de RAEE
Textiles	Instalación de separación y preparación de textiles
Peligrosos	Instalación de tratamiento de peligrosos
Tierras y escombros	Instalación de reciclaje de tierras y escombros
Voluminosos	Instalación de selección y tratamiento de voluminosos

2.6. Sistema de recogida de los residuos domésticos.

Una vez establecido el número de fracciones que se van a recoger, es el momento de clarificar como y donde han de depositarse. Así pues, MAPAMA define el sistema de recogida como *"el conjunto de medios que facilitan la recogida de los residuos de competencia municipal, desde el punto de aportación donde el poseedor los desecha hasta el primer destino, ya sea un almacén o una instalación para llevar a cabo un tratamiento de valorización o de eliminación"*.

De la anterior definición, se extrae que los sistemas de recogida están conformados por diferentes elementos, como son el tipo de contenedor o sistema de aportación utilizado y su ubicación, los vehículos recolectores que trasladan los residuos a los diferentes tipos de gestores (y dentro de este punto, la frecuencia de recogida) y por último, los propios gestores de residuos (públicos, privados, mixtos, etc.).

2.6.1. Tipos de sistemas de recogida.

2.6.1.1. Contenedores de superficie y soterrados.

1. Contenedores de superficie.

Es el más utilizado. Son contenedores de diferente tipología, dependiendo de la fracción del residuo que vaya a contener y de las características de la misma. Suelen estar ubicados en la vía pública y diseminados por el núcleo urbano conforme a su densidad. Los ciudadanos que utilizan este tipo de recogida, deben desplazarse hasta la ubicación del contenedor. Para facilitar el depósito, los contenedores de diferentes fracciones suelen estar agrupados y más o menos cercanos entre sí.

Los contenedores son vaciados por los correspondientes servicios de recogida, siguiendo una frecuencia y horarios acordes a la naturaleza de la fracción a recoger (los orgánicos suelen ser recogidos con mayor frecuencia debido a la formación de malos olores) y al tiempo necesario para que llene el contenedor, debido al tiempo de generación de cada fracción tiene (ver Tabla 41).

2. Contenedores soterrados.

Los contenedores soterrados o subterráneos, se ubican bajo el nivel del suelo. De esta forma, solamente queda en la superficie el buzón o compuerta. Conectando el depósito subterráneo y el buzón, hay una tapa que se abre cuando el buzón es abierto, permaneciendo cerrado mientras tanto. Esta medida evita que los malos olores se puedan propagar si fuese un sistema abierto o el acceso de animales a la materia orgánica en descomposición (en caso de ser el contenedor de FO). Pese a esta ventaja, estos contenedores tienen el inconveniente que debe de realizarse una obra civil en la vía pública. Al igual que el caso anterior, existen diferentes tipos de contenedores soterrados, diferenciados por el tipo de receptáculo

utilizado, el sistema de elevación (elevación por pluma o sistema hidráulico para elevar la tapa y/o el receptáculo) y por el diseño de los buzones.

La capacidad de este tipo de contenedores es muy elevada (de 3.000L o de 5.000L). Según MAPAMA, dependiendo del sistema de elevación, se pueden incorporar contenedores de ruedas en su interior equivalentes a los de superficie. Adicionalmente, existe un sistema de contenedores semisoterrados para los que parte del receptáculo se encuentra bajo el nivel del suelo y por tanto permite también disponer de grandes capacidades.

2.6.1.2. Puerta a Puerta.

"La recogida separada puerta a puerta (PaP) consiste en entregar los residuos al servicio municipal de recogida delante de la puerta de la vivienda o comercio (en bolsas, pequeños contenedores- normalmente para la FORS- o a granel- para el papel y cartón en cajas o fardos), según un calendario semanal para cada fracción recogida y en un horario estipulado" (MAPAMA).

El sistema, como mínimo, debe recoger las fracciones resto y FORS domiciliaria, aunque por su configuración, puede recoger cualquier fracción, tanto a nivel doméstico como comercial. Sin embargo, para los envases de vidrio domiciliario se suelen mantener el sistema de contenedores. El sistema PaP es muy utilizado, sobre todo, en el ámbito comercial, ya que permite conseguir fracciones de gran calidad y cantidad, al tiempo que evitan problemas de acumulación de dichos residuos en los sistemas anteriormente citados o la necesidad de conseguir un espacio mayor para soportar esta carga de residuos. Como se ha mencionado anteriormente, los resultados de la recogida separada mediante este sistema es, en general, superior al resto de sistemas (entre el 60% y el 80% de recogida separada). Este sistema es muy recomendado en zonas de baja densidad poblacional, sin embargo se puede implantar este sistema en zonas más densas y con edificaciones verticales, instalando contenedores de recogida comunitarios en las vivienda plurifamiliares. Este sistema permite identificar al generador del residuo, por lo que facilitan la implantación de sistemas de fiscalización más justos como son los pagos por generación (MAPAMA). En la Tabla 40, se pueden observar algunos tipos de contenedores, según el tipo de carga, volumen y sus observaciones.

Tabla 40. Tipos de contenedores de superficie y características. Fuente: MAPAMA (2017).

IMAGEN	TIPO DE CONTENEDOR (tipo de carga en el camión)	CARACTERÍSTICAS Y VOLUMEN MÁS FRECUENTE	OBSERVACIONES
	Carga lateral	2.400L, 3.200L	Se utiliza normalmente para recogidas en zonas amplias. Únicamente necesita de un conductor ya que el camión dispone de un brazo metálico que carga y descarga lateralmente el receptáculo.
	Carga trasera	Cuatro ruedas 700L, 1.000L, 1.700L	Necesita de un vehículo de carga posterior normalmente con dos operarios de recogida. Es el sistema que se empleaba de forma generalizada antes de la entrada de la carga lateral y de otros nuevos modelos de contenedores.
		Dos ruedas- "Bujol" 120L, 240L, 360L	Normalmente utilizados para recogidas comerciales, de equipamientos o de fracción orgánica.
	Carga superior	Tipo iglú Metálicos 3.000L, 5.000L Plásticos 2.500L, 3.000L	Más utilizados para la recogida de papel, vidrios y envases ligeros. Necesita de un vehículo carga superior con grúa-pluma.
		Tipo bilateral 1.800L, 3.200L	Necesita de un vehículo robotizado de carga superior con brazo mecánico que puede recoger a ambos lados de la calzada.
	Otros	Bicompartmentados	Dispone de dos receptáculos para fracciones diferentes, normalmente FORS y Resto. Se recogen con vehículos que disponen de dos compartimentos diferenciados. Pueden encontrarse modelos carga posterior y carga lateral.

2.6.1.3. Neumática.

"El sistema de recogida neumática de residuos consiste en una serie de buzones de vertido conectados mediante tuberías subterráneas al punto de captura desde donde se realiza una aspiración del circuito" (MAPAMA).

El buzón de recogida puede instalarse tanto en el interior de las viviendas, en zonas comunitarias en los edificios o en zonas públicas exteriores en la misma fachada o en la acera. Los residuos vertidos, caen por gravedad hasta una zona, cerrada por una válvula, donde se acumulan temporalmente. Una vez llega el momento de recogida o el contenedor está lleno, es aspirado. En este punto, cabe destacar dos sistemas de aspiración:

- **Estático:**

Este sistema cuenta con una central fija de recogida, pudiendo situarse bajo suelo o al nivel de la vía pública. Dicho sistema, cuenta con un sistema informático que permite la aspiración cuando la válvula está llena o por un horario periódico. El mecanismo de aspiración consiste en crear el vacío en la zona de la válvula, creando posteriormente una corriente absorbente de aire en las cañerías del sistema para llevar los residuos a la central, donde son almacenados correctamente en contenedores de gran volumen para que, después, puedan ser destinados a las correspondientes plantas de tratamiento.

- **Móvil:**

En este sistema, los residuos caen, al igual que el anterior, por gravedad por un bajante, hasta un contenedor. Dicho contenedor se halla conectado a otros de su mismo tipo de fracción, de forma que al final de este segundo contenedor, se ubica un punto de succión. Cuando llega el momento de la recogida, un vehículo recolector se conecta a dicho punto de succión, incorporando a su carga las fracciones acumuladas en el contenedor.

Para la separación de las diferentes fracciones, pueden utilizarse dos métodos: el primero consistiría en utilizar el mismo buzón para depositar todas las fracciones, pero estableciendo un sistema de colores en las bolsas para, después de ser recogidas, ser clasificadas en la central. El segundo método, consistiría en la instalación de diferentes buzones, cada uno habilitado para la recogida de una fracción concreta.

2.6.1.4. Puntos limpios.

"Los Puntos Limpios (en algunas zonas llamados Ecocentros, Ecoparques, Puntos Verdes, etc.) son centros de aportación y almacenamiento, selectivos, principalmente de residuos de competencia municipal que no son objeto de recogida domiciliaria y tienen el objetivo de facilitar la gestión correcta de las fracciones no ordinarias" (MAPAMA).

Estas instalaciones permiten el depósito de las siguientes fracciones, por parte de particulares y pequeños comercios, de acuerdo con las especificaciones de las correspondientes ordenanzas municipales:

- Residuos reciclables: plástico no envase, chatarra, metales férricos y no férricos, cables eléctricos, vidrio plano, restos de poda y jardinería, madera, escombros, aceites de cocina, neumáticos, cápsulas de café monodosis (plástico y aluminio), etc. Adicionalmente, también se suelen aceptar residuos de envases de vidrio, residuos de papel-cartón y residuos de envases ligeros.
- Residuos reutilizables o susceptibles de preparación para la reutilización: botellas de cava/champán, ropa, calzado, trastos viejos y muebles, electrodomésticos grandes, aparatos eléctricos y electrónicos, cartuchos de tinta, tóners, etc.
- Residuos peligrosos: aceites de motor, aerosoles y espíais, disolventes, pinturas y barnices, baterías de coche, radiografías, pilas, fluorescentes y bombillas, neveras con CFC, etc.

Se pueden distinguir los siguientes tipos de puntos limpios:

1. *Puntos limpios fijos.*

Estas instalaciones están localizadas en un punto fijo. Suelen ser de gran tamaño y estar ubicados en las zonas perimetrales de los municipios o, al menos, no en las zonas centrales. Por tanto, cualquier tipo de depósito requiere el uso de un vehículo privado.

2. *Minipuntos limpios o Puntos limpios de barrio.*

Al igual que los puntos limpios fijos, están localizados en un punto concreto, sin embargo, son de menor tamaño y se ubican dentro del casco urbano. Por su tamaño, suelen estar repartidos en diferentes barrios o zonas del municipio. Otra diferencia con respecto al punto limpio fijo es que, si bien tienen la ventaja de ser más cercanos a los usuarios, el catálogo de residuos y el volumen que pueden aceptar es mucho menor. Por tanto, fomentan la recogida separada de diferentes fracciones en pequeña cantidad, como pueden ser los aceites de cocina, restos de pinturas, etc. Por tanto, es un complemento ideal para el punto limpio fijo.

Este servicio puede ser gestionado por pequeños antiguos recuperadores en sus locales propios, o puede complementar sus funciones con el desarrollo de actividades de reparación e intercambio en las mismas instalaciones del minipunto (MAPAMA).

3. *Puntos limpios móviles.*

A diferencia de los anteriores, este servicio consiste en un vehículo de recogida, con diferentes compartimentos para la recogida selectiva de algunas fracciones (ordinarios vidrio, envases ligeros, etc.- voluminosos, RAEE y peligrosos). Dicho vehículo se desplaza a diferentes puntos asignados, pudiendo ser estos barrios dentro de la misma población y/o diferentes poblaciones. Para ello, se fija un calendario donde los usuarios saben el lugar y hora establecidos por el servicio de recogida. Suele ser utilizado para ofrecer el servicio a poblaciones pequeñas, barrios o zonas diseminadas donde no

hay ninguna instalación de puntos limpios, o como refuerzo del punto limpio fijo en las poblaciones más grandes.

4. Puntos limpios colaboradores.

Son servicios privados de recogida de residuos asociados al Ayuntamiento (MAPAMA). Su funcionamiento consiste en emular las condiciones que utilizan los puntos limpios del municipio. Este sistema sirve para ofrecer al usuario diferentes lugares de depósito, más cercanos a su domicilio.

5. Recogidas específicas.

Además de los servicios de punto limpio, para las siguientes fracciones también se prestan otras recogidas específicas con diferentes modalidades y ubicaciones del servicio (Tabla 41), dependiendo en cada momento de la naturaleza de la fracción.

Tabla 41. Tipos de recogidas específicas. Fuente: MAPAMA (2017).

Fracción	Recogidas a demanda	Recogidas en equipamientos	Recogidas en comercios	Recogidas en puntos limpios	Otras recogidas
Pilas		X	X	X	
Fármacos		X	X		
Aceites vegetales usados		X		X	Circuito hostelería, centros educativos, etc.
RAEE	X		X	X	Recogida entidades sociales
Voluminoso	X			X	Recogida entidades sociales
Textil				X	Contenedores vía pública, recogida entidades sociales
Escombros				X	
Poda y restos vegetales	X			X	La fracción de poda no leñosa y de pequeñas dimensiones se puede recoger conjuntamente con la fracción orgánica
Otras fracciones				X	

Como se puede apreciar en la Tabla 41, los puntos limpios recogen todo tipo de residuos, mientras que ciertos comercios sólo pueden recoger algunos tipos de residuos, como son las pilas, fármacos y residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Si el ciudadano no quiere utilizar estos métodos, siempre puede depositarlos en equipamientos o contenedores concretos en los casos de pilas, fármacos y aceites; aunque es usual que utilice servicios de recogida para residuos más difíciles de transportar o manejar, como pueden ser los RAEE, los residuos voluminosos o los restos vegetales y poda.

2.6.1.5. Recogidas comerciales.

Según estudios de diferentes estados de la UE, se ha concluido que, dentro de la generación de residuos municipales, los de origen comercial suelen oscilar en un porcentaje del 15 al 30% (PROGREMIC 2007-2012, Álvarez, L. et al (2006). Esta variabilidad depende, entre otros factores, del tipo de municipio y la actividad económica que se desarrolle en el mismo. Con respecto a este último, dependerá del tipo de actividad y del volumen generado (PROGREMIC 2007-2012 y MAPAMA). Por tanto, para zonas rurales, los residuos comerciales estarían más cercanos al 15%, mientras que en municipios urbanos oscilaría entre el 20 y el 30%.

Las recogidas comerciales separadas, han demostrado ser muy eficaces y con porcentaje elevado de éxito, puesto que las fracciones recogidas han aumentado tanto en cantidad y calidad. Además, han provocado la mejora del servicio de recogida domiciliaria, ya que la cantidad a recoger por parte de estos últimos es menor, por lo que incrementa la calidad del servicio. Ligado a esto, ha disminuido la cantidad de desbordamientos y puntos negros, también ha disminuido las necesidades de contenerización y, en general, una mejora en la limpieza y acondicionamiento del espacio público.

Con respecto a los profesionales del servicio de limpieza, la instauración de este sistema ha provocado una optimización de los servicios de recogida de residuos domiciliarios, ya que permite reorganizar los circuitos de recogida, la readaptación de las dotaciones a la baja (en el caso de los vehículos de transporte) y disminuye los servicios de repaso (cuando se producen desbordamientos).

Además, estos sistemas son un punto de partida para fomentar la responsabilidad del productor y aplicar impuestos de recogida diferentes para los comercios en función del peso o volumen generados, pudiendo desarrollar procesos de control y sanción complementarios (MAPAMA).

Por lo expuesto anteriormente, la implementación y ampliación de este tipo de recogida, sería la estrategia más efectiva a la hora de gestionar los residuos. Sin embargo, su implantación no supondría la obligatoriedad de la incorporación de más circuitos adicionales, ya que se puede escoger el modelo más apropiado, acordes a las necesidades y características de cada zona (Tabla 42):

Tabla 42: Características de los modelos de recogida comercial.

Fuente: MAPAMA (2017)

Modelo	Características	Ámbitos prioritarios de implantación
Modelo integrado:	Costes bajos	Zonas con baja densidad de actividad económica
El comercio utiliza los mismos contenedores y logística de recogida que usa el ciudadano.	Supone que el servicio domiciliario pueda absorber estos flujos (contenerización y frecuencia)	Actividades con poca generación de residuos (similares a los de los domicilios)
Modelo mixto:	Costes intermedios	Zona de media densidad de población y cierta densidad de actividad económica
El comercio utiliza diferentes contenedores pero la misma logística de recogida que usa el ciudadano.	Supone que la flota de recogida domiciliaria pueda absorber la recogida de contenedores comerciales (frecuencia, número de camiones)	Grandes, medios productores
Modelo segregado:	Costes altos	Zona con alta densidad de población y actividad económica
El comercio utiliza diferentes contenedores y diferente logística de recogida que usa el ciudadano.	Supone la existencia de equipos, material y servicios completamente independientes	Grandes productores
Combinación de modelos	En función de las necesidades de cada caso	Municipios con combinación de zonas

Como se desprende de la Tabla 42, existen cuatro modelos de gestión de residuos comerciales: el primero, denominado integrado, utiliza los mismos recursos dispuestos a la ciudadanía. Este sistema supone un menor coste a los gestores de residuos, pero también implica que el comercio se halle en un lugar con baja densidad poblacional o que el volumen de residuos

producidos sea bajo, ya que si el volumen fuera alto, podría entorpecer o saturar la recogida de los residuos municipales de la ciudadanía. El segundo sistema, denominado mixto, considera que los comercios disponen de unos contenedores especiales únicamente para ellos, pero el sistema de recogida y transporte sigue utilizando la logística de la ciudadanía. Esto implica una pequeña elevación en el coste de la gestión de residuos, pero es asimilable ya que si usaran los sistemas normales de los ciudadanos, colapsarían el sistema de recogida y transporte. Este sistema se suele emplear con comercios cuya generación de residuos es intermedia o alta. El tercero, utilizado solamente por los comercios con grandes producciones de residuos, tiene su propio sistema de recogida y transporte, independizando esta recogida de la de la ciudadanía. Supone un coste elevado, puesto que precisa de contenedores, servicio y transportes completamente ajenos al sistema logístico de la ciudadanía. Por último, tenemos la opción de combinar los modelos anteriores, por lo que se puede dar diferentes perfiles según las necesidades de los comercios.

Los costes adicionales del modelo escogido, deben ser cubiertos por tasas o precios públicos específicos para los comercios. Dichas tasas deberán ser calculadas en base a la generación y/o el servicio prestado. Por tanto, la implantación de este modelo debe tener en cuenta el cómputo global de costes y beneficios, tanto organizativos, de gestión, económicos y ambientales.

2.6.2. Ventajas e inconvenientes.

En la Tabla 43, presenta un resumen de las ventajas e inconvenientes de cada sistema de recogida en relación a los resultados de gestión y a diversos impactos sobre el espacio público y su habitabilidad:

La figura 43, nos muestra una comparativa con las diferentes ventajas e inconvenientes de cada sistema de recogida que se ha nombrado en este documento. Entre todas las opciones, se hace notar que aquel que mejores condiciones presenta es el de recogida neumática en los buzones de edificios, ya que, según la figura, tendría una alta proximidad al usuario, habría una ocupación del espacio público muy baja, ya que su sistema de transporte es subterráneo, beneficiando aún más al sistema. También cuenta con la gran disminución del impacto visual que conllevaría que los sistemas de recogida y transporte estén bajo tierra, además que es un sistema que tendría muy pocos olores desagradables y ruido. Lo malo, sería la gran inversión financiera que habría que realizar para instaurar este sistema y mantenerlo.

El segundo mejor sistema, sería el de puerta a puerta, que si bien presenta unas cualidades que el primer sistema neumático no tenía, como una alta separación de residuos en origen y, por tanto, poca presencia de impropios, si ocuparía algo de espacio público, aunque menos que otros sistemas, como el de recogida con contenedores en la superficie. Así mismo, cuenta con una gran desventaja, que sería el transporte de los residuos, ya que al ser recogido puerta por puerta, ralentizaría el servicio y lo encarecería.

Por lo observado, y a opinión personal, el sistema de recogida en contenedores soterrados sería la opción más viable en relación calidad/coste. Ya que sería el segundo más barato en realizar la instalación, no conllevaría un gran impacto visual ni ocuparía espacios públicos, y presenta un volumen aceptable de olores y ruido. Sin embargo, este sistema no garantiza una correcta separación de residuos en origen ni la eliminación de impropios en los residuos.

En sistemas en contenedores próximos al ciudadano o agrupados en baterías de 5 contenedores se observan unos mejores resultados en cuanto a recogida separada, e impropios, ya se facilita y refuerza la colaboración ciudadano.

Tabla 43. Ventajas e inconvenientes por sistema de recogida. Fuente: MAPAMA (2017).

Parámetros evaluados		1º. Resultado del sistema (% Recogida separada)	2º. Cantidad de impropios en el sistema de recogida	3. Proximidad al usuario	4. Ocupación del espacio público	5. Impacto visual del sistema	6. Preservación de residuos en la vía pública (desbordamientos/ residuos fuera del contenedor)	7. Olores	8. Transporte de los residuos	9. Ruido
		(cond. +)	(cond. -)	(cond. +)	(cond. -)	(cond. -)	(cond. -)	(cond. -)	(cond. -)	(cond. -)
Sistemas de recogida	Recogida neumática	Buzones edificios	?	?	↑	↓↓	↓↓	↓	↓↓	↓
		Buzones vía pública	?	?	→	→	→	↓	↓↓	↓
	Recogida puerta a puerta		↑↑	↓	↑	↓	↓	↓	↑↑	→
	Recogida en contenedores en superficie		→ (1)	→ (1)	→	↑	→	↑	↑	↑
	Recogida en contenedores soterrados		?	?	→	→	→	→	↑	↑
Codificación		Muy alto ↑↑ Alto ↑ Medio → Bajo ↓ Muy bajo ↓↓ Datos no concluyentes ?**								

(cond. +): cuanto más alta es la puntuación más positivo es su efecto sobre los parámetros evaluados.

(cond. -): cuanto más alta es la puntuación más negativo es su efecto sobre los parámetros evaluados.

*Los resultados dependen en gran medida del diseño del sistema y de los instrumentos educativos, económicos, organizativos, etc. que los complementan.

**Las referencias que existen no son muchas y sus resultados variables no permiten consensuar unos valores en cuanto a recogida separada y nivel de impropios.

2.7. Sistema de tratamiento de los residuos domésticos.

2.7.1. Introducción.

En este punto, se van a tratar los diferentes tipos de tratamiento de residuos. Por tanto, estamos en el supuesto que los residuos ya han llegado a los gestores correspondientes.

Como se ha mencionado anteriormente, para la Ley 22/2011, el tratamiento de residuos son: *"las operaciones de valorización o eliminación, incluida la preparación anterior a la valorización o eliminación"*.

Para MAPAMA, la definición ofrecida oficialmente es: *"Los sistemas de tratamiento incluyen las operación o conjunto de operaciones que tienen por objetivo modificar las características físicas, químicas o biológicas de un residuo para reducir o neutralizar las sustancias peligrosas que contiene, recuperar materias o sustancias valorizables, facilitar el uso como fuente de energía o adecuar el rechazo para su posterior tratamiento finalista"*.

2.7.2. Tipos de tratamiento de los residuos domésticos.

1. Primer tipo de tratamiento (Madrid, F. (2012)).

Para Madrid, F. (2012), se entiende por tratamiento de residuos "el conjunto de operaciones encaminadas a su eliminación o al aprovechamiento de los recursos contenidos en ellos".

Por tanto, según dicho autor, los tres tratamientos más habituales serían:

- a. Vertido: donde se incluye el *vertido controlado* y el *vertido incontrolado*. En el primero, los residuos son acumulados, compactados y enterrados en vertederos, habilitados para ellos, situados en lugares idóneos para dicha función y sometidos a un riguroso control periódico. Es decir, están en terrenos con unas características geológicas e hidrológicas muy concretas.

El segundo, consiste en la acumulación de residuos en un lugar apartado, de tal forma que, al entendimiento de los depositarios, no influyen en el resto del municipio. Este método, habitualmente utilizado por poblaciones de pequeño tamaño, no es un

tratamiento de residuos, solo consiste en el abandono de los residuos. Sin embargo, en la época actual, dichos vertidos incontrolados y su práctica, han sido erradicados.

- b. Tratamiento térmico o incineración: los residuos son sometidos a altas temperaturas y quemados para disminuir su volumen a costa de los materiales combustibles que forman parte de su composición. Durante el proceso de incineración, se despiden grandes cantidades de energía en forma de calor, las cuales pueden o no, ser aprovechadas en la generación de energía eléctrica o calorífica.
- c. Reutilización o reciclado: en este sistema de tratamiento, los residuos son sometidos a una serie de operaciones que consigan que vuelvan a ser elementos útiles. Si su función, tras este proceso, no ha cambiado, se habla de reciclado, mientras que si ha cambiado su función, se habla de reutilización.

2. Segundo tipo de tratamiento (Ley 22/2011).

Como se ha mencionado anteriormente, para la Ley 22/2011, el tratamiento de residuos son: "las operaciones de valorización o eliminación, incluida la preparación anterior a la valorización o eliminación".

Recordando el artículo 8 de la misma Ley, la jerarquía de tratamiento de los residuos sería de:

- a. Prevención.
- b. Preparación para la reutilización.
- c. Reciclado.
- d. Otro tipo de valorización, incluida la valorización energética.
- e. Eliminación.

Para el apartado presente, la definición que más interesa, es la de reciclado y eliminación, que se enuncian a continuación:

"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.

"Eliminación": Cualquier operación que no sea la valorización, incluso cuando la operación tenga como consecuencia secundaria el aprovechamiento de sustancias o energía.

Por último, en la ley se menciona la *"transformación del material orgánico*, como tal, se podría introducir un nuevo concepto, **compost**, contemplado en la ley, y que se define como:

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".

También es interesante, introducir los siguientes conceptos, los cuales no están definidos en la legislación actual, pero se mencionan en ella. Dichos conceptos se toman del diccionario de la Real Academia Española (RAE).

Vertidos: "*Materiales de desecho que las instalaciones industriales o energéticas arrojan a vertederos o al agua*".

En esta última definición, nos menciona un nuevo concepto (vertedero) y, además, introduce a un debate que trajo, durante años, mucha polémica en torno al tema de los residuos y mencionada en el punto anterior por Madrid, F. (2012): los vertidos controlados y los incontrolados.

Se entiende como **vertido controlado**, cuando los residuos son acumulados y tratados en lugares habilitados para ello. Sin embargo, un **vertido incontrolado** consiste en la acumulación de residuos, en un lugar que no está habilitado para ello, y cuyo contenido (los residuos) no son tratados de ninguna forma.

Dicha polémica fue tratada en el año 2001, con la aprobación del Real Decreto 1481/2001. Desde su aprobación, en los registros estadísticos oficiales, se observa una continua disminución de los vertidos incontrolados, de tal forma que en el año 2010 desaparecieron de dichos registros, dando a entender que desde ese año, se regularizaron todos estos vertidos.

Vertedero: *“Lugar donde se vierten basuras o escombros”.*

Incineración: *“Reducir algo a cenizas”.*

En este concepto se entiende que los residuos son sometidos a altas temperaturas, provocando su ignición debido a los elementos combustibles en su composición, para reducir su volumen (formación de cenizas). Este proceso se puede aprovechar para la obtención de energía.

3. Tercer tipo de tratamiento (MAPAMA).

El método de tratamiento que utiliza el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), sigue lo establecido por la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, estructurado de acuerdo a las siguientes etapas:

La primera de “Preparación para la reutilización”, ligada directamente con las estrategias de reducción de residuos, incluye en su procedimiento tareas como la comprobación, limpieza y, si es posible, la reparación del residuo. De esta forma, dicho residuo vuelve a transformarse en un producto útil o, al menos, algunos componentes que lo formen.

Para continuar, con las distintas formas de la etapa del “Tratamiento del residuo” propiamente dicho, que puede ser de distinta naturaleza y que se van a explicar con más detalle, como son:

- Tratamiento biológicos:
 - Compostaje.
 - Biometanización.
- Tratamientos mecánicos.
- Tratamientos biológicos-mecánicos.

1. Tratamientos biológicos.

Los tratamientos biológicos son operaciones de tratamiento por biodegradación de materia orgánica tanto recogida de forma separada (FORS) como de la presentes en la fracción resto donde no hay dicha recogida separada, combinándose en este último caso con tratamientos mecánicos complementarios.

1.1. Compostaje.

El compostaje es un proceso biológico aerobio (con presencia de oxígeno) que, bajo condiciones de ventilación, humedad y temperatura controladas, transforma los residuos orgánicos degradables en un material estable e higienizado llamado compost, que se puede utilizar como enmienda orgánica (MAPAMA).

El proceso de compostaje se basa en la actividad de microorganismos, como los hongos y las bacterias, que descomponen la materia orgánica y permite homogenizar los materiales, reducir su masa y volumen e higienizarlos. La duración de todo el proceso, dependiendo de factores tales como el sistema utilizado de compostaje, la tecnología, la disponibilidad de espacio, etc., oscila entre las 10 y 16 semanas.

El proceso de compostaje se desarrolla en dos fases: descomposición y maduración. En la primera fase, los microorganismos actúan sobre las moléculas más fácilmente degradables. Como consecuencia de esta degradación, se libera energía calorífica (se alcanzan temperaturas de 60-70°C), agua, anhídrido carbónico y amoníaco; biopolímeros como la celulosa y la lignina quedan parcialmente alterados y pasan a ser, en la posterior fase de maduración, las estructuras básicas de las macromoléculas que incluirán parte del nitrógeno contenido en los materiales iniciales dando lugar a materia orgánica parecida a las sustancias húmicas del suelo (Soliva, M. (2001a)). Esta fase tiene una duración de 4 a 6 semanas, sin embargo, si se emplean ciertos sistemas, como los de recinto cerrado y tecnología como la aireación forzada, este proceso puede reducirse a 2 o 4 semanas.

Tras esta fase, llega la fase de maduración, donde el residuo comienza a estabilizarse y madurar. Esta fase tiene una duración aproximada de 6 a 10 semanas, obteniéndose como producto final el compost, con diferentes propiedades y estabilidad según la duración de la maduración.

Durante el proceso, se experimenta un incremento de temperaturas importante, sobre todo durante la fase de descomposición. Este hecho, unido a la competencia y el antagonismo entre los grupos de microorganismos y la formación de antibióticos de la fase de maduración son elementos que minimizan el número de agentes patógenos animales y vegetales en el producto final (MAPAMA).

Como se ha mencionado anteriormente, este proceso necesita estar sometido a un estricto control. De esta forma, hay que evaluar la cantidad y naturaleza que va a entrar al proceso de compostaje, y valorar si necesitan pre o post tratamientos. En el primer caso, consiste en adecuar la materia prima (los residuos) al proceso de compostaje. Los post tratamientos se refieren sobre todo a la finalidad que vaya a darse al compost y, por ende, la calidad que requiere.

En el pretratamiento, la FORS, por su elevado contenido en humedad, materia orgánica fermentable y nitrógeno, necesita ser mezclada con otro tipo de residuos (Soliva, M. et al (1993); Pérez, C. et al. (1995 y 1999); López, M. et al. (2010a y b)), como restos vegetales (poda), que incrementan la porosidad, equilibran los contenidos aire/agua, y permiten adecuar la proporción en biopolímeros y la relación C/N. Las mezclas acostumbran a realizarse con una proporción en volumen de restos vegetales que puede estar entre el 25% y el 60%, dependiendo del tipo de FORS y el sistema de compostaje utilizado en las distintas instalaciones (MAPAMA).

Las etapas de post-tratamiento pueden tener distintas finalidades: fraccionar según granulometría, separar según posibles usos, mezclar con otros productos para mejorar alguna de sus características. En el caso del tratamiento de la FORS normalmente se instalan para eliminar impurezas derivadas de los impropios iniciales no separados y recuperar la parte de restos vegetales más gruesa y menos transformada (recirculado vegetal).

En la Figura 18, se muestra un esquema de Huerta, O. et al. (2010), como guía para la recogida separada y la gestión de la fracción orgánica, observándose las etapas previas antes de la formación del proceso de compostaje hasta la formación del compost.

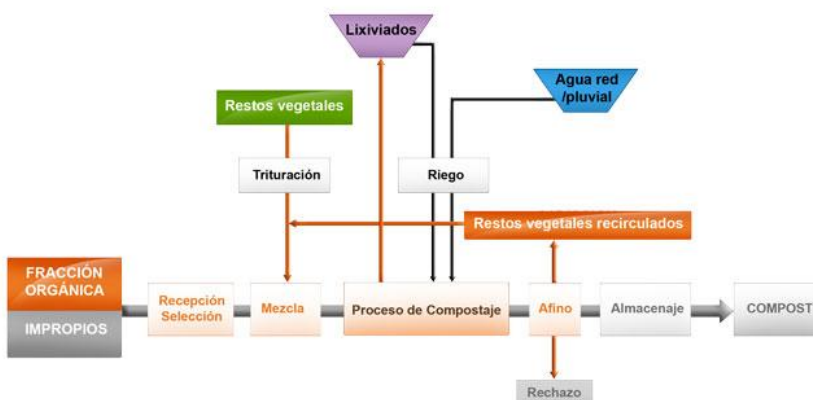


Figura 18. Etapas del compostaje de la fracción orgánica de residuos municipales recogidos separadamente.

Fuente: Huerta, O. et al, 2010b. Guía para la recogida separada y gestión de la fracción orgánica.

La figura 18, muestra el proceso que sufren los residuos orgánicos en su transformación de residuos a compost. En la primera fase, se observa como la mezcla de residuos tiene elementos impropios, por lo que pasa por un proceso de selección una vez ha llegado a la planta de tratamiento. En esta selección, no se eliminan de forma completa todos los impropios de la mezcla, pero se eliminan un alto porcentaje. A estos restos orgánicos, se le añaden restos vegetales triturados, enriqueciendo la mezcla. Una vez obtenida la mezcla, comienza el proceso de compostaje en sí, donde actúan ciertos microorganismos que transforman la mezcla orgánica en el compost final. Para mantener unas condiciones higiénicas y de calidad, la mezcla es volteada para facilitar su aireación y regada para evitar el aumento excesivo de la temperatura, provocada por la actividad metabólica de los microorganismos citados. Durante el riego o debido a las precipitaciones naturales, se crea un subproducto no deseado, que son los lixiviados. Hace algunos años, la práctica de utilizar estos lixiviados como elemento de enfriamiento en lugar de agua, era la más utilizada. Sin embargo, actualmente, esta práctica se encuentra desaconsejada, puesto que dichos lixiviados pueden provocar el aumento de las concentraciones de ciertos elementos tóxicos, como metales pesados, en el compost final. Una vez que la mezcla se ha estabilizado, se produce un cribado de dicha mezcla, obteniendo, por un lado, el afino que será el paso previo a la obtención del compost; y por otro lado, una mezcla orgánica que aún no está lo suficientemente madura o estabilizada para pasar al proceso de compostaje. Este material de rechazo es devuelto al principio del proceso de compostaje. El afino, es almacenado para acabar de estabilizarse y obtener, así el compost.

Últimamente, se reserva el concepto compostaje cuando se trata de fracción orgánica de recogida separada. Para la materia orgánica no separada en origen se utiliza el término bioestabilización u otros similares (estabilización aerobia), aunque las bases del proceso biológico son las mismas (MAPAMA).

Los principales sistemas de compostaje / bioestabilización son los siguientes:

- Pilas.
- Túneles de compostaje.
- Tambores de compostaje.
- Compostaje en nave cerrada con volteo automático.
- Estabilización en trincheras.

Otro tipo de tratamiento biológico que se puede aplicar a los residuos orgánicos es el biosecado. Aplicando una corriente de aire forzado a través de las pilas de residuos triturados, unido al calor producido por la descomposición de los mismos, fomentan la evaporación del agua que esté contenida en la pila de residuos, la eliminación de los patógenos y parte de la propia materia orgánica contenida en los residuos.

Este sistema se utiliza con fracciones mezcladas y sin tratamiento de separación previo o para conseguir estabilización de los rechazos con contenido orgánico y de la materia orgánica no recogida separadamente. Si se consigue rebajar el grado de humedad de estos residuos por debajo del 20% del peso, obtendríamos un producto con alto poder calorífico inferior (PCI) que podría ser utilizado como combustible.

1.2. Biometanización.

La biometanización o digestión anaerobia, es un proceso biológico que, en ausencia de oxígeno, los microorganismos permiten transformar la parte más degradable de la materia orgánica en biogás. El biogás es una mezcla gaseosa combustible de elevada capacidad calorífica (5.750 Kcal/m^3), lo que lo hace ideal como combustible en motores de cogeneración, calderas y turbinas, obteniéndose electricidad, calor o biocarburante. Su composición es, principalmente, metano y dióxido de carbono, aunque en una fracción minoritaria hay otros gases como vapor de agua, monóxido de carbono, nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, etc.)(Mata, J. (2002); UE 2006; Carreras, N. (2010), MAPAMA (2017)).

La digestión anaerobia tiene diferentes etapas, sin embargo, solo tiene dos fases principales, al igual que sucedía con el compostaje. La primera es una hidrólisis fermentativa y la segunda etapa donde se genera metano y dióxido de carbono, debido a la acción de ciertas bacterias.

Al igual que sucede con el compostaje, la calidad, composición y rendimiento del biogás dependerá de la materia prima utilizada en su fabricación. Para un producto de máxima calidad, es necesario utilizar un sustrato rico en grasas, proteínas e hidratos de carbono. Por tanto, se recomienda el tratamiento previo de la materia orgánica procedente de la recogida separada para evitar la presencia de elementos no orgánicos, realizar una mezcla inicial que produzca un biogás de calidad o evitar la acumulación de estos en alguna de las fases de la digestión anaeróbica. Si no se cumplen estas premisas, sobre todo la de no tener materiales no orgánicos o extraños, la instalación puede tener graves problemas y, rendimientos muy bajos, que no justificarían su coste ni su instalación (Huerta, O. et al. (2010b)).

Las tecnologías de biometanización se clasifican en dos grandes grupos atendiendo al contenido en sólidos en el proceso:

- Digestión anaerobia vía húmeda: el contenido de humedad en la mezcla está por debajo del 20%, normalmente entre 3-15% en materia seca. Esto se logra preparando una suspensión, es decir, se añade agua antes de iniciar la digestión anaeróbica.
- Digestión anaerobia vía seca: el contenido de humedad está entre el 20 y el 40%. Esto se consigue mediante el movimiento del residuo dentro del digestor por acción mecánica o por recirculación del propio biogás.

Los diagramas de flujo de las instalaciones de biometanización de los residuos de competencia municipal presentan fundamentalmente, según MAPAMA, las etapas siguientes:

1. Selección más o menos compleja según el origen de los residuos y el tipo de recogida establecido y que coincide con la realizada en las instalaciones de compostaje.
2. Acondicionamiento del material para su digestión (reducción de su granulometría, ajuste del contenido en sólidos totales, mezcla con efluente recirculado, ...).

3. Digestión anaerobia.
4. Deshidratación, separación de fases líquida/sólida.
5. Tratamiento de la fracción líquida del digestato y de otras aguas residuales generadas.
6. Estabilización aerobia de la fracción sólida del digestato.
7. Recogida y aprovechamiento del biogás producido, que puede ser utilizado para la cogeneración de calor y electricidad, además de poderse purificar e inyectar en la red de distribución de gas o ser utilizado en vehículos.

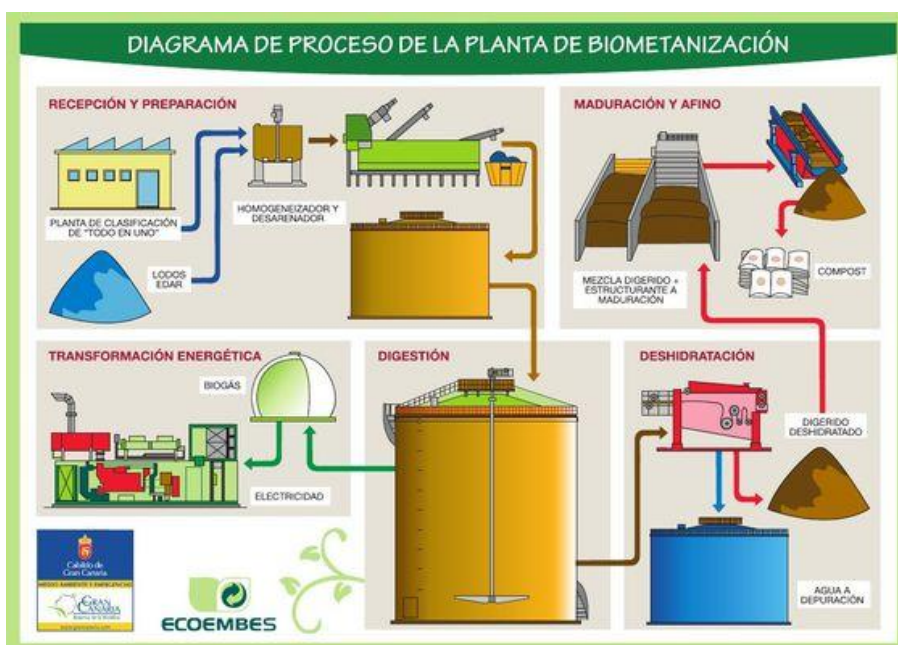


Figura 19. Diagrama de proceso de la planta de biometanización.

Fuente: Ecoembes (2017).

A modo de resumen, se adjunta la Tabla 44, que realiza la comparativa entre los dos tratamientos expuestos hasta ahora.

Tabla 44. Comparativa de las distintas etapas en que se desarrollan los dos tratamientos biológicos. *Fuente: Soliva, M (2011). Guía para la recogida separada y gestión de la fracción orgánica. MAPAMA (2013).*

	Biometanización	Compostaje
Recepción del material en las instalaciones y separación impropios	Los dos tratamientos coinciden en la necesidad de gestionar bien el transporte y la llegada de los materiales y que estos presenten el mínimo de impropios.	
Adecuación materiales/Mezclas	Necesita bajo contenido en materia seca y elevado contenido en MO biodegradable.	Necesita añadir materiales complementarios que aporten porosidad, equilibren humedad y proporción C/N. Muy adecuados los restos vegetales de jardinería y poda.
	Mezclas adecuadas mejoran el proceso y los rendimientos. En compostaje cuanto más completo es el proceso menor es la cantidad de compost producido. En los procesos anaerobios el rendimiento debe valorarse a partir de la producción de biogás. En ambos casos al valorar los rendimientos no debe olvidarse la cuantificación del rechazo generado.	
Otros pre-tratamientos	Puede ser necesario un triturado previo, macerado o incluso algún tipo de tratamiento térmico. En estas etapas pueden producirse distintos tipos de rechazo que, aparte de complicar la gestión, generan pérdidas de MO.	
Digestión/fase descomposición	Se puede considera cierta similitud entre la digestión y la fase de descomposición del compostaje. En ambos se produce una disminución importante de la MO más biodegradable.	
	Genera biogás/energía y un digestato con elevada carga orgánica que en pocas situaciones puede ser aplicado directamente y que es necesario separar en fracción líquida y sólida.	Necesita aireación, consume energía.
Rasgos generales de los materiales obtenidos	Fracción Líquida digestato: pH básico, CE muy elevada, elevado contenido en N-NH ₄ y DQO. Puede arrastrar muchos contaminantes solubles.	Material inmaduro: pH neutro, CE mediana, Humedad 40%, moderado contenido en N-NH ₄ , niveles importantes de MO medio estabilizada
	La FS de la digestión y el material aerobio medio estabilizado pueden tener ciertas similitudes pero dependen mucho del tipo de instalaciones y de su gestión	
Maduración	La FS presenta elevada densidad aparente, es muy pastosa poco estabilizada y tiene contenidos elevados de N amoniacal; para estabilizar en condiciones aerobias es necesario complementar con materiales que corrijan estas características.	Producto de final de la descomposición necesita finalizar la estabilización durante una fase en que hay reconstrucción de moléculas de elevado peso molecular y fijación de N en sus estructuras.

FS: Fracción sólida **FL:** Fracción Líquida **CE:** Conductividad Eléctrica **MO:** Materia Orgánica.

2. Tratamientos mecánicos .

A diferencia del método anterior, este método no transforma de ninguna manera los residuos a los que trata. Este tipo de tratamiento consiste, únicamente, en una clasificación de los residuos, los cuales son distribuidos de una forma u otra debido a diferentes factores como es el tamaño, el magnetismo, la densidad, etc.

2.1. Selección y clasificación de materiales.

La función de las instalaciones de clasificación es seleccionar y clasificar el contenido del material entrante en la planta. Dicha selección se realiza a través de procesos de separación manuales y mecánicos o automatizados. A través de este proceso, se recuperan materiales o elementos de fracciones valorizables y se preparan para poder ser comercializados de nuevo. El resto de materiales no seleccionados son procesados como materia prima para un tratamiento térmico o su depósito en vertedero. Su uso, principalmente, consiste en la separación de envases ligeros.

Las instalaciones de clasificación de residuos de envases se podrían clasificar en tres grandes grupos dependiendo del grado de automatización: manuales, semiautomáticas y automáticas. En España predomina el tipo semiautomático, de un tamaño medio (con una capacidad de procesamiento de residuos de 2-3 t/h). El objetivo de estas plantas es ir sustituyendo de forma paulatina el sistema semiautomático por uno automático, para conseguir una mayor capacidad de procesamiento (4,5 t/h y superiores) (MAPAMA (2013)).

A continuación, se muestran las áreas básicas de una instalación semiautomática de selección de residuos de envases ligeros, ya que, como se citó anteriormente, es el sistema más utilizado en España en la actualidad:

1. Zona de recepción de residuos.
2. Área de alimentación de residuos y sistema de apertura de bolsas (abrebolsas).
3. Preclasificación manual.
4. Preclasificación mecánica.
5. Clasificación automática de materiales reciclables.
6. Clasificación manual de materiales reciclables.
7. Preparación (prensado y embalaje), almacenamiento y expedición de materiales.

El procedimiento de este tratamiento consiste en lo siguiente:

- Llegada de los residuos en bolsas a un lugar de almacenamiento temporal, denominado playa (aunque también se pueden utilizar fosos).
- Transporte de dichos residuos, a través de una pala cargadora al inicio del proceso.
- Paso de los residuos por un abrebolsas.
- Inicio del proceso de clasificación (eliminación de voluminosos). Este es un proceso manual.
- Paso a una etapa de preselección mecánica, consistente en una criba rotatoria o trómel (separación de los residuos por tamaño).

- Clasificación de los residuos a través de:
 - Segregación en corrientes mediante separación por medida con trómeles o separación por forma con sistemas balísticos y recuperación mediante separadores magnéticos (metales férreos).
 - Separadores de Foucauld (metales no férreos).
 - Separadores automáticos por infrarrojos (plásticos y cartón para bebidas).
 - Captación con aspiración automática (plástico film).

3. Tratamientos mecánico-biológicos.

Los tratamientos mecánicos-biológicos(TMB) o biológico-mecánico (TBM) son la combinación de procesos físicos y biológicos para el tratamiento de los residuos o fracciones de residuos con contenido significativo de materia orgánica procedente de la fracción resto o la fracción inorgánica/seca (fracción resto y envases ligeros recogidos conjuntamente), si esta última presenta cantidades importantes de orgánica (MAPAMA (2017)).

Los objetivos del tratamiento mecánico-biológico en las instalaciones de tratamiento de residuos municipales son:

- Extraer de los residuos de entrada, los materiales impropios voluminosos o que pueden producir problemas en los procesos posteriores de tratamiento.
- Separación y recuperación de materiales valorizables.
- Preparar y acondicionar los residuos para el tratamiento biológico posterior y finalmente estabilizar la materia orgánica. En el caso de la biometanización, obtener biogás que puede tener un aprovechamiento energético.
- Acondicionar los flujos de salida de los procesos para su destino final o valorización.
- Como consecuencia de los dos puntos anteriores, disminuir el rechazo saliente de planta y su biodegradabilidad.

Las instalaciones TMB/TBM pueden funcionar con diferentes líneas y tecnologías en función de las necesidades. Normalmente, la primera etapa se corresponde con un tratamiento mecánico, seguido de un proceso biológico.

Los procesos biológicos que integran pueden utilizar las distintas tecnologías existentes, con las siguientes posibles combinaciones:

- Tratamiento mecánico (+Acondicionamiento rechazo). No se da la segunda fase de tratamiento biológico.
- Tratamiento mecánico +Bioestabilización de la materia orgánica (compostaje) (+Acondicionamiento rechazo).

- Tratamiento mecánico +Biometanización de materia orgánica +Bioestabilización del digestato (+Acondicionamiento rechazo).
- Tratamiento mecánico + Biosecado de materia orgánica (+Acondicionamiento rechazo).
- Bioestabilización/Biosecado +Tratamiento mecánico (+Acondicionamiento rechazo).

Las etapas de bioestabilización, digestión y biosecado son equivalentes a los procesos definidos en el apartado de tratamientos biológicos.

A continuación, se desarrolla de forma esquemática las principales fases del tratamiento de las instalaciones de TMB:

1. Zona de recepción de residuos.
2. Separación de voluminosos (normalmente manual, con una segunda separación de cartón).
3. Apertura de bolsas (normalmente trómel con pinchos rompebolsas, o equipo abrebolsas).
4. Separación y acondicionamiento de la parte orgánica, a partir de distintas técnicas:
 - a) Separación por trómel y separación mecánica de inertes de la fracción fina asociadas a la digestión seca.
 - b) Separación por trómel y, acondicionamiento y separación de impurezas de la fracción fina con púlper asociado a la digestión húmeda.
 - c) Separación por percolación asociada a la digestión del percolado.
 - d) Separación y acondicionamiento con tambores de pretratamiento.
5. Proceso de tratamiento biológico según tecnología escogida (ver apartado Tratamientos biológicos (1.2) y post afino de la enmienda orgánica obtenida (si el estabilizado resultante se destina a vertedero o se usa como combustible derivado de residuos (CDR), necesita de un post tratamiento particular).
6. Clasificación de los materiales reciclables (equipos equivalentes a los utilizados en las instalaciones de clasificación de envases ligeros).
7. Preparación (prensado y embalaje), almacenamiento y expedición de materiales.

4. Otros tratamientos.

Una vez tratados los residuos orgánicos y considerando que hay otra clase de residuos que reciben un tratamiento específico (como los residuos de fármacos, aparatos eléctricos y electrónicos, aceites, etc.), nos centramos en los únicos residuos que aún no se ha contemplado su tratamiento: los residuos voluminosos y los escombros y tierra.

4.1. Selección y tratamiento de voluminosos.

Las etapas más habituales del proceso de tratamiento de estos residuos son:

- Trituración de los residuos de madera y separación de materiales férricos.
- Separación sin trituración del resto de residuos y agrupación según su naturaleza en contenedores específicos (electrodomésticos que contienen gases nocivos, equipos electrónicos y electrodomésticos de línea blanca (excepto neveras) y línea marrón, y colchones (estos se pueden triturar)).
- Almacenaje y posterior expedición a las instalaciones de tratamiento o reciclaje correspondientes.

4.2. Reciclaje de tierras y escombros.

Gran parte de los residuos de la construcción y demolición (RCD) pueden ser reciclados a través de un proceso mecánico.

Un centro de tratamiento y reciclaje de RCD se compone de dos infraestructuras básicas:

- Planta de reciclaje de escombros donde se realizan las labores de tratamiento y recuperación.
- Vertedero donde son depositados los escombros procedentes de los rechazos de las distintas etapas del proceso de tratamiento.

Los procesos de tratamiento de RCD incluyen las siguientes etapas:

- Pretratamiento: selección primaria donde se separan aquellos residuos que no pueden ser tratados en la instalación (por ejemplo los materiales tóxicos y peligrosos) y se seleccionan las fracciones más voluminosas, antes de acceder a la siguiente fase.
- Proceso de clasificación: cribado del material entrante (separación fracción fina), separación automática y manual de férricos, otros metales, plásticos, papel-cartón, maderas, etc., trituración del material árido grueso, y clasificación por cribado y limpieza del árido en función de la granulometría.
- Almacenado y expedición de productos a las instalaciones de reciclaje correspondientes y de áridos comercializables.

4.3. Trasvase o transferencia.

Las instalaciones de transferencia de residuos son instalaciones intermedias entre los lugares de recogida y las instalaciones de gestión de residuos (o las instalaciones finalistas). La finalidad de estas instalaciones es disminuir los costes del transporte de los residuos hasta su destino, utilizando equipos de almacenamiento, compactación (cuando sea necesario) y transporte de gran capacidad.

2.7.3. Valorización energética / tratamientos térmicos.

Se considera como tratamiento térmico de los residuos cualquier proceso destinado a la transformación de los residuos mediante la aplicación de energía calorífica (incineración, pirólisis, secado, etc.). No son tratamientos finalistas pues generan residuos que han de gestionarse adecuadamente a sus características (MAPAMA (2017)).

Actualmente, existen distintos tipos de tecnologías de tratamiento térmico:

- La incineración (la más extendida).
- La gasificación.
- La pirólisis.
- La gasificación por plasma.

Aunque el sistema más desarrollado y probado es la incineración, los demás sistemas están, actualmente, en una fase de crecimiento. Esto se debe al intento de lograr una recuperación energética más eficiente, unido a la repulsa social del método de la incineración.

La normativa que regula los tratamientos térmicos son, a nivel europeo, la Directiva 2000/76/CE y a nivel español, el Real Decreto 653/2003, derogada por el Real Decreto 815/2013.

Para que la incineración de residuos sólidos urbanos sea considerada como operación de valorización, debe cumplir las especificaciones de la Directiva 2008/98/CE y por transposición la Ley 22/2011, las cuales indican que necesitan alcanzar una eficiencia energética de 0,65, a partir del 1 de enero de 2009 (0,60 tratándose de instalaciones en funcionamiento y autorizadas conforme a la legislación comunitaria aplicable desde antes del 1 de enero de 2009). Concretamente, dicho requisito aparece en el anexo II de la Ley 22/2011. La obtención del valor de la eficiencia energética se corresponde con la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia energética} = [E_p - (E_f + E_i)] / [0,97 \times (E_w + E_f)]$$

Donde:

- E_p es la energía anual producida como calor o electricidad, que se calcula multiplicando la energía en forma de electricidad por 2,6 y el calor producido para usos comerciales por 1,1 (GJ/año).
- E_f es la aportación anual de energía al sistema a partir de los combustibles que contribuyen a la producción de vapor (GJ/año).
- E_w es la energía anual contenida en los residuos tratados, calculada utilizando el poder calorífico neto de los residuos (GJ/año).
- E_i es la energía anual importada excluyendo E_w y E_f (GJ/año).
- 0,97 es un factor que representa las pérdidas de energía debidas a las cenizas de fondo y la radiación.

Esta fórmula se aplicará de conformidad con el documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para la incineración de residuos.

1. Incineración.

La incineración es el nombre del tratamiento que implica la combustión de los residuos. La combustión, según la UNE-EN-ISO 13943/2012, es "*la reacción exotérmica de una sustancia con la participación de un oxidante*".

Las características generales de la incineración de residuos, son las siguientes:

- Se requiere un exceso de oxígeno durante la combustión, para asegurar una completa oxidación.
- La temperatura de combustión está, típicamente, comprendida entre los 900°C y 1200°C.

Como resultado del proceso de incineración se obtiene:

- Gases de combustión, los cuales son:
 - CO₂
 - H₂O
 - O₂ no reaccionado
 - N₂ del aire
 - Otros compuestos en menores proporciones, como:
 - Gases ácidos derivados de reacciones de halógenos
 - Azufre
 - Metales volátiles
 - Compuestos orgánicos (como dioxinas y furanos)
 - Partículas.
- Residuo sólido, compuesto fundamentalmente por:
 - Escorias inertes.
 - Cenizas.
 - Residuos del sistema de depuración de los gases de combustión.
- El calor que llevan los gases a la salida de la cámara de postcombustión, se puede aprovechar para calentar agua, que se utiliza como calefacción o como generador de vapor para usos industriales o para generar energía eléctrica mediante un conjunto de turbina de vapor y alternador.

2. Pirólisis.

La pirolisis es una degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno, por lo que dichas sustancias se descomponen mediante calor, sin que se produzcan las reacciones de combustión (MAPAMA).

Las características básicas de dicho proceso son las siguientes:

- El único oxígeno presente es el contenido en el residuo a tratar.
- Las temperaturas de trabajo son inferiores a las de la gasificación, oscilando entre 300°C y 800°C.

Como resultado del proceso se obtiene:

- Gas, formado por:
 - CO.
 - CO₂.
 - H₂.
 - CH₄.
 - Compuestos más volátiles procedentes del cracking de las moléculas orgánicas, conjuntamente con los ya existentes en los residuos. Este gas es muy similar al gas de síntesis obtenido en la gasificación, pero hay una mayor presencia de alquitranes, ceras, etc. en detrimento de gases, debido a que la pirólisis trabaja a temperaturas inferiores a la gasificación.
- Residuo líquido, formado por:
 - Hidrocarburos de cadenas largas como alquitranes.
 - Aceites.
 - Fenoles.
 - Ceras.
- Residuo sólido, compuesto por todos aquellos materiales no combustibles, los cuales o bien no han sido transformados o proceden de una condensación molecular con un alto contenido en carbón, metales pesados y otros componentes inertes de los residuos.

Los residuos producidos en este tratamiento, pueden ser aprovechados como material combustible. Los líquidos y gaseosos son buenos combustibles para la generación de energía eléctrica. En cambio los sólidos se utilizan como combustibles en ciertas instalaciones industriales.

3. Gasificación.

La gasificación es un proceso de oxidación parcial de la materia, en presencia de cantidades de oxígeno inferiores a las requeridas estequiométricamente (MAPAMA (2017)).

En términos generales, las características para el proceso de gasificación de una corriente de residuos son las siguientes:

- Se usa aire, oxígeno o vapor como fuente de oxígeno, y en ocasiones como portador en la eliminación de los productos de reacción.
- La temperatura de trabajo es típicamente superior a los 750°C.

Como resultado del proceso de gasificación se obtiene:

- Gas, denominado gas de síntesis, compuesto principalmente por:
 - Monóxido de carbono.
 - Hidrógeno.
 - Dióxido de carbono.
 - Nitrógeno (si se emplea aire como gasificante).
 - Metano en menor proporción.
 - Otros productos secundarios como:

- Alquitraneos.
 - Compuestos halogenados.
 - Partículas.
- Residuo sólido, compuesto por materiales no combustibles e inertes presentes en el residuo alimentado.

4. Gasificación por plasma.

El plasma es una mezcla de electrones, iones y partículas neutras, obtenido al someter un gas a altas temperaturas (MAPAMA (2017)).

Las características que definen este proceso son las siguientes:

- La generación del plasma se realiza al hacer fluir de un gas inerte a través de un campo eléctrico existente entre dos electrodos.
- Las temperaturas de trabajo varían entre 5.000°C y 15.000°C.

Gasificación por plasma, en la que se utiliza como fuente de calor la energía térmica contenida en el propio plasma a partir de la energía (normalmente eléctrica) consumida para la generación del mismo. De esta forma, se obtiene como producto final, un gas cuyos componentes básicos son:

- Gas, compuesto fundamentalmente por monóxido de carbono e hidrógeno.
- Residuo sólido, consistente en una escoria inerte generalmente vitrificada.

2.7.4. Depósito en vertedero.

Un vertedero es una instalación de eliminación de residuos mediante su depósito subterráneo o en superficie, por períodos de tiempo superiores a los considerados para el almacenamiento temporal (MAPAMA).

Este tratamiento sería la última opción según la Directiva Marco y la Ley 22/2011, por lo que únicamente se deberían destinar a estas instalaciones aquellos residuos que no pueden ser preparados para su reutilización, reciclados, o valorizados después de someterlos a un tratamiento previo (excepto los inertes) para reducir su volumen o peligrosidad, y generar así las menores aportaciones posibles.

Los vertederos controlados son depósitos en los que existe una impermeabilización total del suelo, unos sistemas de canalización de lixiviados y tuberías que recogen el biogás que se forma en su interior (pudiendo realizar un aprovechamiento energético de este gas).

Como se comentó anteriormente, actualmente está totalmente prohibido el vertido de residuos de manera no controlada en todo el territorio nacional, con el objetivo de evitar problemas como la contaminación de aguas, la generación de sustancias peligrosas, la transmisión de enfermedades o ser un posible foco de incendio.

El Real Decreto 1481/2001, en su artículo 4, clasifica los vertederos en las categorías siguientes según la topología de residuos que se depositen:

- Vertedero para residuos peligrosos, residuos que aparecen definidos como tales en el artículo 3, párrafo e), de la Ley 22/2011, nombrados en el Anexo III de la misma Ley.
- Vertedero para residuos no peligrosos, entre los que se encuentran los residuos de competencia municipal.
- Vertedero para residuos inertes, aquellos residuos no peligrosos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. La lixiviabilidad total, el contenido de contaminantes de los residuos y la ecotoxicidad del lixiviado deberán ser insignificantes, y en particular no deberán suponer un riesgo para la calidad de las aguas superficiales y/o subterráneas.

Así mismo, puede darse el caso que en un vertedero haya más de un tipo de residuo depositado. Esto es posible siempre y cuando cumplan una serie de requisitos, especificados en el Real Decreto 1481/2001, concretamente, en su Artículo 4.2. Dicho Real Decreto, fijó los objetivos de reducción para dar cumplimiento a la Directiva 1999/31/CE del Consejo.

Para conseguir estos objetivos se ha publicado la Estrategia Española de Reducción del vertido de residuos municipales biodegradables (para más información ver el PNIR). Esta estrategia se centra principalmente en los residuos municipales de origen domiciliario, debido a la falta de conocimientos sobre su generación y gestión para poder dar una gestión adecuada.

3. PROCESO DE COMPOSTAJE

3.1. Antecedentes, Definición y normativa

Una de las primeras obras escritas que tratan sobre compostaje es "De los trabajos del campo", de Columela, L.J.M. (1988). En ella, describía lo siguiente: *"la aplicación de agua a mezclas apiladas de residuos de cosecha con excrementos animales producía calor y transformaba esa mezcla en un producto diferente, un abono orgánico"*.

Desde entonces, los agricultores han seguido esta práctica, utilizando este abono orgánico o compost en sus campos. Sin embargo, los resultados producidos en el campo variaban, debido a la falta de control sobre el proceso del compostaje.

Con respecto al ámbito nacional, es en Trujillo (Cáceres) donde aparece un manuscrito templario de 1182 y atribuido al gran maestro templario Gualdim Pais. En dicho documento, se describe el proceso de obtención de un "humus viviente" u "oro fértil" a partir de restos orgánicos de la agricultura y la ganadería. Dependiendo del tipo de cultivo y/o de suelo se ofrecen distintas recetas para, mediante técnicas de pilas volteadas, obtener un fertilizante de calidad. Es importante indicar que daban gran importancia al tamaño de partícula y a la humedad durante todo el proceso, establecido en unos 90 días.

Uno de los primeros compostajes realizados bajo un estricto control, fue llevado a cabo en la India, en el intervalo de 1924 a 1931. El responsable de este experimento fue el fitopatólogo y Delegado de Agricultura en India, Sir Albert Howard. Este experimento, conocido también como "Método Indore" por ser la ciudad donde se llevó a cabo, consistía, en esencia, en excavar una zanja en el suelo en la que se introducía capas sucesivas de materiales putrescibles (restos vegetales y animales), se volteaba dos veces en un periodo de tiempo de seis meses y el producto resultante se añadía al suelo posteriormente.

Tras la publicación del método en su libro *"The Waste Products of Agriculture"* (Howard, A. (1931)), realizó el experimento con otras variantes, manteniendo dos principios básicos: la mezcla de restos vegetales y residuos animales con una base para neutralizar la acidez, y el tratamiento del material para que los microorganismos responsables del proceso estuvieran en las condiciones más adecuadas.

Si se acude a la normativa actual, según la Ley 22/2011, el **compost** es: *"una 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"*.

Sin embargo, esta no es la única normativa que hay con respecto al compostaje y al compost.

Teniendo en cuenta la historia de la normativa española, el Real decreto 72/1988 y la Orden de 14/7/88 son las primeras legislaciones en regular los indicadores mínimos de calidad necesarios para que este compost pueda ser comercializado y utilizado.

Sin embargo, dichas normativas actualmente se encuentran derogadas, habiendo sido sustituidas por la Orden de 14/7/91 y la Orden 28/5/1998, derogadas posteriormente por el Real Decreto 824/2005. Finalmente, la normativa actual se enmarca en el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio.

Para los organismos oficiales, como el MAPAMA (2017), el compostaje es: *"un proceso biológico aerobio (con presencia de oxígeno) que, bajo condiciones de ventilación, humedad y temperatura controladas, transforma los residuos orgánicos degradables en un material estable e higienizado llamado compost, que se puede utilizar como enmienda orgánica"*.

Pero no tan sólo los organismos oficiales y la normativa han definido el compost. Diferentes autores han ofrecido su propia definición de compost, como el caso de Morales (2004), define el compost como: *"El resultado de un proceso de humificación de la materia orgánica, bajo condiciones controladas y en ausencia de suelo. El compost es un nutriente para el suelo que mejora la estructura contribuyendo a reducir la erosión y ayuda a la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas"*.

Haug, R. (1993), define el compostaje y el compost como: *"el compostaje es la descomposición biológica y estabilización de la materia orgánica, bajo condiciones que permitan un desarrollo de temperaturas termofílicas como consecuencia de una producción biológica de calor, que da un producto final estable (el compost), libre de patógenos y semillas de malas hierbas y que aplicado al terreno produce un beneficio"*.

Así mismo, Zucconi, F. et al. (1987), nos ofrecen la siguiente definición *"El compostaje es un proceso bio-oxidativo controlado en el que intervienen numerosos y variados microorganismos, que requiere una humedad adecuada y substratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, que pasa por una etapa termófila y una producción temporal de fitotoxinas, dando al final, como productos de los procesos de degradación, dióxido de carbono, agua y minerales, así como materia orgánica estabilizada (el compost), libre de fitotoxinas y dispuesta para su empleo en agricultura sin que provoque fenómenos adversos"*.

Por tanto, como conclusión, recopilando la información más importante de las anteriores definiciones, se puede establecer que, el compost: Es el producto final de un proceso de fermentación controlada, de una mezcla inicial heterogénea de residuos de origen orgánico, a través de microorganismos y diferentes etapas termófilas. Este producto: es un excelente fertilizante natural, puesto que es rico en nutrientes esenciales para el suelo; no afecta de forma negativa al suelo o a los vegetales y plantas que se nutren de él y ayuda a combatir la erosión del suelo (definición propia).

3.2. Modelos de compostaje.

En general, se pueden clasificar los sistemas compostadores en 2 clases:

- Sistemas abiertos.
- Sistemas cerrados.

Así mismo, los sistemas abiertos pueden dividirse en: pilas volteadas periódicamente y pilas estáticas.

- Sistemas abiertos:
 - Sistemas de pilas volteadas: Es el sistema usado en la planta de estudio, y consiste en formar pilas con los residuos de 2-4 m de altura por 3-6 m de ancho de la base, con sección trapezoidal. Esta forma de apilamiento corresponde con el propuesto por Thostrup, P. (1988) y Barrena, R. (2006). Una vez formada la pila, se voltea de forma periódica, utilizando una pala de carga frontal, con el objetivo de airear la materia orgánica de los residuos para

fomentar el desarrollo de las bacterias que producen el proceso de degradación (Haug, R. (1979)). A medida que se van volteando las pilas, se produce un avance físico de la pila en el terreno, por lo que podemos establecer diferentes fases de maduración según el lugar físico de la pila. La periodicidad en el volteo viene determinada por la temperatura y la humedad de la pila. Este es el sistema más lento.

- Sistemas de pilas estáticas: En este sistema se forman pilas de 3 a 6 m de altura que no son volteadas. La aireación se produce inyectando aire a la pila (aireación forzada). Con este sistema, se puede controlar los niveles de O₂, temperatura, humedad y otras variables que hace que sea muy eficaz.

- Sistemas cerrados:

Se realiza en contenedores parcial o totalmente cerrados (digestores), en los que se puede controlar las condiciones ambientales. La aireación de la mezcla de residuos se consigue por agitación de la misma o bien por insuflación de aire mediante bombas.

La calidad del compostaje, dependerá del sistema que se emplee (De Bertoldi, M. et al. (1985); Miller, F.C. et al. (1982); Soliva, M. (2001)), de los recursos económicos, tecnológicos y de las mezcla inicial de residuos.

3.3. Etapas del proceso de compostaje.

Para este apartado, se toma como referencia el "Manual de Compostaje", elaborado en 2009 por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y la obra de Álvarez, J.M^a. (2013), para la Conserjería de Agricultura y Pesca.

El proceso de compostaje, consiste en la degradación paulatina de la materia orgánica mediante procesos de oxidación y la acción de diferentes microorganismos que se hallan presentes dentro de los propios residuos.

Este proceso tiene una duración aproximada de 5 a 6 meses, y sigue las siguientes etapas:

- Fase de preparación:
 - La mezcla heterogénea de residuos municipales pasa por un proceso de adecuación al proceso de compostaje: se eliminan los elementos que pudieran suponer un peligro (elementos metálicos, como latas y pilas, por ejemplo) o no fueran transformables; se regula el tamaño de las partículas (troceando la mezcla hasta un tamaño adecuado); el contenido en agua de la mezcla; y, por último, se realiza un ajuste de nutrientes para lograr una relación adecuada de C/N.
- Fase de descomposición:
 - Una vez la mezcla está preparada, se deposita en forma de pila o en digestores, sufriendo desde este punto las siguientes etapas:
 - Etapas Mesófila: Las bacterias (*Bacillus* y *Thermus*) producen una degradación de azúcares y aminoácidos. Durante esta etapa, la temperatura se eleva, pero se mantiene por debajo de los 40°C.

- Etapa Termófila: Los hongos del grupo de los actinomicetos (Micromonospora, Streptomyces y Actinomyces) comienzan la degradación de ceras polímeros y hemicelulosa. La temperatura de nuevo vuelve a aumentar, manteniéndose de forma general en un intervalo de 40 a 60°C.
- Etapa Mesófila de enfriamiento: Se realiza la degradación de las celulosas y ligninas por bacterias y hongos (Aspergillus y Mucor). La temperatura durante este proceso se reduce, llegando a temperaturas inferiores a los 40°C (Ver Tabla 45).

Tabla 45. Biodegradabilidad de los principales componentes orgánicos de los sustratos.

Fuente: Haug, R. (1993).

Componente	Degradabilidad (%)
Celulosas	70
Hemicelulosas	70
Otros Azúcares	70
Ligninas	0
Lípidos	50
Proteínas	50

- Fase de maduración:
 - Durante esta etapa, la actividad de los microorganismos desciende, de tal manera que se estabiliza y polimeriza el humus a temperatura ambiente. Como resultado de la bajada de actividad de los microorganismos, el consumo de oxígeno disminuye y desaparece la fitotoxicidad.
- Fase de afino:
 - Durante esta etapa, se reduce el contenido de humedad, se elimina las partes que no se hayan transformado y se mejora la granulometría. Finalmente, se realizan análisis y controles de calidad, para su envasado y etiquetado, en caso de ser necesario.

3.4. Parámetros del proceso de compostaje

Como se ha podido comprobar anteriormente, durante el proceso de compostaje intervienen diversos microorganismos que transforman la mezcla de residuos orgánicos en compost. De la correcta evolución de dichos microorganismos, tendremos un compost de calidad o no. Algunos factores que afectan al crecimiento de dichos microorganismos son: tamaño de partícula, cantidad de nutrientes, temperatura, humedad, pH, aireación, relación C/N (Golueke, C.G. et al. (1987); Madrid, F. (2012)).

Todas estas variables están influenciadas por las condiciones ambientales, el tipo de residuo a tratar y por el sistema de compostaje elegido.

3.4.1 Parámetros operacionales.

Los parámetros operacionales que van a influir en que el proceso de transformación de residuos orgánicos a compost sea de la mayor calidad posible son los siguientes:

1. Temperatura. Este parámetro influye principalmente en el momento en el que se forma la pila. De tal forma que, cuanto más adecuadas sean las condiciones en el momento inicial del compostaje, antes comenzara la actividad microbiana a realizar su función ya que la temperatura en este momento se empezara incrementar como signo de que la masa se está compostando.

Los organismos que intervienen en el proceso de compostaje principalmente son los organismos mesófilos, los cuales tendrían que encontrarse entre 15-40C ° para que realicen su función con la mayor eficacia posible y los organismos termófilos los cuales necesitan una temperatura entre 40-70C°. Los requerimientos de temperatura se deben a que los organismos la necesitan para poder descomponer la materia orgánica del residuo, lo que a su vez produce en el proceso de compost un desprendimiento de calor que va a depender del tamaño de la pila de productos orgánicos (McKinley, V.L. et al (1985); Mathur, S.P. (1991); Ortero, F. (2003)), ya que el calor generado en el procedimiento es proporcional al volumen de la pila, mientras que la pérdida de temperatura depende de la superficie de esta. Pero la temperatura también va a depender de las condiciones a las que se encuentra expuesta la pila de residuos, por lo que la evolución de la temperatura solo nos puede proporcionar una idea aproximada de la velocidad a la que se están descomponiendo los materiales orgánicos durante el proceso de compostaje (McGregor, S.T. et al. (1981)).

2. Humedad. Este parámetro influye en el proceso de compostaje, ya que a conforme aumente la temperatura menor será la humedad ya que se irá evaporando el volumen de agua existente en la pila, siempre y cuando las condiciones iniciales de preparación de la pila sea la óptima y por tanto, de forma cíclica la pila deberá ser regada para poder tener las condiciones necesarias durante el proceso de compostaje (Atchley, S.T. et al. (1979); Madrid, F. (2012), Ortero, F. (2003)).

Las condiciones óptimas de humedad que deben de mantener la pila de compostaje oscilara entre el 40-60%, ya que si es superior al 60% el agua va a desplazar al aire en los diferentes espacios existentes entre las partículas, por lo que se va a reducir el volumen de oxígeno y se va a provocar anaerobiosis lo que va dar como consecuencia malos olores y una ralentización de la velocidad de proceso de compostaje. Y la única forma de evitar este problema es conseguir una mayor aireación, ya que debe de existir una correlación directa entre la aireación de la pila de residuos y la cantidad de humedad existente en ella.

3. pH. Este parámetro influye en el proceso de compostaje de forma directa, ya que influye en los procesos microbianos (Nogales, R. et al. (1984)). El pH es uno de los principales factores que se han estudiado para estimar la evolución del proceso de compostaje en las pilas de residuos orgánicos, a pesar de tener como contra que en el proceso de compost este factor no es el más adecuado ya que no se dan las mejores condiciones para ello.

El pH va a depender del producto usado inicialmente, ya que el valor inicial disminuye en la fase mesófila debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica que produce ácidos orgánicos. Tras esta fase, se va produciendo de forma continuada una alcalinización del medio como consecuencia de la generación de amoníaco durante la descomposición de las proteínas. Si se presentan durante el proceso de compostaje condiciones anaerobias, entonces se produce una acumulación de ácidos orgánicos de cadena corta que van a disminuir los valores de pH en la masa (Nogales, R. et al. (1982)).

La evolución del pH a lo largo del proceso de compostaje es muy importante, ya que si se producen unos elevados incrementos de este factor acompañadas de incrementos de temperatura se dará lugar a una emisión de nitrógeno en forma de amoníaco lo que tendrá efectos negativos sobre el medio ambiente (Nogales, R. et al. (1982)).

3.4.2 Parámetros químicos.

Los parámetros químicos que van a influir en el proceso de compostaje son los siguientes:

1. Materia orgánica (MO). Este parámetro es la base inicial sobre la que se produce el proceso de compostaje, ya que se requiere de esta fuente de energía para que los microorganismos puedan realizar este proceso y, por tanto, la evolución de la materia orgánica va a ser la que nos va a proporcionar una idea fiable del momento en el que se encuentra el proceso. La materia orgánica durante el metabolismo se oxida y termina provocando energía y anhídrido carbónico.
2. Biodegradabilidad. En la descomposición aeróbica, los microorganismos activos necesitan carbohidratos para su crecimiento y metabolismo como fuente primaria y esto tiene como consecuencia que durante la fase de compostaje los carbohidratos se mineralicen en un 80-95% y que los microorganismos descompongan los residuos en dióxido de carbono, agua y calor.

Pero sin embargo, si el carbono en vez de carbohidratos es carbono muy humificados o lignocelulósico, para los microorganismos es más difícil su uso como fuente de energía, por lo que se puede producir una mineralización más lenta y parcial (Kayhanian, M. et al. (1992)). De aquí surge el concepto de degradabilidad biológica o biodegradabilidad de los compuestos orgánicos que indica la proporción de residuos que son descompuestos durante el proceso de compostaje.

3. Conductividad eléctrica (CE). Este parámetro depende de la cantidad de sales solubles que existen en el material de partida y de la presencia de iones de amonio o nitrato que se crean durante el proceso. Las sales pueden ser reducidas e incluso eliminadas a través del proceso de lixiviación.
4. Contenido de nutrientes. La constitución molecular y la composición elemental de los sustratos son los factores principales en el proceso de compostaje (García, C. (1990)). Los microorganismos requieren de nitrógeno, fósforo y carbono durante el proceso de compostaje para su nutrición, desarrollo y reproducción. La importancia del nitrógeno se encuentra en que es un componente básico y abundante en las proteínas, en el protoplasma celular, y en biomoléculas esenciales como el ADN y ARN, esenciales para la reproducción y el metabolismo celular de los microorganismos.

Por otro lado, el fósforo es fundamental para la formación de compuestos celulares ricos en energía (ATP, NADPH,...) que son necesarios en el metabolismo microbiano. Pero además de todo lo anterior, existen micronutrientes como boro, magnesio, cinc, cobre, hierro, molibdeno y cobalto que son necesarios en bajas concentraciones, pero que a concentraciones mayores pueden llegar a ser tóxicos.

3.4.3 Parámetros de madurez.

El nivel de maduración del compost es uno de los principales problemas que se encuentran cuando se van a utilizar estos materiales y más si cabe, si se van a hacer uso de ellos para actividades agrícolas. Esto se debe a que para poder utilizar el compost se deben de tener unas mínimas garantías, es decir, tenemos que tener seguridad de que el producto está libre de poblaciones patógenas y, por tanto, que no es peligroso su utilización para el suelo o las plantas, ya que si el compost no fuera biológicamente inactivo este podría presentar cierta toxicidad.

Aunque muchos han sido los test que se han propuesto para determinar el grado de madurez del compost, todos están basados en el seguimiento del proceso del compostaje desde el principio para obtener una mayor fiabilidad de la madurez del producto. Los métodos más usuales serían los recogidos en la siguiente tabla, que a continuación se van a describir (Tabla 46):

Tabla 46: Métodos para comprobar la maduración del compost.

Fuente: Madrid, F. (2012).

Tipología metódica	Método
Métodos físicos	Olor
	Temperatura
	Color
Métodos microbiológicos	Método respirométrico
	Método de análisis bioquímico
Métodos químicos	Contenido de cenizas
	Grado de descomposición
	Variación del contenido en polisacáridos
	Variación del pH
	Relación C/N
	Determinación de NH_4^+ y H_2S
	Análisis del contenido en ácidos volátiles
	Capacidad de Intercambio Catiónica (CIC)
	Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)
Test de germinación y crecimiento	Test de germinación
	Test de crecimiento

3.4.3.1 Métodos físicos.

Los principales factores que influyen en los métodos físicos son:

1. Olor. El olor desagradable del compost es el principal factor que influye en su rechazo y esto se debe a que los residuos frescos desprenden amoníaco y ácidos orgánicos que son los culpables de los malos olores que posteriormente desaparecerán conforme transcurra el tiempo (Jiménez, E. et al. (1989)).
2. Temperatura. Como se expuso con anterioridad la temperatura varía según el momento de compostaje en el que se encuentre la pila, dándonos una idea aproximada de cuando esta ha llegado a la fase de estabilización por la estabilización de esta aproximada a la temperatura ambiental (Mathur, S.P. et al. (1993)).
3. Color. Conforme el compost va madurando, este se tiende a oscurecer adquiriendo un tono marrón oscuro o negro. Pero esto sucede si lo que se está descomponiendo son restos orgánicos frescos, en cambio si fuera otro tipo de residuo esto no se cumpliría y

por tanto, no sería recomendable su utilización como indicador de maduración (Sugahara, K. et al. (1981)).

3.4.3.2 Métodos microbiológicos.

Los métodos microbiológicos están basados principalmente en la relación que existe entre el grado de madurez que tiene el compost de la pila de residuos y la estabilidad biológica en la que se encuentran los materiales.

Estos métodos son los siguientes:

1. Método respirométrico. Este método se basa en el estudio de la demanda de oxígeno que requiere la pila de residuos a lo largo del tiempo y que va a tender a disminuir conforme la actividad microbiana realice su función. Es decir, el método se va a poder realizar bien a través de la medición de la absorción de oxígeno por parte de la pila (Pressel, F. (1981)) o por el análisis del volumen de anhídrido carbónico que ha sido desprendido (Wilson, G.B. (1986); Ianotti, D.A. et al. (1994); Lasaridi, K.E. (1996)).
2. Método de análisis bioquímico. Este método se encuentra basado en el análisis de la actividad enzimática basada en la actividad celular (Inbar, Y. et al. (1990)).

3.4.3.3 Métodos químicos

Los métodos químicos que son más utilizados para el estudio de la evolución del proceso de compost son los siguientes:

1. Contenido de cenizas. Teniendo como premisa de este método que el nivel de cenizas va a permanecer inalterable a lo largo del proceso de compostaje, centrándose las transformaciones en la parte orgánica. Entonces se tiene que tener en cuenta que el contenido de cenizas va a incrementarse conforme el material orgánico se vaya mineralizando, por lo que a través de la evolución de este indicador se puede estimar el nivel de mineralización de los materiales y el grado de transformación del producto (Díaz, M.A. (1990)).
2. Grado de descomposición. Este método se basa en la medición del volumen de materia orgánica hidrolizable que está siendo descompuesta en ácido sulfúrico, ya que este va disminuyendo conforme transcurre el proceso de compostaje (Godden, B. et al. (1987)).
3. Variación del contenido de polisacáridos. Debido a la acción de los diferentes microorganismos que intervienen durante el proceso de compostaje, conforme el compost va madurando el nivel de polisacáridos va disminuyendo, por tanto, este método consistiría en la medición del nivel de polisacáridos que se encuentran en la pila de compostaje conforme vaya madurando este (Iglesias, E. et al. (1992)).
4. Variación del pH. Este método nos ayuda para estimar el punto final del compostaje ya que nos proporciona información sobre el momento en el que se encuentra este. Este es como consecuencia que el pH de la pila de residuos en el momento inicial del compostaje alcanza valores alcalinos, mientras que conforme el compost va finalizando su maduración dichos valores tienden a neutralizarse (Nogales, R. et al. (1982)).

5. Relación C/N. Este es el método más habitual para determinar en qué grado de madurez se encuentra el compost y consiste en la premisa de la disminución de estos valores hasta su neutralización dependiendo de los materiales de base durante la fermentación de este. Es debido a la premisa, por lo que nos es difícil poder establecer un valor C/N referente a la madurez del compost, a pesar de que hasta la actualidad se ha venido determinando cuando se alcanzaba el un valor inferior a 20 en el producto final. Pero, sin embargo, se estima que sería más lógico si se analizara la evolución de los valores de este parámetro a lo largo del proceso y se eligiera el valor más bajo de los obtenidos, que normalmente se va a encontrar entre 10 y 20 (Shumman, G.L. et al. (1993)). Además la evolución del parámetro es lo más indicado porque pueden existir variaciones de N que no estén siendo provocadas por la estabilización (Poincelot, R.P. (1974)).
6. Determinación de NH_4^+ y H_2S . Este método se basa en la premisa de que al final del proceso de compostaje no se debería encontrar cantidades apreciables de NH_4^+ y H_2S , siempre y cuando el proceso se haya efectuado de forma correcta ya que la presencia de estos manifiesta la existencia de condiciones reductoras. Para que un compost se encuentre en su fase de madurez la presencia de H_2S y el NH_4^+ no debe ser superior a 0,04% (Spohn, E. (1978)).
7. Análisis del contenido en ácidos volátiles. Este método se basa en que cuando el compost es maduro presenta una serie de sustancias orgánicas volátiles, fácilmente detectables con técnicas cromatográficas, que se han creado durante el proceso de fermentación del proceso de compostaje de la materia orgánica (De Vleeschauwer, D. et al. (1981)).
8. Capacidad de intercambio catiónica (CIC). Este factor está ligado a la relación C/N y va incrementándose conforme el proceso de compostaje va transcurriendo hasta llegar a alcanzar un valor constante superior a 60 meq/100 g de sustancia libre de cenizas (Harada, Y. et al. (1980a)).
9. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Este método se basa en que este parámetro disminuye conforme transcurre el proceso de compostaje hasta adquirir valores constantes inferiores a 700 mg/100g (Lossin, R.D. (1971)).

3.5. Clasificación y caracterización del compost.

Como se ha descrito anteriormente, el proceso de compostaje pasa por diferentes etapas, según la actividad de los microorganismos que actúan sobre la mezcla inicial, el grado de humedad y la temperatura. Por tanto, es lógico pensar que la mezcla de residuos municipales inicial, también pase por ciertas etapas hasta llegar a ser un compost de calidad.

Según Zucconi, F. et al. (1987), dependiendo del grado de evolución que se haya alcanzado durante el proceso de compostaje, el compost se va a poder clasificar en tres estados:

1. Compost fresco. Este compost es el formado por materiales orgánicos que han experimentado la fase termófila y que por tanto, se encuentran en un proceso de descomposición parcial en la que aún no se han estabilizado. Este compost es utilizado para la recuperación de suelos degradados o para la preparación de estos entre periodos de cultivo, ya que al ser airados al suelo continúan su proceso de degradación lo que mejora la actividad del suelo y la actividad microbiológica (Costa, F. et al. (1991)).

2. Compost maduro. Este producto se obtiene como resultado de la fase de estabilización. Este producto es el más utilizado ya que cumple las especificaciones sanitarias y de estabilización, por lo que se puede aplicar al suelo una vez iniciados los cultivos. Es el conocido como compost.
3. Compost curado. Este producto es el que ha estado un mayor tiempo en maduración y mineralización y suele ser utilizado como sustrato en el sistema radicular.

Debido a los diferentes compost que existen, cuando se va a comercializar un compost es necesario indicar su origen, grado de estabilización, concentración de nutrientes de compost y composición.

Los siguientes criterios de calidad están enmarcados en el Anexo V "Criterios aplicables a los productos fertilizantes elaborados con residuos y otros componentes orgánicos", del Real Decreto 506/2013, de 28 de junio.

1. Porcentaje de nitrógeno orgánico.

En los abonos orgánicos, el contenido en nitrógeno orgánico, deberá ser al menos un 85 por ciento del nitrógeno total, salvo que en los requisitos específicos del tipo se dispongan otros valores.

2. Humedad.

En los abonos granulados o peletizados, el contenido máximo en humedad permitido, expresado en porcentaje en masa, será del 14 por ciento, salvo que en la especificación del tipo se fije una cifra diferente.

3. Granulometría.

Con carácter general, en los abonos orgánicos y las enmiendas orgánicas, el 90 por ciento del producto fertilizante, deberá pasar por una malla de 10 mm, salvo que en la especificación del tipo se fije una cifra diferente. Este requisito no obliga a los productos que están industrialmente granulados o peletizados.

4. Límite máximo de microorganismos.

1. La materia prima transformada, lista para ser usada como ingrediente de abonos orgánicos de origen animal, debe ser sometida a un proceso de higienización que garantice que su carga microbiana no supera los valores máximos establecidos en el Reglamento (CE) N.º 1069/2009
2. En los productos fertilizantes de origen orgánico, se acreditará que no superan los siguientes niveles máximos de microorganismos:
 - Salmonella: Ausente en 25 g de producto elaborado.
 - Escherichiacoli: < 1000 número más probable(NMP) por gramo de producto elaborado.

5. Límite máximo de metales pesados.

Los productos fertilizantes elaborados con materias primas de origen animal o vegetal no podrán superar el contenido de metales pesados indicado en la Tabla siguiente, según sea su clase A, B o C:

Tabla 47: Límites de concentración por clase de compost.

Fuente: Real Decreto 506/2013, de 28 de junio.

Metal pesado	Límites de concentración		
	Sólidos: mg/kg de materia seca		
	Líquidos: mg/kg		
	Clase A	Clase B	Clase C
Cadmio	0,7	2	3
Cobre	70	300	400
Níquel	25	90	100
Plomo	45	150	200
Zinc	200	500	1.000
Mercurio	0,4	1,5	2,5
Cromo (total)	70	250	300
Cromo (VI)	No detectable según método oficial		

Clase A: Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna A.

Clase B: Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna B.

Clase C: Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna C.

6. Limitaciones de uso.

1. Sin perjuicio de las limitaciones establecidas, los productos fertilizantes elaborados con componentes de origen orgánico se aplicarán al suelo siguiendo los códigos de buenas prácticas agrarias. En las zonas designadas como vulnerables la aplicación de estos productos se ajustará al programa de actuación establecido en cada caso.
2. Los productos de la clase C no podrán aplicarse sobre suelos agrícolas en dosis superiores a cinco toneladas de materia seca por ha y año. En zonas de especial protección, las Comunidades Autónomas modificaran, en su caso, la cantidad anterior.

7. Límite máximo de furfural.

En los productos que contengan como materia prima lignosulfonatos, lodos procedentes de la industria del papel o de la elaboración de azúcar, se acreditará que no supera el 0,05% p/p como límite máximo de contenido de furfural (2 furaldehído)

8. Límite máximo de polifenoles.

En los productos que contengan como materia prima subproductos o residuos procedentes de almazaras, se acreditará que no superan el 0,8% p/p como límite máximo de contenido de polifenoles.

Todos los anteriores valores son necesarios vigilarlos para poder obtener un compost de calidad, ya que debido a la diversa procedencia de los diferentes residuos pueden ver afectados sus componentes.

Otra posible clasificación es la expuesta por Soliva, M. (2004), recogida en la siguiente figura (Figura 20):

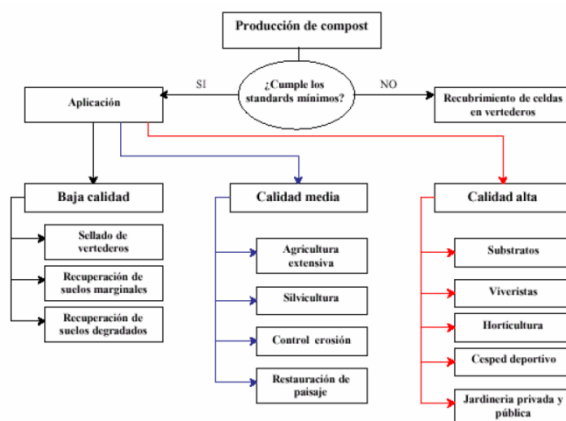


Figura 20: Clasificación y uso del compost. Fuente: Soliva, M. (2004)

Como se puede observar, Soliva propone una clasificación del compost según la calidad del mismo. De esta forma, si el compost cumple con los estándares mínimos exigidos por la normativa, puede ser aplicado de diversas formas. Si no cumple con estos mínimos, su uso solamente podría ser el recubrimiento de celdas en vertederos.

Los factores o parámetros que utiliza para poder evaluar la calidad del compost, están representados en la tabla siguiente (Tabla 48).

Cuando un compost puede utilizarse por cumplir con las exigencias de la normativa, se clasifica en tres tipos:

- **Baja calidad:** su composición, si bien cumple con el mínimo exigible para la normativa, no es suficiente para ciertos usos (como abono para la agricultura o como sustrato de una plantación). Es por esto, que sus usos comprenden el sellado de vertederos, la recuperación de suelos marginales y la recuperación de suelo degradados.
- **Calidad media,** su composición cumple de forma adecuada con la normativa, de forma que su forma de utilización corresponde con la agricultura extensiva, la silvicultura, el control de la erosión y la restauración del paisaje.
- **Calidad alta:** su composición, a nivel nutricional del suelo, es muy elevada, por lo que su uso corresponde con sustratos, su uso en viveros, horticultura, césped deportivo y jardinería (tanto a nivel privado como público).

Tabla 48. Parámetros utilizados para valorar la calidad del compost.

Fuente: Soliva, M (2004)

Categoría	Parámetros	Informan sobre.../ Influyen en...
Físicos	Densidad aparente	Origen del material y tratamiento aplicado; transporte; manejo; aplicación
	Coloración	Estabilidad; aceptación
	Olor	Estabilidad; funcionamiento del proceso; aceptación; impacto ambiental
	Humedad	Control del proceso; transporte; manejo; salud laboral; seguridad
	Granulometría	Sistemas de cribado y afino; manejo; salud laboral; aceptación; efectos sobre el suelo
	Capacidad de retención de agua	Efectos sobre el suelo; ahorro de agua
	Contaminantes/ impropios	Materiales tratados; sistemas de separación y afino; aceptación; impacto ambiental; seguridad
	Autocalentamiento	Desarrollo y control del proceso; estabilidad
	pH y CE	Materiales iniciales; desarrollo y control del proceso; posibles usos; efectos sobre el suelo; efectos sobre las aguas; efectos sobre los vegetales
Biológicos	Patógenos	Desarrollo y control del proceso; estabilidad/higienización; salud laboral; contaminación de suelos, aguas y vegetales; impacto ambiental
	Índice de germinación	Desarrollo y control del proceso; estabilidad; fitotoxicidad; posibles aplicaciones
	Respirometrías	Desarrollo y control del proceso; estabilidad; actividad biológica; posibles aplicaciones
	Mineralización	Desarrollo y control del proceso; estabilidad; actividad biológica; posibles usos; dosificación; efectos sobre el suelo; efectos sobre las aguas; efectos sobre los vegetales
	Semillas de malas hierbas	Origen materiales; desarrollo y control del proceso; estabilidad/higienización; efectos sobre la producción
Químicos	Contenido en MOT (total) y MOR (resistente)	Materiales iniciales; desarrollo y control del proceso; estabilidad; posibles usos; efectos sobre el suelo; efectos sobre los vegetales; aceptación
	Nitrógeno en forma mineral	Materiales iniciales; desarrollo y control del proceso; efectos sobre las dosis de fertilización; efectos sobre las aguas; efectos sobre los vegetales

3.6. Alternativas y gestión del compost.

En la actualidad existen multitud de estudios que han analizado los efectos que genera el compost sobre el suelo y las plantas a las que se aplican. El principal beneficio que tiene la aplicación del compost al suelo es la aportación de materia orgánica que le va a aportar fertilidad física, química y biológica (Costa, F. et al. (1991)). Esto indica que la aplicación del compost al suelo va a mejorar la estructura y composición de este y va a generar los siguientes beneficios:

- Reducción de la densidad aparente del suelo que facilitara la germinación de semillas y la penetración radículas (Fernández, J.E. et al. (1987), Mbagwu, J.S.C. (1992)).
- La estabilidad de los componentes agregados se va a ver incrementada (Murillo, J.M. et al. (1989b)), generando un aumento de la macroporosidad (Ortega, E. et al. (1981)) que va a provocar un incremento de la aireación y drenaje, lo que se va a ver reflejado en el aumento del coeficiente de permeabilidad (Duggan, J. (1973)).
- La capacidad de retención de agua se va a ver incrementada de tal forma que los suelos van a poder afrontar mejor las temporadas de sequía sin necesidad de incrementar las cantidades de agua de riego.

- Las temperaturas se van a incrementar de forma moderada, lo que va a influir en los procesos biológicos.

También el compost, tiene efectos biológicos positivos favoreciendo la coexistencia de microorganismos y aumentando la microflora del suelo. Esto indica que tanto los macro como los micronutrientes y los ciclos de los nutrientes especiales (N, P y S) van a favorecer la mineralización de la materia orgánica, la cual va a asegurar un suministro de nutrientes a la composición del suelo (Costa, F. et al. (1991)), de tal manera que va a aumentar la fertilidad química del suelo. Pero estos nutrientes que se encuentran en el compost deben de tender a estar equilibrados excepto en ocasiones excepcionales, lo que va a favorecer su uso por las plantas.

Por otro lado, los compuestos químicos del compost también tienen efectos positivos para el suelo que serán los siguientes:

- El suelo va a ver incrementado su pH por lo que va a contrarrestar el déficit de los suelos ácidos (Bengston, G.W. et al. (1973), Pocknee, S. et al. (1997)).
- Si lo que se aplica es un compost maduro, el suelo va a ver incrementado su CIC (Harada, Y. et al. (1975)).
- El suelo va a encontrar un incremento del aporte de micro y macronutrientes que va a depender del tipo de compost aplicado.

Por lo anteriormente expuesto, hay diversos de autores que afirman que el compost potencia la capacidad de absorción de K en la planta (Huret, F. (1985)).

Sin embargo, el fosforo del suelo que va a intervenir en el proceso de crecimiento de una planta va a estar influenciado por el componente P del compost debido a la relación C/P y a la naturaleza del suelo. Esto se debe a que el P orgánico se mineraliza con concentraciones en compost superiores a la de 0,3%, siempre y cuando haya una relación C/P inferior a 200 (Stevenson, F.J. (1985)).

Conforme a lo que se refiere a los micronutrientes, el compost suele hacer un aporte de estos de forma moderada a pesar de que en algunos tipos de compost (compost de lodos de depuradoras y de residuos sólidos urbanos) esta pueda ser excesiva dependiendo de la dosis suministrada.

La aportación de compost al suelo va a generar que los óxidos de Fe y Al que se encuentran en él impidan o retrasen la fijación de fosfatos solubles o perdidas de N.

Pero a pesar de las ventajas que presenta la aplicación del compost, este también tiene una serie de inconvenientes que se van a agrupar en los siguientes:

- Los inconvenientes derivados del proceso de compostaje son los siguientes:
 - Falta de madurez. Este inconveniente se puede presentar de diversas formas como las siguientes:
 - Presencia de malos olores como resultado de fermentaciones anaeróbicas de materiales inestables.

- Presencia de gérmenes patógenos y parásitos vegetales como resultado de exposición de residuos a temperaturas inferiores a las de pasteurización (60-70°C).
 - Presencia de semillas que germinan tras el uso de compost y que hacen competencia a la cosecha plantada.
 - Presencia de residuos orgánicos que no han sido descompuestos y que van a provocar un incremento de las temperaturas debido al aumento de la actividad microbiana. Esto da como consecuencia que existan altos valores de C/N, los cuales pueden provocar un bloqueo de N en suelo que puede dar como resultado una falta de nitrógeno en planta.
- Presencia de materiales inertes que van a disminuir la fertilidad tanto del suelo como de la planta y que va a afectar de forma negativa a la estética de los campos de cultivo. Este inconveniente se hace fuerte en los RSU, en donde debido a los diferentes materiales que lo componen complica la eliminación de este tipo de materiales para el proceso de compostaje. Es por esto, que es necesario la concienciación de las personas en el separado de residuos.
- Los inconvenientes derivados de la naturaleza del producto son los siguientes :
 - El producto presenta un alto nivel de salinidad que incrementa la conductividad eléctrica con el suelo de forma proporcional a la dosis de compost aplicada, dificultado de esta manera la absorción de agua por parte de las plantas lo que puede llegar a evitar el crecimiento de algunas especies.
 - Presencia de metales pesados que puede provocar problemas de toxicidad como consecuencia del aporte de microelementos por parte del compost (Schmidt, J.P., (1997), Berti, W.R. et al. (1996)). Este problema se plantea principalmente en el caso de los residuos urbanos y de lodos de depuradoras. El principal inconveniente de este problema se basa en que los efectos tóxicos frenan el crecimiento de las plantas, a la vez que disminuyen su rendimiento y puede contaminar el suelo si estos se acumulan en la superficie o si se filtran al interior de este puede llegar a crear aguas freáticas.
 - Otro inconveniente es la elevada concentración de nitratos como consecuencia de la nitrificación del amonio formado por la mineralización de la materia orgánica en grandes volúmenes, que va a provocar un excedente de nitratos no absorbido por las plantas, que pueden ser lavados a las capas inferiores del suelo pudiendo llegar a contaminar los acuíferos subterráneos (Nolan B.T. et al. (1997)). Este problema se le achaca a los fertilizantes inorgánicos debido a la solubilidad del nitrógeno en estos, pero los aportes de materia orgánica pueden llegar a tener el mismo tipo de consecuencias (Addiscott, T.M. et al. (1991)).

Teniendo en cuenta tanto las ventajas como inconvenientes que tiene que aportación del compost a la agricultura y la diversa bibliografía que se ha citado, se llega a la conclusión de que es una práctica muy recomendable la aportación de residuos orgánicos al suelo, ya que los compost son unos excelentes abonos orgánicos independientemente si para potenciarlo se usa también fertilizantes minerales o no (Gallardo-Lara, F. et al. (1987); y Senesi, N. (1989)); aunque los resultados no siempre hayan sido positivos (Van Assche, C. et al. (1982)). Cuando

se presentan efectos negativos, se pueden atribuir a falta de madurez del compost o la aplicación de éste en cantidades desmesuradas en suelos fértiles (Cabrera, F. et al. (1987); Murillo, J.M. et al (1995)). Por tanto, se puede concluir con la idea de que los compost son más activos conforme el suelo se encuentre más escaso de nutrientes y que es en este tipo de suelo en donde la respuesta vegetal es más clara. Es por esto, por lo que se recomienda usar el compost en cantidades moderadas y siempre dependiendo del tipo y de la función que se le vaya a atribuir, además de la naturaleza del suelo receptor.

4. ESTUDIO DE LIXIVIADOS

4.1 Formación y almacenamiento

El estudio sobre los lixiviados que se va a abordar en este apartado, se va a iniciar describiendo que es un lixiviado, según distintos autores. Según Slack, R.J. et al. (2005) y Kwasniewska, J. et al. (2012), una vez que se han enterrado los residuos, el agua que entra en contacto con los mismos, disuelve y arrastra a su paso una gran cantidad de sustancias que, originalmente, estaban dentro del residuo, pudiendo quedar altamente contaminada. Este líquido se denomina lixiviado, y es uno de los fluidos más contaminados y contaminantes que se conocen. De no recogerse adecuadamente y, posteriormente, tratarlo, el lixiviado puede contaminar a su vez aguas subterráneas, aguas superficiales y suelos. Por otro lado, Tchobanoglous, G. et al. (1994), lo definen como, “el líquido que se filtra a través de los residuos sólidos y que extrae materiales disueltos o en suspensión”. Por último, según el RD 1481/2001, se considera lixiviado a “cualquier líquido que percole a través de los residuos depositados y que rezume desde o esté contenido en un vertedero”.

El lixiviado se genera como resultado de degradaciones microbianas, procesos de solución/precipitación de constituyentes y reacciones de absorción/desorción producidos en la descomposición de la fracción orgánica y putrescible de los residuos, acentuados por la percolación del agua debido a las precipitaciones, la escorrentía y la infiltración o entrada de aguas subterráneas.

El lixiviado se genera como resultado de la confluencia entre:

- La acumulación de productos procedentes de degradaciones microbianas y meteorización química de la fracción orgánica y putrescible, así como mineral, de los residuos.
- Procesos biológicos y físico-químicos de intercambio de componentes que ocurren entre las fases líquida y sólida del material en compostaje.

Para el caso de los procesos biológicos, destaca por su importancia el balance neto entre mineralización e inmovilización microbiana en biofilms que cubren las partículas del residuo. Por su parte, los intercambios físico-químicos en la interfase líquido/sólido, incluyen tanto mecanismos de solubilización/precipitación de constituyentes, como reacciones de superficie (absorción/desorción, intercambio iónico). Ambos tipos de procesos vienen controlados por una serie de factores, destacando al respecto las concentraciones de solutos en el agua percolante (que afectan a los equilibrios de solubilidad), el área específica y propiedades físico-químicas de las superficies de las partículas del residuo (que determinan la capacidad y parámetros de adsorción), y las condiciones de pH y potencial redox (que modulan el conjunto de las reacciones). Finalmente, los intercambios en la interfase líquido/sólido se ven acentuados por la percolación del agua debido a las precipitaciones, la escorrentía y la infiltración o entrada de aguas subterráneas, dando lugar a lixiviados que pueden contener elevadas concentraciones tanto de nutrientes como de tóxicos de diversa naturaleza.

Este agua se filtra en el interior del relleno, diluyendo y arrastrando a su paso numerosos componentes, como compuestos volátiles y orgánicos, compuestos de nitrógeno, metales pesados y otros componentes que pueda contener el residuo o la tierra donde se emplaza el vertedero (Stegmann, R. et al. (2005)). La operación óptima del relleno (por ejemplo, considerando el vertedero en sí mismo como un biorreactor), con recogida y tratamiento de

lixiviados y desgasificación del gas metano que se genera en ellos, es la base para un vertedero seguro con las emisiones minimizadas (Spagni, S. et al. (2008)). Además, se debe tener en cuenta que un vertedero puede continuar produciendo lixiviados hasta 50 años después de su clausura y cese de las actividades (Kurniawan, T.A. et al. (2005)).

Para el control ambiental del riesgo que representan los lixiviados, deben determinarse los volúmenes y potenciales de lixiviado formado, y el compromiso entre capacidad de almacenaje del mismo y excedentes que se exportan al medio. Para ello, en el caso de que el vertedero sea un espacio confinado, se puede aplicar un cálculo de un balance hídrico de entradas y salidas, como es el caso del propuesto por acuerdo a la ecuación de Kiely, G. (1999) (1). Este balance implica la suma de todas las cantidades de agua que entran en el vertedero y la sustracción de las cantidades de agua consumidas en las reacciones químicas, así como la cantidad que sale en forma de vapor de agua y de escorrentías (Tchobanoglous, G. et al. (1997)) (Figura 21).

$$LC = PR + SRT - SRO - EP - ST \quad (1)$$

donde:

- LC = cantidad de lixiviado.
- PR = precipitación.
- SRT = entrada de escorrentía superficial.
- SRO = salida de escorrentía superficial.
- EP = evapotranspiración.
- ST = cambio en la cantidad de agua almacenada.

Analizando esta ecuación se deriva que, para minimizar la cantidad de lixiviado, es muy importante diseñar los vertederos de manera que el agua exterior no pueda penetrar ($SRT = 0$). Para ello, una buena red de drenaje superficial evitará la infiltración del agua de lluvia en el relleno, y además evitará que agua en contacto con el relleno pueda contaminar los suelos y los cursos superficiales o subterráneos de agua (Dass, P. et al. (1977)). De esta forma se garantiza que se recoja y trate solo el lixiviado producido, pudiendo existir variaciones en la cantidad de lixiviados que estarán asociadas a las infiltraciones. Una de las características de los lixiviados es su fluctuación temporal, tanto en cantidad producida, como en la composición de los mismos, algo que dificulta su tratamiento.

En general, el volumen de lixiviados es el resultado, en términos generales, de una contribución mayoritaria de la infiltración de las aguas de lluvias (~95%) y otra minoritaria, pero muy relevante en términos de su quimismo, por parte del líquido exudado de la humedad y la descomposición de los residuos (~5%) (Tchobanoglous, G. et al. (1997)).

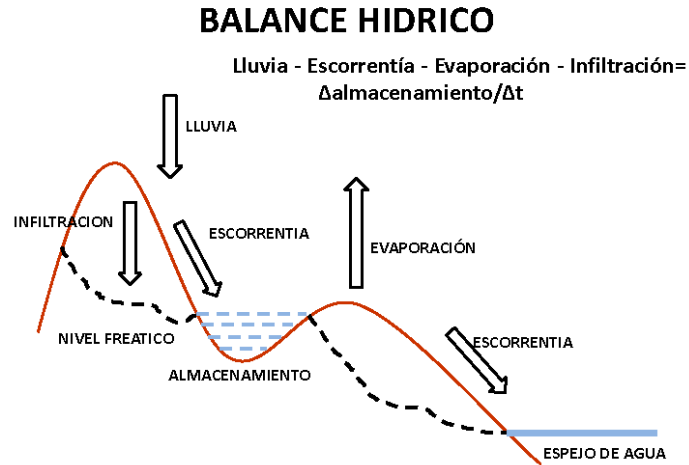


Figura 21. Esquema del balance hídrico. Fuente: www.Monografias.Com

La captación y el almacenamiento de los lixiviados procedente de un vertedero, están regulados según el Real Decreto 1304/2009, que establece la necesidad de recoger las aguas contaminadas y los lixiviados, teniendo en cuenta las características del vertedero y las condiciones meteorológicas. Para ello, se diseñará un sistema de drenaje y evacuación de los lixiviados, así como un sistema de almacenamiento previo a su tratamiento.

1. Capa drenaje

Una vez colocado el revestimiento artificial, se dispondrá una capa drenante de un grosor mínimo de 50 cm. y una permeabilidad $\geq 10^{-2}$ m/s según el borrador del Desarrollo Técnico del Real Decreto 1481/2001; o de al menos 30 cm de espesor con una permeabilidad comprendida entre 10^{-2} y 10^{-3} m/s según la “Guía de buenas prácticas en la ingeniería de vertederos” (1994); o 30 cm y permeabilidad de 10^{-1} m/s.

Los materiales de este nivel drenante pueden variar según su disponibilidad y coste, pudiendo utilizarse gravas, material geosintético, e incluso de tierra con bajo contenido en nutrientes.

2. Materiales geosintéticos del drenaje

En casos excepcionales, la autoridad competente puede autorizar soluciones de diseño distintas de la de referencia, planteando en los taludes del vertedero la colocación de geocompuestos de drenaje, siempre que tengan adecuada capacidad de drenaje y no presenten riesgos de colmatación. Se tendrá en cuenta la presión vertical sobre el geocompuesto cuando se evalúe la capacidad hidráulica, así como la potencial precipitación de los efluentes en su interior, que supondrá una disminución de su capacidad hidráulica.

3. Tuberías de drenaje

En el seno del nivel drenante, y sobre el fondo del vaso del depósito controlado, se instalará una red de tubos de drenaje que faciliten la evacuación de los lixiviados hacia un colector principal. Los tubos se colocarán en forma de espina de pez, de forma que sean capaces de recoger la mayor parte de los lixiviados generados en el vaso. El material con que esté fabricado el tubo garantizará que el sistema de drenaje no perderá su funcionalidad durante la vida útil del vertedero, debido a las acciones físicas, químicas o biológicas.

Serán lisos con un diámetro mínimo de 20 cm según la NRA (Nacional Rivers Authority) (1995), de 10 cm según Tchobanoglous, G. (1996) y 15 cm según el Desarrollo del Real Decreto 1481/2001.

Los tubos poseerán unas perforaciones contadas con láser sobre la mitad de la circunferencia, espaciados en 0,6 cm con tamaño de corte de 0,00025 cm., que es el tamaño más pequeño de la arena. Los tubos de recogida se cubrirán con una capa de arena de 60 cm antes de comenzar el vertido, donde la primera capa de residuos no se compactará.

El diseño de los tubos contemplará la implantación de sistemas para inspección y mantenimiento, por ejemplo: pueden colocarse circuitos cerrados de televisión y control hidrométrico remoto para la inspección y limpieza en los trabajos de los tubos.

La pendiente mínima de los sistemas de drenaje hacia el punto de evacuación de los lixiviados será del 2% (Glysson, E.A. (2003); NRA (1995); Desarrollo Técnico del Real Decreto), del 3% (Guía de buenas prácticas en la Ingeniería de Vertederos, 1994) o entre 1,2-1,8% (Tchobanoglous, G. (1996)) para que el desagüe por gravedad sea eficaz durante el periodo de operación y después del mismo. Éste podría ser superior según las necesidades del lugar.

4. Tuberías de drenaje

Llevarán los lixiviados procedentes de los sistemas de drenaje hasta la balsa de lixiviados o bien a pozos de registro de control. Sus características son las mismas que las especificadas anteriormente, sólo que serán conductos ciegos.

5. Protección del drenaje

Si fuese necesario se colocará una capa filtrante protectora, constituida por geotextil filtrante o por una capa de material granular fino. Se colocará sobre el sumidero de material de alta permeabilidad para prevenir la posible obstrucción física de materiales de grano fino. Las características principales de estos materiales serán:

- Deberán ser químicamente resistentes al lixiviado.
- Los geotextiles deberán ser suficientemente resistentes para reforzar las aperturas de los materiales de drenaje a los que protegen.
- La resistencia al desgarramiento y a la perforación serán, al menos, el doble que las de las membranas a las que protegen.

6. Capas de drenaje opcionales

Estarán situadas sobre capas de cubrición operacionales. Su colocación será opcional, cuando se considere necesaria la captación de lixiviados en dichos niveles. En este caso es fundamental considerar los potenciales asientos del nivel de apoyo, que pueden afectar la operatividad del drenaje, así como la impermeabilidad de la barrera. Sus especificaciones serán las mismas que se han establecido. El espesor de estas capas de drenaje será como mínimo de 0,3 m.

7. Balsa de almacenamiento de los lixiviados

Los lixiviados y todas las aguas que entren en contacto con los residuos se tratarán antes de su vertido de modo que cumplan los límites de vertido a cauce fijados en la autorización.

La red de captación de lixiviados conducirá éstos hasta una balsa de almacenamiento impermeabilizada de forma similar al vaso de vertido, de forma que garantice la protección del suelo y de las aguas superficiales y subterráneas.

Los lixiviados recogidos deberán ser tratados en instalaciones exteriores al vertedero tras su transporte en camiones cuba, o bien eliminarlos "in situ" mediante:

- Reincorporación al vertedero, mediante regado con ellos de la capa exterior, para disminuir su cantidad por evaporación y aumentar la rapidez del proceso de fermentación.
- Depuración "in situ", lo cual exige la construcción de la correspondiente estación de tratamiento. Se produce un incremento tanto en el costo de la inversión inicial como en la explotación, debiéndose eliminar posteriormente los fangos resultantes del proceso.
- Almacenamiento en balsas de poco fondo (lagunas) para favorecer la evaporación natural. Es necesario eliminar posteriormente los fangos obtenidos.
- Solidificación por adsorción química. Este sistema permite obtener una materia inerte, similar a la tierra, que puede utilizarse como material de recubrimiento en el propio vertedero.

En la Figura 21, se muestra el diseño del depósito de seguridad establecido en el Real Decreto 1481/2001.

DEPÓSITO DE SEGURIDAD

BARRERAS DE IMPERMEABILIZACIÓN EN VERTEDEROS DE RESIDUOS PELIGROSOS (REAL DECRETO 1481/2001)

- RESIDUOS
- CAPA DE DRENAJE $\geq 0,5$ m para recogida de lixiviados
- REVESTIMIENTO ARTIFICIAL IMPERMEABLE
- BARRERA GEOLOGICA ARTIFICIAL $\geq 0,5$ m (cuando la barrera natural no cumple)
- BARRERA GEOLOGICA NATURAL
Terreno de permeabilidad y espesor equivalente a: $k \leq 10^{-9}$ m/seg
espesor ≥ 5 m

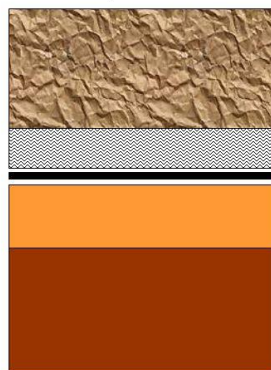


Figura 22. Depósito de Seguridad. Fuente: Desarrollo técnico del Real Decreto 1481/2001

4.2. Composición, características, tipos de lixiviados.

La composición de los lixiviados es bastante compleja y variable. Sus componentes, según Christensen, T.H. et al. (2001) y Kjeldsen, P. et al. (2002), se pueden clasificar en cuatro grupos diferentes:

- Materia orgánica disuelta, expresada en forma de parámetros generales como Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Carbono orgánico total (COT).
- Componentes inorgánicos (Cl^- , SO_4^{2-} , N-NH_3 , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+).
- Metales pesados (Fe, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn).
- Compuestos xenobióticos, como hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs o PAHs, por sus siglas en inglés), Compuestos Orgánicos Halogenados (AOX, Adsorbable Organic Halogens) y fenoles.

Esta clasificación es aproximativa, ya que según otros autores, como Bauer, M.J. et al. (1998) y Paxéus, N. (2000), más de 200 compuestos orgánicos han sido identificados en un lixiviado. Estos compuestos pueden ser clasificados en hidrocarburos cíclicos, compuestos bicíclicos, hidrocarburos aromáticos, bencenos, alcoholes, éteres cíclicos, ácidos y ésteres, fenoles, lantanos y furanos, compuestos que contienen nitrógeno, fósforo, sulfuro y sílice, y trazas inidentificables. Entre los compuestos identificados se incluyen hasta 35 sustancias reconocidas por su capacidad contaminante, entre ellas: clorobenceno, diclorobenceno, tolueno, etilbenceno, xilano, estireno, naftaleno, metilnaftaleno, dimetilnaftaleno, trimetilnaftaleno, fenantrano, 9H-fluorano, fluorantano, pireno, metilfenol, triclorofenol, tetraclorofenol, pentaclorofenol, nonilfenol, felatos, dibencenofurano, cloroanilina, ácido tributilofosfórico y estertrifenil.

La fracción coloidal contenida en el lixiviado es muy importante por la alta afinidad de los coloides por los metales pesados. Diferentes contenidos de esta fracción en el lixiviado implicarán diferentes concentraciones de metales pesados.

Más aún, los complejos que se forman entre los metales pesados y la fracción coloidal probablemente serán más resistentes al tratamiento y menos móviles que la fracción disuelta de metales pesados. (Jensen, D.L. et al. (1999)).

Los principales factores que afectan al quimismo de los lixiviados y que, por tanto, hay que considerar para evaluar la variabilidad espacio-temporal del mismo, son muy variados. Haciendo una compilación de las propuestas de diversos autores (El-Fadel, M. et al. (2002); Lutfi, M. (2003)), dichos factores serían:

- Edad del vertedero o depósito.
- Tipo de explotación.
- La forma de explotación, como la recirculación del lixiviado, altura y tipo de relleno, etc.; y la tecnología empleada, como el grado de compactación, frecuencia y forma de cubrición, etc.
- El tratamiento previo del residuo.
- La hidrogeología del lugar del depósito.
- La naturaleza y la cantidad de los residuos almacenados.
- La climatología del lugar y estación del año.

Por tanto, se puede establecer que los factores que influyen en la composición de lixiviados se corresponden con:

- Factores endógenos al proceso, entendiéndose éstos como:
 - Los determinados por la naturaleza del residuo de partida (incluyendo el pre-procesamiento del mismo, por ejemplo, la eliminación de plásticos y metales pesados).
 - El propio proceso de compostaje: aireación de pilas, frecuencia de riego de la pila, humedad de la misma, etc.
- Factores exógenos al proceso, no controlables, o en menor grado por los protocolos de manejo de la instalación, como son:
 - La climatología (y su variación temporal, tanto intra-anual (estacionalidad climática) como inter-anual).
 - Los rasgos fisiográficos, litológicos e hidrogeológicos del lugar de instalación del vertedero (presencia de pendientes, permeabilidad del suelo, materiales geológicos que componen el sustrato, patrones de escorrentía superficial y sub-superficial, además de los patrones de drenaje, etc.).

Con respecto a la climatología, existen algunos estudios sobre el efecto de su variación estacional en la producción y del quimismo del lixiviado (Mohammad, N. (2003)), aunque son escasos y con poca representación de sistemas de estudio correspondientes a ambientes climáticos mediterráneos. Un ejemplo de esto último, lo constituyen los estudios de Tatsi, A.A. (2002), realizados en Grecia, donde se demostró que, asociado a los picos máximos de producción de lixiviado y mínimos durante la estación húmeda, se producía una variación muy considerable sobre las concentraciones de los elementos contaminantes en el lixiviado. Así, aunque en el estiaje genera menos volumen de lixiviados, sus concentraciones de elementos contaminantes llegan a ser desproporcionalmente más altas.

En relación al efecto de factores endógenos que afectan al quimismo y tipología de los lixiviados, se ha demostrado que una de las fuentes de variación principales es la edad del depósito o tiempo transcurrido desde el relleno (Kjeldsen, P. et al. (2002)). Así, los depósitos con zonas recientemente rellenas, producen un tipo de lixiviado, denominado *lixiviado joven*, que se caracteriza por una elevada carga orgánica contaminante. Pero conforme va transcurriendo el tiempo desde el depósito, la carga orgánica del lixiviado se va haciendo menor, denominándose entonces *lixiviado maduro*. Evaluando la dinámica de cambio temporal en el quimismo de los lixiviados a medida que transcurre el tiempo del relleno, se ha fijado como umbral de diferenciación el siguiente: si tiene menos de cinco años, será *lixiviado joven*, mientras que si tiene más de cinco años, será *lixiviado maduro ó viejo*.

Entre el lixiviado de los vertederos jóvenes y los vertederos más antiguos, hay grandes diferencias, mientras el joven, es mucho más contaminante, con el tiempo, el pH cambia de ácido a neutro ligeramente, y las relaciones DBO/DQO y $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$, también disminuyen con el tiempo (Kiely, G. (1999); Corbitt, R. (2003)).

Como ejemplo, la Tabla 49 muestra la composición típica y rangos de concentración de lixiviados tipificados como jóvenes o viejos en función de la edad de un vertedero (Tchobanoglous, G. et al. (1997)).

Tabla 49.- Composición de un lixiviado de vertedero y su variación con el tiempo.

Fuente: Tchobanoglous, G. et al.(1996).

CONSTITUYENTE	VALOR (mg/l) excepto pH		
	VERTEDERO NUEVO (menos de 2 años)		VERTEDERO MADURO (más de 10 años)
	Rango	Típico	Rango
DBO5	2000-30000	10000	100-200
COT	1500-20000	6000	80-160
DQO	3000-60000	18000	100-500
SST	200-2000	500	100-400
Nitrógeno orgánico	10-800	200	90-120
Nitrógeno amoniacal	10-800	200	20-40
Nitrato	5-40	25	5-10
Fósforo total	5-100	30	5-10
Ortofosfato	4-80	20	4-8
Alcalinidad como CaCO ₃	1000-10000	3000	200-1000
pH	4,5-7,5	6	6,6-7,5
Dureza total como CaCO ₃	300-10000	3500	200-500
Calcio	200-3000	1000	100-400
Magnesio	50-1500	250	50-200
Potasio	200-1000	300	50-400
Sodio	200-2500	500	100-200
Cloro	200-3000	500	100-400
Sulfatos	50-1000	300	20-50
Total Hierro	50-1200	60	20-200

Sin embargo, otros autores, como Renou, S. et al. (2008) clasifican los lixiviados según la edad del propio lixiviado, en lugar de la edad de depósito del vertedero. En este caso, por edad del lixiviado se entiende el tiempo de permanencia de éste en la correspondiente balsa de acumulación/decantación. La Tabla 50 muestra los umbrales que definen Renou, S. et al. (2008) para esta tipificación en base a la edad del lixiviado:

Tabla 50: Composición del lixiviado según su edad. Fuente: Renou, S. et al. (2008)

	Jóvenes	Intermedios	Viejos
Edad (años)	<1	1-5	>5
pH	<6,5	6,5-7,5	>7,5
DQO (g/L)	>15	3-15	<3
DBO/DQO	0,5-1	0,1-0,5	<0,1
TOC/DQO	<0,3	0,3-0,5	>0,5
NH ₃ - N (mg/L)	<400	400	>400
Metales pesados (mg/L)	>2	<2	<2
Compuestos orgánicos	80% AGV	5-30% AGV+AH+AF	AH+AF
Tipo	S/D	P	E

AGV= Ácidos grasos volátiles; AH= Ácidos Húmicos; AF=Ácidos Fúlvicos; SD= Sin Degradar; P= Parcialmente degradados o estabilizados; E= Estabilizados

Por otro lado, continuando con los factores endógenos, la calidad de los lixiviados depende fundamentalmente de dos aspectos:

- Edad del relleno sanitario.
- Características de los residuos.

También hay que tener en cuenta (Jorstad, L.B. et al. (2004)), que la tipología del residuo varía enormemente dependiendo del grado de desarrollo del país del mundo que se considere: países desarrollados o del primer mundo, en contraposición a países en vías de desarrollo o del tercer mundo. En estos últimos, el depósito contiene mayor proporción de materia orgánica y, consecuentemente, los valores que adoptan variables como la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, las concentraciones de amoníaco, metales y sustancias precipitables son más elevados que en el caso de los depósitos de países desarrollados.

Los depósitos donde se viertan residuos con gran contenido de materia orgánica fácilmente biodegradable (MOFDB), tendrán un alto contenido de humedad intrínseco al residuo, que se degradará rápidamente y producirá a su vez altas concentraciones de ácidos grasos volátiles y de amoníaco. Por el contrario, los depósitos de plantas de tratamiento de residuos industriales contendrán residuos con muy poca carga orgánica, pero con presencia de metales. Estos ácidos se diluyen fácilmente en el lixiviado del relleno sanitario, le bajan el pH y contribuyen a la solubilización de los metales presentes en los residuos dispuestos en el relleno.

En los lixiviados de vertederos de residuos urbanos dominan los iones Cl^- , Na^+ , HCO_3^- y solutos orgánicos. Del mismo modo, los parámetros inorgánicos relacionados con el pH, tales como la alcalinidad, calcio y magnesio, parecen estar químicamente relacionados con el tipo de residuo a través del cual ha percolado el líquido. Cromo, cobalto, vanadio, zinc y boro muestran ser significativos a corto plazo con variación y tendencia decreciente (Statom, R.A. et al. (2004)).

La Tabla 51 resume las principales características de los lixiviados jóvenes y viejos en un relleno sanitario de procedencia urbana.

Tabla 51. Comparación de las características de lixiviados de procedencia urbana.

Fuente: Reyes, M. (2015)

Características	Lixiviado joven	Lixiviado maduro
DBO	Muy alto	Bajo
DQO	Muy alto	Alto
pH	Muy bajo	Bajo
Metano	Bajo	Alto
Amoníaco	Muy alto	Alto
Fósforo	Usualmente Deficiente (1)	Suficiente
Detergentes	Muy altos	Bajos
Sales disueltas	Muy altas	Relativamente Bajas
Agentes Incrustantes (Fe, Ca, Mg)	Muy altos	Bajos
Metales Pesados	Muy altos	Bajos

4.3. Problemática de los lixiviados. Toxicidad y Enriquecimiento de la Eutrofía.

Como se ha indicado anteriormente, el lixiviado de vertedero de residuos sólidos domésticos es un líquido complejo y altamente contaminado (Kjeldsen, P. et al. (2002)), con materia orgánica disuelta, sales inorgánicas, metales pesados y compuestos orgánicos xenobióticos, que podría ser tóxico y carcinógeno, y representa un riesgo potencial para el medio ambiente y los seres humanos (Toufexi, E. et al. (2013)). Incluso para el caso de los componentes de los lixiviados que no pueden considerarse como intrínsecamente tóxicos, cual es el caso de nutrientes esenciales (por ejemplo, nitrógeno y fósforo), su elevada concentración en el lixiviado representa también un riesgo ambiental ya que pueden ocasionar problemas de eutrofia y enriquecimiento. Por tanto, si los lixiviados no se controlan, acabarán fuera del vaso, y causarán un gran impacto en el medio ambiente, contaminando la tierra y, más importante aún, los acuíferos de la zona donde se sitúe el relleno sanitario (Yang, W. et al.

(2013)). El subsuelo es una entidad ambiental y un recurso natural en sí mismo que puede ser dañado o modificado por las actividades humanas (Curiel-Esparza, J. et al. (2012)).

Los residuos urbanos e industriales han crecido considerablemente con el aumento de los niveles de población y de vida, por lo que el problema de la purificación de lixiviados ha aumentado de forma exponencial (Chen et al. 2014). Por otro lado, la depuración de las aguas contaminadas es una parte importante de la política de la Unión Europea para lograr un alto nivel de salud y protección del medio ambiente, y es uno de los objetivos que hay que perseguir para alcanzar el desarrollo sostenible. Con el aumento de los estándares de calidad del efluente de lixiviados y de los mayores requerimientos medioambientales, los esfuerzos para el tratamiento de lixiviados también aumentan (Heyer, K.U. (2005)).

Las concentraciones de sales disueltas, y metales pesados son mucho mayores en un lixiviado joven, generando problemas de toxicidad en el caso de que se quieran utilizar procesos biológicos para la remoción de la DBO. A su vez, la alta concentración de agentes incrustantes (hierro, calcio y magnesio) producen problemas de taponamiento donde el lixiviado entra en contacto con el sistema de conducción y de tratamiento (conductos, tuberías, válvulas, membranas, etc.). También, el bajo pH puede interferir con el funcionamiento de numerosas tecnologías que se proponen, por ejemplo, la volatilización del amoníaco, para la cual se requieren pH básicos, o con algunos procesos biológicos como la nitrificación, o químicos, como la oxidación del hierro.

Los metales existen bajo diferentes formas químicas, como iones libres, o formando ligandos con compuestos orgánicos e inorgánicos, variando sus características físico-químicas e influyendo significativamente en su movilidad, disponibilidad y toxicidad (Janos, P. et al. (2004); Pesavento, M. et al. (2009); Weng, L.P. et al. (2002)). Es muy importante, por ello, conocer y especificar las fracciones metálicas cuando evaluamos la movilidad y la ecotoxicidad de los metales. Hay una clara y directa relación entre el comportamiento de los metales presentes en el lixiviado y el pH. (Yanyu, W., et al. (2011)), que condiciona de modo directo los equilibrios de solubilidad y, por tanto, los niveles de los metales en el lixiviado.

La naturaleza del lixiviado de un vertedero también influye notablemente en la toxicidad de los lixiviados y depende de los tipos de residuos que ha venido recibiendo. Se han realizado experiencias con simulaciones donde se concluye que una reducción del 40% de los plásticos depositados en vertedero reduce el tiempo de persistencia del benceno de 59 a 39 años y el del cloruro de vinilo de 47 a 29 años; una reducción del 40% del depósito de papel reduce la persistencia del cloruro de 49 a 35 años y el de los sólidos totales de 75 a 59 años; y una reducción de 340% de la materia orgánica depositada reduce la persistencia de los sólidos disueltos de 75 a 59 años (Tansel, B. et al. (2010)).

En los lixiviados jóvenes, la presencia de altas concentraciones de nitrógeno puede llegar a generar problemas de toxicidad por enriquecimiento, ya que la presencia de amoníaco interfiere sobre la actividad de los sistemas biológicos anaerobios involucrados en la remoción de la DBO. También en los lixiviados jóvenes hay poca concentración de fósforo, al contrario que en los lixiviados viejos, lo que nos lleva a la paradoja de tener que añadir fósforo en los procesos de remoción biológica de la DBO de los lixiviados jóvenes, mientras que en los lixiviados viejos, no es necesario.

También se puede producir problemas en los lixiviados jóvenes por la presencia de detergentes que, a la hora de utilizar procesos biológicos aerobios, con inyección de aire en el agua, producirán espumas que dificultarán las operaciones normales de funcionamiento de la depuradora. Si se emplean procesos biológicos anaerobios, igualmente se pueden formar

espumas que interfieren con el funcionamiento normal del proceso de producción de biogás en gran cantidad.

Como ya se ha comentado con anterioridad, también existen grandes diferencias entre rellenos de procedencia urbana e industrial. En estos últimos, con poca carga orgánica, los lixiviados arrastran de manera disuelta cantidades considerables de compuestos orgánicos volátiles (COV's). Son compuestos que se disuelven muy fácilmente en el agua, pero que salen también de forma muy fácil de ella, debido a su alta volatilidad. Además de ser volátiles, son muy tóxicos, por lo que habrá que tener cuidado con ellos a la hora de diseñar el sistema de tratamiento (Assmuth, T. (1992)).

4.4. Gestión sostenible de los lixiviados

Los vertederos, no contienen todos los mismos tipos de residuos, y además que las condiciones climatológicas y geológicas son distintas, y están sujetos a diferentes acciones exteriores, lo que inevitablemente impronta el lixiviado que se produce en todos ellos. La falta de calidad del lixiviado es el resultado de procesos físicos, químicos y biológicos en los rellenos sanitarios, así como de la composición de los residuos específicos y del régimen hídrico del vertedero.

El tratamiento del lixiviado es esencial desde el punto de vista de la sostenibilidad, para ello, hay que utilizar diferentes métodos, que permiten eliminar o depurar los lixiviados que se generan en los vertederos de forma definitiva, teniendo sin olvidar las particularidades de cada uno de ellos (Abbas, A.A. et al. (2009)).

Generalmente el método más habitual, de tratamiento de los lixiviados generados, en un vertedero en funcionamiento, es recircular el lixiviado en el propio vertedero. Experiencias de este tipo (Obuli, P. (2007)), indican que con este tratamiento se incrementa la degradación de la materia orgánica (**DBO** 99%, **DQO** 88% y **COT** 81%) y se disminuye la concentración de los nutrientes presentes en el lixiviado, especialmente el amonio (85%). Sin embargo, con cada ciclo de recirculación, la cantidad de sustancias contaminantes va en aumento.

El uso de los tratamientos convencionales de aguas residuales aplicados a la eliminación y depuración de los lixiviados de vertedero han supuesto un importante paso adelante en este campo (Stegmann, R. et al. (2005)), pero este procedimiento de tratamiento, debe tener en cuenta el pequeño caudal y la composición compleja del lixiviado, que lo hace diferente de otros tipos de aguas residuales (Kjeldsen, P. et al. (2002)).

Para eliminar la carga contaminante del lixiviado del vertedero, se han desarrollado específicamente nuevas técnicas y diseños de explotación (Renou, S. et al. (2008)), con tratamientos *in situ* en los que el propio vertedero opera como con un bioreactor. Además, estos tratamientos, manteniendo valores de humedad superiores al 40% en el residuo sólido, mediante la recirculación del lixiviado o añadiendo agua, incrementan los procesos de biodegradación. También existen estudios sobre el efecto del modo en que físicamente se efectúa la aplicación del lixiviado a recircular, que puede realizarse mediante sistemas de goteo, en cascada, en racimo, etc. (Murphy, T.J. (2004)).

Otros modelos innovadores incluyen, como un factor a tener en cuenta también, el modo en que el lixiviado recirculante atraviesa la masa de residuos (White, J.K. (2010)). Esto es importante ya que existe considerables gradientes con la profundidad en el depósito respecto a parámetros que condicionan la tipología del lixiviado, como pueden ser:

- Las características del residuo.
- La variación de la conductividad hidráulica.
- El agua contenida, saturada y drenada.

Hay que tener en cuenta, que en la actualidad, el control de lixiviados, tanto en cantidad como en calidad, es un paso muy importante para establecer la funcionalidad a largo plazo del sistema de drenaje y depuración, para así, reducir los costes de operación y mantenimiento de los vertederos, haciendo posible sistemas de tratamiento sostenibles en el tiempo, si además a su vez, se quiere cumplir con las normas de descarga de efluentes.

Para alcanzar estos objetivos, las plantas que están actualmente optimizando las operaciones de tratamiento de lixiviados, combinan diferentes tecnologías (Stegmann, R. (2005)), de modo que resuelvan las limitaciones de las concentraciones de efluentes (Gupta, S.K. et al. (2007)).

En muchos casos, esta combinación de métodos depende de múltiples factores, por ejemplo, físico-químicos, económicos, facilidad en la operación y mantenimiento de las plantas o, incluso, de la aplicación local de la Legislación Europea (Van Praagh, M. et al. (2009); Guoliang, Z. et al. (2013)).

Por lo tanto, como conclusión, seleccionar el mejor método en cada caso da lugar a un complejo proceso de análisis de estos tratamientos técnicos. Es necesario, diseñar combinaciones de métodos de físicos, químicos y biológicos, porque es difícil obtener eficiencias de tratamiento satisfactorios por cualquiera de estos métodos en particular con capacidad para resolver la totalidad de los parámetros contaminantes de los lixiviados. La tecnología de tratamiento combinado mejora la calidad de los efluentes y minimiza el residuo obtenido a un coste de tratamiento menor en comparación con los métodos de tratamiento individuales (Li, G. et al. (2010)).

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.

1. CONDICIONES DEL PROCEDIMIENTO DE COMPOSTAJE.

Para un correcto compostaje, el trabajo de los microorganismos debe de ser el correcto y para ello es necesario cumplir con dos condiciones fundamentales como la relación C/N, generalmente treinta partes de carbono por cada una de nitrógeno al inicio; y la humedad durante toda la fase de preparación, que permita el transporte de sustancias y nutrientes que los hace más accesibles para estos.

1.1. Diseño de la planta de compostaje de RSU.

El vertedero utilizado para la realización de la presente Tesis, se ubica en la provincia de Jaén y da servicio a una ciudad de tamaño medio con una media poblacional de 120.000 habitantes. El tipo de residuos que recibe son clasificados como no peligrosos.

El vertedero está constituido por cinco vasos de vertido, con una superficie de 8.6 ha. La cota máxima de la situación inicial es de 511 m y la mínima 481 m.

Se estima una entrada de 450 t de RSU diarias, siendo la capacidad total del vertedero de 480.712 m³.

Existe una zona de unos 1.500 m² con solado de hormigón, en la que se instaló el área de recepción de residuos y la plataforma de triaje, donde se realiza la operación de clasificado y separación. Cuenta con dos sistemas de separación, el primero un electroimán, que retirará la mayor parte de los residuos metálicos; y una sopladora, cuya finalidad es separar residuos ligeros, como papel y cartón. Los residuos así separados, son acumulados en 5 contenedores de 8m³, separados por tipo de residuo (papel y cartón, elementos metálicos, etc.) para su posterior tratamiento en otras plantas de reciclaje.



Figura 23. Plataforma de recepción de residuos.



Figura 24. Cinta transportadora que guía a los residuos, una vez extraída la fracción férrica, hacia la planta de compostaje.

Una vez realizadas las operaciones anteriores, con la fracción compostable de los residuos, se comienza el proceso de compostaje, acumulando los residuos en una pila. El proceso de compostaje de esta planta de tratamiento tarda unas 10 semanas en completarse. El proceso implica un volteo de las pilas, que hacen que se desplacen en el terreno, facilitando la formación de nuevas pilas. A partir de la sexta semana, las pilas son regadas por lixiviados procedentes de la balsa de lixiviados, con motivo de enfriar las pilas que, debido a la acción de los agentes microbiológicos, habrán aumentado su temperatura hasta el riesgo de autoignición. Este proceso solo se lleva a cabo durante las estaciones de primavera-verano, siendo innecesario en los meses de invierno. Además de los residuos mencionados y del lixiviado añadido en forma de riego, a la pila se añaden restos de lodos de depuradora (EDAR). Para el control de los lixiviados generados por motivo de la diferente climatología y los riegos, el vertedero sigue con un sistema de drenaje superficial, que se dispone a lo largo de todo el perímetro del vertedero, y que lleva los lixiviados producidos a dos balsas de acumulación de lixiviados. La primera de dichas balsas, de 3200 m³ de capacidad, y que en adelante denominaremos como *balsa antigua*, continua recibiendo los lixiviados del antiguo vertedero, ya sellado (Kurniawan, T.A. et al. 2005). La segunda, de 240 m³, y que se denomina como *balsa nueva*, recibe los lixiviados del proceso de compostaje y del vertedero nuevo.

Se instalaron en un principio tres piezómetros: uno aguas arriba del vertedero y dos aguas abajo, con vista al control analítico de las aguas subterráneas del vertedero. Se realizan analíticas trimestrales de los siguientes puntos de muestreo: Piezómetro 1 (aguas arriba), Balsa antigua, Balsa nueva, Aguas superficiales (arroyo y agua de escorrentía), Piezómetro 2 (aguas abajo) y Piezómetro 3 (aguas abajo). Durante el mes de noviembre 2014, se instalaron varios piezómetros más, para asegurar el correcto análisis de dichas aguas. El piezómetro 4 fue instalado aguas arriba, mientras que los piezómetros 5,6,7,8 y 9 fueron instalados aguas abajo.

Para la impermeabilización de la planta de compostaje, sobre el terreno natural, se dispuso un revestimiento artificial impermeable constituido por una capa de arcilla compactas de 0,5 m de espesor y sobre ésta una capa de material drenante (gravas) de 0,30 m de espesor. Esta capa drenante tiene una pendiente, que evacua los lixiviados producidos hacia un pozo en el que se realiza, de manera periódica, controles cualitativos y cuantitativos de los lixiviados que se recogen.



Figura 25. Disposición de las pilas en la planta de tratamiento.



Figura 26. Balsa de lixiviados "vieja".



Figura 27. Balsa de lixiviados "nueva".

1.2. Parámetros que se han medido durante el proceso de compostaje.

1.2.1. Temperatura.

Durante la fase de elaboración del compost, se a controlado la temperatura de la pila diariamente. A fin de obtener resultados consistentes y comparables entre fechas de muestreo, la medida se realizaba a la misma hora de la mañana, en tres puntos repartidos a lo largo de la longitud de la pila de forma equidistante, a una altura de $\frac{2}{3}$ de la altura de la

misma y profundizando 1m aproximado hacia el centro de la pila. Para ello se ha dispuesto de un equipo de medida, constituido por una sonda CRISON Thermometer 637, con una exactitud ± 0.1 °C, dotado con un sensor acoplado a una varilla de 1 m de longitud, quedando los datos de temperatura debidamente registrados.

1.2.2. Humedad.

Otro parámetro de gran importancia en la elaboración del compost, es la humedad contenida en la pila a lo largo de la etapa bioxidativa o de fermentación. La medida de la misma, se realizó de forma semanal en el primer mes de inicio del proceso y cada dos semanas durante el resto del compostaje, coincidiendo con el volteo, momento en que se llevaban a cabo los riegos necesarios siempre que la humedad de la pila, en el momento del volteo, fuera inferior a los valores óptimos comprendidos entre el 40-60%.



Figura 28. Riego de pilas con agua de lixiviado.

Para conocer el grado de humedad, se tomaron muestras de compost, aproximadamente 3 kg, en distintos puntos de la pila y se dejaron secar a temperatura ambiente en un habitáculo preparado para ello. Para la preparación de las muestras de compost para su caracterización físico-química, se procedía a su secado al aire y, posteriormente, en estufa. Previamente, la humedad inicial en la muestra se determinó cuantificando la pérdida de peso una mediante secado en estufa de aire forzado a 105°C hasta peso constante.

1.2.4. pH y Conductividad Eléctrica.

La medida de estos parámetros analíticos se han realizado según el método descrito por Gómez-Muñoz y cols., 2013. Para ello, se introdujeron 10 g de muestra seca y molida en un frasco de plástico provisto de tapón, se le añadió 50 mL de agua destilada y, tras agitación enérgica, se introdujo en la disolución la sonda calibrada del Ph-metro (Eutech Instruments EcoScan pH6), hasta que la lectura se estabilizó.

Después de anotar la lectura del pH, se procedió de la misma manera, realizándose la medida de la conductividad eléctrica (CE) con el conductímetro Eutech Instruments EcoScan CON6.

Los resultados de CE se expresaron en dS m^{-1} a 25 °C.

2. REACTIVOS, EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN.

A continuación se detalla el material que se ha utilizado para el desarrollo de esta Tesis Doctoral, los equipos utilizados y los reactivos químicos empleados en las determinaciones.

2.1. Análisis de compost.

2.1.1. Reactivos.

Tabla 52. Relación de reactivos utilizados.

Nombre	Calidad	Casa comercial, país
Ácido nítrico al 65% p/v	ISO	Merck, , Darsmtardt, Alemania
Disolución estándar multipatrón-2a (Ag, Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Se, Ti, V, Zn; y Cs, Ga, Li, Rb, Sr, U).		Agilent, Palo Alto, CA. USA
Agua desionizadaultrapura, (18 MΩ cm), (Sistema Milli-Q)	MilliporeElix 3	Millipore, Bedford, MA, USA
Calcio	Solución estándar	Merck
Cloruro de aluminio	PRS-BP-USP	Merck
Cobre	Solución estándar	Merck
Fosfato potásico	PA-ISO	Merck
Hidróxido potásico	PA	Panreac
Hierro	Solución estándar	Merck
Magnesio	Solución estándar	Merck
Manganeso	Solución estándar	Merck
Metanol	PA-ACS-ISO (Reag. Ph. Eur.)	Panreac
Molibdato amónico	PA	Panreac
Óxido de lantano	PA	Panreac
Potasio	Solución estándar	Merck
Poliacrilamida	PA	Panreac
Policloruro de aluminio	PA	Panreac
Sodio	Solución estándar	Merck
Sulfato de cobre	PRS	Panreac
Sulfato potásico	PRS	Panreac
Vanadato amónico	PA-ACS	Panreac
Yoduro Potásico	PRS-CODEX	Panreac
Zinc	Solución estándar	Merck
Kit DQO (0-150 mg kg^{-1})	PA-ISO	Hach

2.1.2. Equipos e Instrumentación.

Tabla 53. Relación de equipos e instrumentación utilizados en el análisis del compostaje.

Nombre modelo	Casa comercial	Ciudad País
³ Analizador Elemental, Flash EA1112 CHNS-O	ThermoFinnigan	San Jose, California, EE UU.
Molinillo eléctrico de aspas	Mulinex	España
Horno Select-Horn	Selecta	España
pHímetroH 25+	Crison	España
ConductímetroCM 35+	Crison	España
Agitador Heidolph D-91126	Heidolph	Alemania
¹ Espectrofotómetro Cary 4.000	Varian	Inglaterra
² Espectrómetro Plasma de Acoplamiento Inductivo 7.500a	Agilent	Inglaterra
Balanza analítica	Mettler Toledo	España
Microbalanza electrónica modelo MX5	Mettler Toledo	España
Balanza de precisión modelo AB2004, precisión (0.10±0.01)	Mettler Toledo	España
Balanza de precisión S-234, precisión (0.1000±0.0001)	Denver Instrument	Estados Unidos
Centrífuga Selecta Medifriger BL-S	Selecta	España
Oxímetro portátil OXI 45+	Crison	España
Turbidímetro TN-100/ T-100	Eutech Instrument	Singapur
Espectrofotómetro VarianCary 50 BIO UV. Visible Spectrophotometer	Varian	Inglaterra

1. El Espectrofotómetro Cary 4.000 (ver Figura 3.3.) proporciona una excelente resolución a lo largo del espectro UV-visible, desde 175 a 900 nm. El detector es un tubo fotomultiplicador R928 de alta eficacia. Lleva lámpara halógena de tungsteno para visible y de deuterio para UV. También consta de una lámpara de mercurio para validación de la precisión de la longitud de onda. Su sistema de doble haz reduce el ruido y la luz dispersada considerablemente. El software *CaryWinUV* tiene multitud de aplicaciones, permitiendo hacer tanto medidas puntuales como barridos en todo el rango espectral.
2. El espectrómetro de ICP- SM, dispone de un muestreador de 96 posiciones para introducción automática de muestras mediante una bomba peristáltica, un nebulizador tipo *Babingtony* una cámara de nebulización de cuarzo refrigerada por *Sistema Peltier*, una antorcha de plasma de argón a través de conos de la interfase de níquel, atomizador y analizador de masas tipo cuadrupolo. El recurso además, está dotado del software ChemStation, un paquete de programas específicos que permiten por un lado el control del equipo y por otro el desarrollo de métodos analíticos para la adquisición y posterior tratamiento de datos. Permite la determinación cuantitativa de la mayoría de elementos de la tabla periódica en un amplio rango de concentraciones desde ppm a ppt, en soluciones acuosas.
3. El analizador permite el análisis químico cuantitativo de Nitrógeno, Carbono, Hidrógeno, Azufre y Oxígeno en muestras sólidas o líquidas, en un rango de concentraciones que abarca desde el 0.01% (100 ppm) al 100% del contenido total del elemento presente en la muestra. El recurso está dotado del software necesario (software de interface de usuario Eager 300) para la selección de los condiciones de análisis y para la adquisición, tratamiento y evaluación de los datos obtenidos. El equipo dispone de un muestreador para la introducción automatizada de muestras y para la pesada de muestras el recurso cuenta con una Microbalanza electrónica Mettler Toledo MX5 con un rango de pesada hasta 5.1g. y una precisión de +/- 1µg.

3. MUESTRAS.

Para una correcta caracterización físico-química de las muestras seleccionadas, es fundamental establecer tal protocolo de toma y preparación de las mismas que nos permita obtener una buena y correcta reproducibilidad y mínima variabilidad de su composición.

3.1. Compost

3.1.1 . Toma de muestras

La toma de muestras de compost para la caracterización de la evolución temporal de sus propiedades físico-químicas, se realizó tanto una vez finalizado la fase de maduración de los compost, como en las etapas intermedias del proceso.

En cada ocasión, para caracterizar la variabilidad espacial, se tomaron aleatoriamente muestra de varios puntos de la pila (extremo derecho, centro y extremo izquierdo). La profundidad de la muestra tomada, con respecto a la pila, fue variable. Para que las muestras fueran lo más representativa posible, se homogenizó bien mediante mezcla el punto de muestreo, tomándose entonces una cantidad de medio kilo aproximadamente, la cual se introdujo en una bolsa de plástico, identificada con una etiqueta en la que se anotó, la pila a la que pertenece, la posición en la pila y la fecha de muestreo. Tras el cierre de las bolsas, éstas se trasladaron inmediatamente al laboratorio para dejarlas secar a temperatura ambiente, hasta su análisis.



Figura 29. Bolsa de muestra etiquetada y contenido.

El programa de muestreo se dividió en tres tandas o épocas, divididas de forma temporal de la siguiente forma:

- Época 1: 07/07/2014 al 23/10/2014.
- Época 2: 15/01/2015 al 27/04/2015.
- Época 3: 27/05/2015 al 06/10/2015.

A lo largo del programa de muestreo, se registraron un total de 168 muestras a lo largo de las tres épocas, contabilizando el proceso de muestreo en 342 días, si no incluimos el tiempo transcurrido entre el inicio de una época de muestreo y la siguiente.

3.1.2. Preparación de muestras: Secado, triturado y tamizado.

Las muestras son extendidas sobre papel de filtro y expuestas para su secado a temperatura ambiente. Una vez totalmente secas, se trituraban con un molinillo eléctrico de aspas equipado con una criba de 1 mm de diámetro, posteriormente se tamizaban con un tamiz para homogenizar la muestra, de modo que el diámetro final de partícula fuera inferior a 1 mm. Las muestras se almacenaron en frascos de plástico previstos de tapón, con su correspondiente etiqueta identificativa y se mantuvieron en lugar fresco, seco y protegidas de la luz, para evitar su contaminación o deterioro.



Figura 30. Muestras trituradas y tamizadas.

3.2. Lixiviados.

3.2.1. Toma de muestras.

En la última época en que se tomaron muestras de compost (véase apartado anterior), se procedió también a la toma de muestras de lixiviado, empleando para ello una estación de bombeo, localizada aguas abajo de la balsa de lixiviado nueva. Se tomó una muestra de aproximadamente 1 L en una botella de plástico, siendo cerrada y conservada refrigerada hasta el momento de realizarse el análisis.

3.3. Programa de vigilancia ambiental.

De acuerdo a la Ley 7/2007, de la CCAA de Andalucía, el vertedero se acoge de forma voluntaria a una auditoría para la evaluación de sus lixiviados, conforme a lo establecido en el Artículo 113 de dicha Ley. Para este cometido de control del quimismo hidrológico tanto dentro como fuera de la instalación, se aplicó un programa secuencial de toma de muestras líquidas que incluyó el muestreo de las siguientes tipologías de aguas:

- Muestras de agua de Piezómetros para la vigilancia y caracterización de la calidad de las aguas subterráneas; con piezómetros instalados tanto en posiciones aguas arriba de la instalación (en adelante, aguas subterráneas de piezómetros “*aguas arriba*”), como en posiciones aguas debajo de la misma (ídem para piezómetros “*aguas abajo*”).
- Muestras de agua de las Balsas de acumulación de lixiviados para la vigilancia y caracterización del agua superficial embalsada; a este objeto se tomaron muestras tanto de la balsa vieja como de la balsa nueva (en adelante, *agua embalsada* de las *balsas vieja y nueva*, respectivamente).
- Muestras de agua de arroyos para la vigilancia y caracterización del agua de escorrentía superficial; el muestreo se realizó en el arroyo cercano a la instalación, en posiciones aguas debajo de la misma (en adelante, *aguas de escorrentía superficial* “*aguas abajo*”).

3.3.1. Toma de muestras.

En el caso de los lixiviados generados en la balsa antigua, se utilizó una pértiga extensible, mientras que para los lixiviados generados en la balsa nueva, se extrajo una muestra utilizando la instalación de bombeo adyacente. Para los piezómetros, se utilizó un bailer desechable. Debido a la lenta recuperación de los piezómetros, no se realizó el purgado de los mismos.

El muestreo se realizó, según el informe facilitado por el laboratorio autorizado que realizó las mediciones, de la siguiente manera:

- Muestras trimestrales (iniciadas en noviembre 2010, siendo el primer trimestre muestreado noviembre 2010-febrero 2011).
- Las analíticas mostradas en el presente documento, se corresponden al periodo de noviembre 2010 a noviembre 2014.
- La muestra se componía por dos botes de polietileno 1L, un bote acidificado 250 ml, un bote estéril 500 ml y dos botes de vidrio 1L.
- Se especifica que en las analíticas correspondientes a los trimestres de junio-agosto 2012, 2013 y 2014, además del trimestre marzo-mayo 2014, no se tomaron muestras de agua superficial, al estar seco el arroyo. Caso análogo al del trimestre de junio-agosto 2014 para el piezómetro 2.

Para la toma de muestras de los distintos tipos de aguas y lixiviados internos y externos al área de la instalación de compostaje, especificados en el apartado anterior, se siguió el siguiente procedimiento. En el caso de los lixiviados acumulados en la balsa antigua, para su muestreo se utilizó una pértiga extensible, mientras que para los lixiviados generados en la balsa nueva, se extrajo una muestra utilizando la instalación de bombeo adyacente. Para los piezómetros, se utilizó un bailer desechable. Debido a la lenta recuperación de los piezómetros, no se realizó el purgado de los mismos. En el caso del agua de escorrentía superficial (arroyo), se empleó una pértiga extensible. Cada muestra se dividió en diferentes alícuotas que se almacenaron en dos botes de polietileno 1L, un bote acidificado 250 ml, un bote estéril de 500 ml y dos botes de vidrio 1L, según el parámetro a medir (véase el listado de parámetros medidos en

apartados siguientes; por ejemplo, las alícuotas para análisis microbiológicos se almacenaron en el bote esterilizado de 500 ml).

El programa de vigilancia ambiental implementado por la gestión del vertedero contempla para el control del quimismo hidrológico la realización de muestreos trimestrales de los distintos tipos de aguas referidos. La serie de datos que se ha considerado para la presente Tesis comprende cuatro anualidades que abarcan desde el muestreo de fecha noviembre 2010 hasta el realizado en noviembre 2014. Esta duración de marco temporal se seleccionó para contar con una serie de suficiente longitud como para poder evaluar tanto patrones de variabilidad estacional como inter-anual.

Para la referida serie temporal noviembre 2010-noviembre 2014, el plan de muestreo se ejecutó conforme a lo previsto en el programa de vigilancia ambiental. Las únicas excepciones en las que no se pudo recoger algún tipo de muestra en algún momento o punto de muestreo fueron:

- Aguas de escorrentía superficial "aguas abajo" de la instalación: debido a la ausencia de caudal en el momento de muestreo, no se pudieron tomar muestras (y por tanto no se dispone de las correspondientes analíticas) en los muestreos de agosto de los años 2012, 2013 y 2014, además del muestreo de mayo de 2014. Es decir, en esos años, durante el mes de agosto, y para el año 2014 también en el mes de mayo, el arroyo donde se tomaban las muestras se encontraba seco, sin flujo de escorrentía superficial.
- Aguas subterráneas "aguas abajo" de la instalación: para uno de los piezómetros replicados en esta posición, no se cuenta con muestra en el caso del muestreo de agosto de 2014, dado que el nivel piezométrico en dicha fecha fue inferior a la profundidad del mismo, impidiendo la toma de muestra.

4. METODOLOGÍA.

4.1. Parámetros físicos.

4.1.1. Turbidez, coagulación y floculación.

Para la turbidez, se empleó un turbidímetro TN-100, realizándose el siguiente proceso: primero, se ajustaron los patrones y se limpiaron las cubetas de medición con aceite de silicona. Una vez preparado el equipo, se introdujo cada muestra en las cubetas de medición del equipo (no es preciso hacerle indexado). Como medida preventiva, se limpia las paredes exteriores de las cubetas con aceite de silicona y un paño suave, para eliminar posibles restos de la muestra que pudieran haber rebosado y otras impurezas (como el propio aceite de las huellas dactilares, etc). Se introducen las cubetas en el turbidímetro, teniendo la precaución de alinearlas con la marca del instrumento. Tras esto, se pone en marcha el turbidímetro y realizamos la medición.

Con respecto a la coagulación-floculación, se emplea el equipo del Jar. Para la realización de este proceso, se vertió el litro de la muestra en un vaso de precipitado alto (de 1 L). Se prepararon 3 vasos, denominados A, B y C. Se colocaron en el Jar Test, de tal forma que se agitó cada vaso a 200 revoluciones por minuto (rpm) durante 5 minutos. Tras esos 5 minutos, se añadió a los vasos B y C 15 mL de coagulante (Policloruro de aluminio), dejándose el vaso A tal y como estaba. Tras la adición del coagulante, se pusieron en agitación de nuevo los tres

vasos durante 5 minutos a 200 rpm. Pasado el tiempo citado, se bajó la velocidad a 20 rpm y se le añade al vaso C 10 mL de floculante (Copolímero orgánico sintético basado en Poli(acrilamida)). Se mantiene en agitación los tres vasos nuevamente durante 20 minutos a 20 rpm. Una vez pasados los 20 minutos, se dejan reposar 5 minutos. Tras estos 5 minutos, se comprobó que no se habían formado los flóculos en el vaso C, por lo que se añadieron otros 10 mL de floculante y se pusieron en agitación otros 20 minutos a 20 rpm todos los vasos. Tras este proceso, se comprobó que, una vez más, no se habían formado flóculos, por lo que se volvieron a añadir otros 10 mL de floculante y se volvieron a poner en agitación en el Jar Test durante otros 20 minutos a 20 rpm todos los vasos. Al finalizar los 20 minutos, si se observaron la formación de flóculos. Por lo que todos los vasos fueron puestos en conos Imhoff durante una hora. Tras esta hora, se mide la cantidad de depósitos detectados en los conos Imhoff.

4.2. Análisis Elemental.

4.2.1. Nitrógeno, carbono y sulfuros.

El análisis elemental es una técnica que proporciona el contenido total de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre presente en un amplio rango de muestras de naturaleza orgánica e inorgánica tanto sólidas como líquidas. La técnica está basada en la completa e instantánea oxidación de la muestra mediante una combustión con oxígeno puro a una temperatura aproximada de 1000°C. Los diferentes productos de combustión CO_2 , H_2O y N_2 , son transportados mediante el gas portador (He) a través de un tubo de reducción y después selectivamente separados en columnas específicas para ser luego desorbidos térmicamente. Finalmente, los gases pasan de forma separada por un detector de conductividad térmica que proporciona una señal proporcional a la concentración de cada uno de los componentes individuales de la mezcla.

El equipo dispone de un muestreador para la introducción automatizada de muestras y para la pesada de muestras el recurso cuenta con una Microbalanza electrónica Mettler Toledo MX5 con un rango de pesada hasta 5.1g. y una precisión de $\pm 1\mu\text{g}$.

4.2.2. Determinación de Fósforo (P) por Espectrofotometría UV-Vis

La medida de la concentración de fósforo (P) en las distintas muestras a analizar, se realizó siguiendo los *Métodos Oficiales de Análisis (1986)*. Para ello, se aplicó un método colorimétrico, midiendo la absorbancia a 430 nm en un espectrofotómetro VARIAN Cary 50 BIO UV-Vis.

En esta determinación, se partió de la disolución madre de cenizas, sin previa dilución, en medio ácido (HNO_3). Se tomaron 4 mL de disolución de cenizas, adicionándoles 2 mL del reactivo nitrovanadomolibdico, formado por: molibdato amónico 5% (p/v), vanadato amónico 2,5% (p/v) y ácido nítrico concentrado en una proporción 100/100/67 (v/v/v), dando lugar a la formación de un complejo amarillento del ácido fosfórico en presencia de V^{5+} y Mo^{6+} , enrasándose a 10 mL con agua desionizada en un matraz aforado. Paralelamente, se preparó un blanco tomando los 2 mL del reactivo complejante y llevando a 10 mL con agua desionizada. Se dejó reaccionar durante una hora, tras la que la coloración permanece estable durante varias horas.

La curva patrón se determinó, realizando varias diluciones de una solución madre de fósforo de concentración 1000 mg kg^{-1} (KH_2PO_4 en agua desionizada) obteniéndose un total de veinte patrones distintos en un intervalo de concentraciones $0.32 - 12\text{ mg kg}^{-1}$.

La ecuación de calibrado fue la siguiente:

$$P \text{ (mg kg}^{-1}\text{)} = (21.17 \cdot \text{Abs}) + 0.098 \quad R^2 = 0.999$$

siendo:

Abs: absorbancia de la muestra a la longitud de onda seleccionada

Los resultados se expresaron en %P sobre materia seca.

4.3. Análisis medioambiental.

Para conocer el grado del efecto de contaminación medioambiental que pueda presentar el compost elaborado con RSU, se han seleccionado los siguientes parámetros en cuestión.

4.3.1. Demanda química de oxígeno (DQO).

Introducimos 2 mL de nuestra dilución (1%), en los tubos del kit, introduciéndolos en el digestor durante 2 h a 150 °C. Realizados estos procesos se introducen las cubetas en el espectrofotómetro (VARIAN Cary 50BIO UV-Vis) para su análisis cuantitativo.

La primera vez se hace una lectura *in situ* para ver el rango de las lecturas y así usar el kit apropiado pues existen tres tipos en función de la concentración de la muestra: 15000, 1500 y 150 mg kg⁻¹.

En caso de usar las dos primeras, la cantidad de muestra se reduce a 0,2 mL.

4.3.2 Contenido de polifenoles totales.

La composición fenólica se cuantificó analizando el contenido en polifenoles totales expresados como mg kg⁻¹ de ácido caféico, siguiendo el método descrito por Vázquez-Roncero y cols. (1973) en aceites.

En matraces de fondo redondo, previamente tarados, se pesaron 10 g de cada uno de los distintos compost. Una vez pesados se procedió a su dilución en 200 mL de agua destilada. Para la extracción de los polifenoles, se mantuvo la disolución en agitación mediante un agitador magnético durante dos horas. Transcurrido este tiempo, se toman 40 mL de la mezcla en tubos de centrifuga de fondo cónico, y posteriormente se centrifugó a 6000 rpm durante 5 minutos. Sacamos los tubos de la centrifuga y procedemos a su filtrado con papel de filtro y embudos en botes de muestra.

Una vez que tenemos la disolución de cada compost separada en los distintos botes numerados, se procede a la realización de las diluciones para la determinación de los polifenoles totales. En un matraz aforado de 50 mL, se agregó un volumen variable (2 o 5 mL) de disolución de compost, 35 mL de agua desionizada y 2.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu, se agitó y se adicionaron 5 mL de disolución de NaOH 6 % (p/v) para crear el medio básico. Se llevó a un volumen final de 50 mL con agua desionizada y se agitó para homogeneizar la mezcla.

Paralelamente se prepara un blanco con 35 mL de agua desionizada y 2.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu, se agitó y se adicionaron 5 mL de disolución de NaOH 6% (p/v). Se llevó a un volumen final de 50 mL con agua desionizada y se agitó para homogeneizar la mezcla.

Esperamos unos 15-20 minutos y se mide la absorbancia a 725 nm (Espectrofotómetro VARIAN Cary 50BIO UV-Vis) frente al blanco, obteniendo el contenido en polifenoles totales presentes en la muestra tras la aplicación de la curva de calibrado elaborada previamente.

4.4. Análisis químico cuantitativo de macro y microelementos

4.4.1. Condiciones experimentales

En la Tabla 54, se muestran las condiciones de operación del equipo de Espectroscopía de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS), que se empleó para la determinación de los elementos seleccionados (véase el apartado siguiente) en las correspondientes disoluciones.

Tabla 54. Condiciones de operación.

COMPONENTE	AGILENT 7500a
Nebulizador	Tipo Babington
Cámara de nebulización	Tipo Scott
Generador RF	Frecuencia: 10 mhz, potencia 1300 w
Flujo de Ar (L/min)	Plasma: 15; auxiliar: 0.9; nebulizador: 1–1.1
Diámetro interno del inyector en la antorcha	2.5 mm
Profundidad de la muestra	7.6 mm
Interfase	Pt cono sampler, Ni cono skimmer
Ce ^o +/Ce ⁺	< 1.0 %
Vacío	Interfase: 4 torr, cuadrupolo: 2 × 10 ⁻⁵ torr
Adquisición de datos	Tiempo de réplicas: 200 ms; tiempo de permanencia: 200 ms; barridos/lectura: 3; lecturas/réplica: 3; número de réplicas: 3
Masas analíticas	⁷⁵ As; ¹¹¹ Cd; ⁴³ Ca; ⁵³ Cr; ⁶³ Cu; ³⁹ K; ⁵⁷ Fe; ²⁴ Mg; ⁵⁵ Mn; ²³ Na; ⁶⁰ Ni; ²⁰⁸ Pb; ⁶⁶ Zn
Patrones internos	⁷ Li, ⁸⁹ Y, ²⁰⁵ Tl

4.4.2. Parámetros analíticos

Todas las medidas se han obtenido mediante el método de calibración. Las curvas de calibrado para cada elemento, se construyeron a partir del valor del límite de cuantificación (LQ), ver Tabla 55, correspondiendo hasta, 100, 300, 500 y 1000 µg/L, para Cd y Pb; As y Zn; Cr, Cu y Ni; y Ca, K, Mg y Na, respectivamente. Se comprobó la ausencia de interferencias poliatómicas en las muestras, en la medida de todos los elementos. Para ello, todas las disoluciones de trabajo se prepararon a partir de la disolución multi-patrón que contenía todos los elementos con una concentración de 100 mg/L, por dilución con ácido nítrico en agua ultrapura. Los coeficientes de correlación para todas las curvas de calibración fueron superior a 0.998 para los rangos de concentración estudiados. Los límites de detección y cuantificación fueron calculados como tres veces y diez la señal del blanco (n=5), respectivamente (IUPAC) y permitieron la determinación de todos los elementos en las concentraciones presentes en las muestras. Los estudios de reproducibilidad para la precisión del método, se evaluó mediante el coeficiente de variación (CV%). Los valores de los parámetros se muestran en la Tabla 55.

Tabla 55. Parámetros analíticos.

Elemento	LD, (µg/L)	LQ, (µg/L)	CV, %	
			10µg/L	1000 µg/L
Cr	0.7	1.3	2.14	5.58
Mn	0.6	1.0	2.91	5.37
Fe	7.5	10	5.27	5.08
Cu	6.2	9.0	4.85	5.03
Ni	8.5	14	5.77	4.72
Zn	6.3	8.0	6.08	5.40
As	0.5	0.8	2.76	6.03
Cd	0.01	0.03	6.38	3.35
Pb	0.02	0.05	5.56	7.91

4.4.3. Procedimiento analítico

El análisis cuantitativo de las muestras se ha realizado por el método de calibración directa. Para la determinación de los nutrientes minerales, excepto el nitrógeno, fue necesaria la calcinación de las muestras a analizar. Para ello se pesó 0.50 ± 0.01 g de muestra seca y molida en crisoles de porcelana de, aproximadamente, 15 mL. A continuación fueron calcinados en un horno mufla (SELECTA, España) a 550 °C durante ocho horas. Las cenizas se disuelven en HNO₃ hasta una concentración final 0.1 N.

4.5. Procesamiento y análisis estadístico de la serie temporal el quimismo de aguas subterráneas, embalsadas y de escorrentía superficial

En este apartado, se describe el tratamiento gráfico y analítico dado a la serie temporal (noviembre de 2010 a noviembre de 2014) de registros analíticos de los diferentes tipos de aguas considerados en el programa de vigilancia ambiental del proceso de compostaje.

Como se indicó en el apartado 3.3., estas aguas se clasificaron en los siguientes grupos:

- Aguas Subterráneas, aguas arriba ó aguas debajo de la instalación (AS_{arr} ó AS_{aba} , respectivamente), obtenidas a través de lisímetros.
- Aguas de las balsas nueva y/o vieja de acumulación de lixiviados en la instalación ($AB_{nuey/ó vie}$).
- Aguas de escorrentía superficial, aguas debajo de la instalación (AEs), obtenida con el muestreo del arroyo adyacente a la misma.

Estos datos han sido facilitados por la empresa de tratamiento de residuos. A continuación, se exponen los parámetros que fueron sido analizados y la técnica utilizada para su determinación (Tabla 56).

Tabla 56. Parámetros medidos, y métodos empleados para ello, en las muestras de agua del programa de vigilancia ambiental de la hidrología de la instalación y su entorno.

Parámetro	Técnica	Incertidumbre	Rango
Conductividad eléctrica in situ	Electrometría	-	70-30000 µS/cm a 25°C
pH en situ	Electrometría	-	2-12
Temperatura in situ	Análisis físico	-	5-50°C
Cloruros	Analiz Flujo Cont	± 18%	10-100000 mg/L
Fluoruros	Electrometría	± 14%	0,2-1000 mg/L
Nitratos (TON)	Analiz Flujo Cont	± 10%	10-100000 mg/L
Nitritos	Espect UV-VIS	± 17%	0,03-15 mg/L
Sulfatos	Gravimetría	± 28%	20-50000 mg/L
Amonio	Analiz Flujo Cont	± 13%	5-5000 mg/L
Arsénico Total	Espect ICP-MS	± 30%	2,5-20000 µg/L
Cadmio Total	Espect ICP-MS	± 30%	0,5-20000 µg/L
Cobre Total	Espect ICP-MS	± 30%	2,5-20000 µg/L
Cromo Total	Espect ICP-MS	± 30%	5-20000 µg/L
Hierro Total	Espect ICP-MS	± 30%	50-20000 µg/L
Mercurio Total	Espect ICP-MS	± 30%	1-20000 µg/L
Níquel Total	Espect ICP-MS	± 30%	5-20000 µg/L
Plomo	Espect ICP-MS	± 30%	2,5-20000 µg/L
Zinc Total	Espect ICP-MS	± 30%	50-20000 µg/L
Fósforo Total	Espect ICP-OES	± 13%	0,1-1000 mg/L
Nitrógeno Kjeldahl	Espect UV-VIS	± 13%	5-1000 mg/L
Aceites y grasas	Espect FTIR	± 11%	4-5000 mg/L
Carbono Orgánico Total (COT)	Combust IR	± 24%	1-3000 mg/L
Cianuro Total	Espect UV-VIS	± 12%	15-10000 µg/L
DBO ₅	Electrometría	± 24%	8-6000 mg/L O ₂
DQO	Volumetría	± 24%	30-5000 mg/L O ₂
Fenoles	Espect UV-VIS	± 17%	0,2-50 mg/L
Sólidos en suspensión	Gravimetría	± 7%	2-15000 mg/L
Sulfuro Total	Espect UV-VIS	± 23%	0,05-200 mg/L
Coliformes Fecales	Filtr en Membr	-	1-10.000.000 u.f.c./100 ml
Coliformes Totales	Filtr en Membr	-	1-1.000.000.000 u.f.c./100 ml

A estos parámetros, se le añade el "nivel piezométrico, en metros" para los diferentes piezómetros, los cuales fueron medidos *in situ*.

4.5.1 Agrupamiento de variables indicadoras

Este conjunto de parámetros analíticos disponibles, se agrupó en una serie de grupos de variables indicadoras, según su naturaleza y efectos potenciales sobre los ecosistemas receptores:

1. *Variables generales*, indicadoras del estatus y condición general del tipo de agua correspondiente (aguas subterráneas –piezómetros aguas arriba y aguas debajo de la instalación- y aguas superficiales embalsadas –balsas de lixiviados vieja y nueva- y de escorrentía –arroyo aguas debajo de la instalación-). Este grupo de variables incluye la temperatura, el pH y la conductividad eléctrica (CE) del agua, que se medían *in situ* en el momento de la toma de las muestras. Además, para el caso de las aguas subterráneas, se considera el nivel piezométrico (NP). No se cuenta con datos de variación temporal del volumen de lixiviados almacenados en las balsas. Por último, también se incluyen en este grupo los datos de concentración de sólidos en suspensión (SS).

2. *Nutrientes. Variables indicadoras de carga de nutrientes y eutrofia.* Este grupo incluye los datos de concentraciones de carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (NT; - Kjeldahl), amonio (NH_4^+), nitratos totales (NO_3^-), nitritos (NO_2^-) y de fósforo total (PT). Estas variables permiten evaluar el grado de enriquecimiento que muestra la hidrología de las aguas internas y externas de la instalación. Aunque el C, el N y el P son nutrientes esenciales para los organismos y el funcionamiento de los ecosistemas, un nivel excesivo de los mismos puede derivar en problemas ambientales de contaminación. En este caso, la “toxicidad” de estos compuestos, en cuanto que no tienen una naturaleza intrínsecamente tóxica, siendo además necesarios y procesados ordinariamente en los circuitos y flujos biogeoquímicos de los ecosistemas, deriva de un enriquecimiento excesivo del medio en los mismos. Tal enriquecimiento ocasiona el problema de eutrofización (Mindy, S. (2007)). Para referirse a este tipo de contaminación, diferenciándola de la producida por sustancias de netamente tóxicas, se suele emplear el término “enriquecimiento”. La eutrofización sobreviene cuando en el medio existe un exceso de disponibilidad de nutrientes esenciales, lo que altera los patrones de limitación por nutrientes de la producción primaria, que se incrementa, llegando a generarse desbalances entre ésta y la respiración/descomposición-producción secundaria (Smith, V.H. et al. (1999)). Como consecuencia, se produce la acumulación de materia orgánica sin descomponer, se originan condiciones de anoxia, las redes tróficas se alteran y simplifican, ocasionando una pérdida de biodiversidad en los ecosistemas (Margalef, R. (1998)).
3. *Otros iones y macro- y micro-nutrientes no biolimitantes.* Este grupo incluye los datos, en los distintos tipos de muestras de agua consideradas en el programa de vigilancia ambiental, de concentraciones de sulfato (SO_4^{2-}) y sulfuro (S^{2-}), cloruro (Cl^-) y fluoruro (F^-), e hierro (Fe). El elemento principal en todos ellos (S, F, Cl, Fe) no tiene, salvo raras excepciones, el carácter de elemento biolimitante en los ecosistemas. No obstante, estos compuestos tienen valor indicador de circunstancias que pueden representar riesgos ambientales. La comparación entre los valores de sulfatos y sulfuros dan idea sobre condiciones de óxido-reducción y la actividad de microorganismos oxidantes y reductores relacionados con el ciclo del azufre. Las concentraciones de hierro también se ven fuertemente afectadas por las condiciones de oxigenación, incrementándose los niveles de su forma reducida (Fe^{2+}) cuando en anaerobiosis se produce la reducción química o bacteriana de sales trivalentes que son más insolubles. Por su parte, los cloruros son indicadores de contaminación residual doméstica y pueden originar problemas de salinización de los suelos. Respecto al fluoruro, dada la escasa solubilidad de los minerales fluorados (fluorita, fluoroapatito, flogopita...) presentes en las rocas, las aguas naturales suelen presentar muy baja concentraciones de este parámetro, por lo que se presencia revela fuentes de contaminación antropogénica.
4. *Metales Pesados. Variables indicadoras contaminación y toxicidad metálica.* Este grupo de variables incluye los siguientes parámetros: arsénico total (As), cadmio total (Cd), cobre total (Cu), cromo total (Cr), mercurio total (Hg), níquel total (Ni), Plomo (Pb) y Zinc (Zn). Las actividades de depósito y reciclaje de residuos sólidos urbanos pueden ser fuentes de este tipo de contaminación, con efectos particularmente tóxicos y que muestran una elevada complejidad tanto por la variedad de especies químicas implicadas como por el amplísimo abanico de sus interacciones con el medio y las condiciones ambientales (Tchounwoy, P.B. et al. (2012)).

5. *Variables indicadoras de actividad redox y contaminación microbianas.* Este grupo incluye los parámetros coliformes fecales (Col_f) y coliformes totales (Col_t), y la demanda biológica de oxígeno (DBO_5). Se incluye también en este grupo la demanda química de oxígeno (DQO) que, aunque se trata de un parámetro de carácter químico, conviene evaluar junto con la DBO_5 , para obtener un cuadro conjunto de la demanda en el medio por un aceptor de electrones con elevada afinidad como el oxígeno, en reacciones de oxidación de la materia orgánica (y compuestos químicos reducidos) mediadas, bien por actividad microbiana (DBO_5), o inorgánicamente por sustancias químicas reductoras (DQO). Su comparación permite evaluar la contribución microbiana o puramente química al contexto de ambiente redox en la muestra, y diferenciar entre fuentes de contaminación con elevada carga orgánica (residuos urbanos, aguas residuales; $DBO_5/DQO > 0,5$) o de carácter industrial ($DBO_5/DQO < 0,2$) (Sawyer, C. et al. (2003)). Asimismo, estos parámetros DBO y DQO, podrían también haberse incluido en el grupo (2) en tanto que informan sobre el estado trófico del ecosistema. Los niveles de coliformes, y la relación fecales/totales es indicador asimismo de fuentes urbanas de contaminación y del grado de contribución a la misma de aguas fecales frente a otros posibles orígenes.
6. *Miscelánea. Otros contaminantes.* Finalmente, en este grupo a modo de “cajón de sastre” se incluyeron otras variables indicadoras de contaminación de diverso origen y naturales, incluyendo las concentraciones de aceites y grasas (AcG), cianuros totales (CN) y fenoles (Fen).

4.5.2. Variables independientes o fuentes de variación

Para evaluar el efecto que, sobre el quimismo de los distintos tipos de agua considerados en el programa de vigilancia ambiental, tienen factores endógenos y exógenos, se recopiló también información sobre dos tipos de variables independientes.

Por un lado, para emplear como *fuentes de variación endógena*, se recopilaron datos sobre la variación temporal en la cantidad de residuos sólidos urbanos que entran al proceso de compostaje. Para ello se empleó la información facilitada por la empresa adjudicataria de la gestión del vertedero respecto a (i) la cantidad total de residuos que entran al vertedero (Tabla 57), y (ii) la cantidad de restos metálicos que se retiran del residuo antes de su incorporación a las pilas de compostaje (Tabla 58). La diferencia mensual entre ambas cifras da una estimación de la cantidad mensual de “inputs” de residuos que se incorporan al proceso de compostaje (Tabla 59).

Tabla 57. Cantidad de residuos sólidos domésticos de ámbito municipal que entran a la planta de tratamiento en los años 2010 a 2014, en toneladas.

	2010	2011	2012	2013	2014
MES	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas
Enero	3.320,70	3.260,00	3.417,30	3.270,40	3.294,70
Febrero	3.396,15	3.184,30	3.099,60	2.808,40	3.204,70
Marzo	3.444,60	3.704,30	3.406,40	3.166,60	3.327,30
Abril	3.768,66	3.518,50	3.290,60	3.300,00	2.784,30
Mayo	3.648,23	4.378,70	3.729,20	3.412,20	3.331,13
Junio	3.217,50	3.543,90	2.875,30	2.813,60	3.059,29
Julio	3.227,31	3.129,50	3.051,90	2.863,70	3.076,08
Agosto	3.176,33	2.816,90	2.681,10	2.583,30	2.806,79
Septiembre	3.440,90	2.775,90	3.184,40	3.028,10	3.595,64
Octubre	3.715,02	3.520,80	3.041,40	3.089,10	3.406,48
Noviembre	3.238,02	3.008,29	3.236,60	3.063,70	3.358,59
Diciembre	3.729,86	3.419,70	3.115,97	3.070,30	3.266,40
TOTAL AÑO	41.323,28	40.260,79	38.129,77	36.469,40	38.511,40

Tabla 58. Cantidad y porcentaje de recuperación de elementos metálicos (ferrícos) con respecto a la cantidad total de residuos sólidos domésticos de ámbito municipal en el periodo 2010 a 2014, en toneladas.

	2010		2011		2012		2013		2014	
	FERRICO (t)	%	FERRICO (t)	%	FERRICO (t)	%	FERRICO (t)	%	FERRICO (t)	%
ENERO	62,20	1,9%	56,90	1,7%	57,46	1,7%	20,26	0,6%	52,63	1,6%
FEBRERO	52,60	1,5%	63,30	2,0%	46,26	1,5%	37,72	1,3%	35,82	1,1%
MARZO	64,20	1,9%	43,60	1,2%	38,84	1,1%	39,14	1,2%	25,56	0,8%
ABRIL	47,60	1,3%	50,52	1,4%	53,40	1,6%	51,88	1,6%	38,83	1,4%
MAYO	74,50	2,0%	81,82	1,9%	48,08	1,3%	41,00	1,2%	35,20	1,1%
JUNIO	60,50	1,9%	52,52	1,5%	42,26	1,5%	33,42	1,2%	27,02	0,9%
JULIO	65,40	2,0%	55,26	1,8%	44,32	1,5%	36,34	1,3%	33,02	1,1%
AGOSTO	46,80	1,5%	36,70	1,3%	17,02	0,6%	18,28	0,7%	25,30	0,9%
SEPTIEMBRE	70,50	2,0%	62,50	2,3%	51,92	1,6%	50,76	1,7%	45,64	1,3%
OCTUBRE	40,70	1,1%	29,48	0,8%	37,52	1,2%	24,29	0,8%	34,16	1,0%
NOVIEMBRE	45,70	1,4%	55,38	1,8%	55,62	1,7%	39,96	1,3%	12,81	0,4%
DICIEMBRE	56,80	1,5%	49,68	1,5%	30,44	1,0%	29,49	1,0%	23,44	0,7%
TOTAL DEL AÑO	687,50	1,7%	637,66	1,6%	523,14	1,4%	422,54	1,2%	389,43	1%

Tabla 59. Cantidad de residuos entrantes en el proceso de compostaje, registrados de forma mensual durante los años del estudio. Los datos se han calculado como la diferencia mensual entre los datos facilitados sobre cantidad total de residuos de entrada al vertedero, y los correspondientes de retirada de restos metálicos previa al compostaje. Cifras en toneladas.

	2010	2011	2012	2013	2014
MES	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas
Enero	3.258,50	3.203,10	3.359,84	3.250,14	3.242,07
Febrero	3.343,55	3.121,00	3.053,34	2.770,68	3.168,88
Marzo	3.380,40	3.660,70	3.367,56	3.127,46	3.301,74
Abril	3.721,06	3.467,98	3.237,20	3.248,12	2.745,47
Mayo	3.573,73	4.296,88	3.681,12	3.371,20	3.295,93
Junio	3.157,00	3.491,38	2.833,04	2.780,18	3.032,27
Julio	3.161,91	3.074,24	3.007,58	2.827,36	3.043,06
Agosto	3.129,53	2.780,20	2.664,08	2.565,02	2.781,49
Septiembre	3.370,40	2.713,40	3.132,48	2.977,34	3.550,00
Octubre	3.674,32	3.491,32	3.003,88	3.064,81	3.372,32
Noviembre	3.192,32	2.952,91	3.180,98	3.023,74	3.345,78
Diciembre	3.673,06	3.370,02	3.085,53	3.040,81	3.242,96
TOTAL AÑO	40.635,78	39.623,13	37.606,63	36.046,86	38.121,97

Así mismo, también para emplear estadísticamente como factor endógeno, se obtuvieron los registros de datos sobre la cantidad de lodos procedentes de estación depuradora de aguas residuales (EDAR), que se añadían periódicamente y se mezclaban con los residuos de las pilas de compostaje (Tabla 60). El proceso de adición y mezcla, y la periodicidad y otros detalles sobre dichos procedimientos, se han detallado en el apartado 1.1. A continuación, se exponen los registros al respecto facilitados por la empresa adjudicataria de la gestión del vertedero:

Tabla 60. Cantidad de lodos procedentes de EDAR (en toneladas) añadidos a las pilas de forma mensual durante el periodo estudiado.

	2010 (tn de lodo)	2011 (tn de lodo)	2012 (tn de lodo)	2013 (tn de lodo)	2014 (tn de lodo)
Enero	<i>26,1</i>	34,2	22,2	66,5	14,7
Febrero	<i>31</i>	4,8	63,6	37,7	2,9
Marzo	22	43,4	57,8	21	3,2
Abril	<i>36,7</i>	33,4	56	40,2	3,47
Mayo	<i>50,1</i>	35	45,6	44,3	23,2
Junio	<i>81,7</i>	18,7	57,2	43,6	64,68
Julio	<i>51,2</i>	26,1	79,4	45,9	38,74
Agosto	<i>40,2</i>	35,2	61,9	52,4	34,7
Septiembre	<i>26,6</i>	23,3	32,3	16,4	41
Octubre	<i>31,5</i>	29,9	16,8	23,7	46,88
Noviembre	<i>42,1</i>	19,2	51,7	12,4	50,96
Diciembre	<i>29,7</i>	18,3	13,7	21,2	
Total del año	468,9	321,5	558,2	425,3	324,43

Los datos en cursiva se corresponden con datos fuera del intervalo de tiempo considerado para la elaboración del presente trabajo.

Por otro lado, *como factores exógenos*, se tomaron datos climatológicos de la estación meteorológica de Jaén capital (Junta de Andalucía., estación de Jaén capital, altitud: 299 m; Latitud: 37° 53' 26" N - Longitud: 3° 46' 16" O), cercana al vertedero, y correspondientes al mismo periodo temporal que la serie de datos de quimismo de las aguas (noviembre 2010-noviembre 2014). Los datos originales, de periodicidad diaria, fueron promediados o escalados por periodos mensuales. Además, para escalar la información meteorológica al mismo grano y extensión que la información de quimismo hidrológico, partiendo de los datos diarios, se calcularon los valores para periodos trimestrales comprendidos entre cada fecha de muestreo de aguas y el día siguiente a la fecha del muestreo anterior. Se asume que la influencia climática sobre el quimismo de las aguas en la fecha t_i vendrá determinada por el valor medio, extremo o acumulado, según el caso, de las variables climáticas consideradas a lo largo de la ventana temporal $t_{i-1} \rightarrow t_i$. Las variables calculadas de éste modo fueron:

- Amplitud térmica diaria media del periodo trimestral (ATD_{med} , en °C).
- Amplitud térmica para el conjunto del periodo trimestral (ATT , en °C).
- Temperatura media del periodo trimestral (TT_{med} , en °C).
- Temperatura máxima del periodo trimestral (TT_{max} , en °C).
- Temperatura mínima del periodo trimestral (TT_{min} , en °C).
- Precipitación acumulada del periodo trimestral (PT_{acum} , en mm).
- Precipitación diaria máxima del periodo trimestral (PD_{max} , en mm).

- Días sin precipitaciones en el periodo trimestral (DSP, en nº de días).
- Días con precipitaciones en el periodo trimestral (DCP, en nº de días).
- Radiación solar acumulada del periodo trimestral (RST, en MJ/m²).
- Radiación diaria máxima del periodo trimestral (RSD_{max}, en MJ/m²).
- Humedad relativa diaria media del periodo trimestral (HRD_{med}, en %).
- Humedad relativa diaria mínima del periodo trimestral (HRDmin, en %).

4.5.3. Análisis gráfico y estadístico de los datos.

4.5.3.1. Análisis básico.

Al objeto de analizar las diferencias distribucionales entre los parámetros y grupos de variables consideradas, se emplearon gráficos de tipo “box-plot” o “Whisker”. Este tipo de representación permite visualizar conjuntamente y de modo sencillo descriptores estadísticos de los datos que indican tendencia central (media, mediana, moda), dispersión (desviación típica, percentiles), así como otros rasgos de su distribución (“existencia de “outliers”, grado de kurtosis y de asimetría ó “skewness”). Para visualizar las diferencias distribucionales entre los distintos (i) tipos de aguas,(ii) periodos trimestrales intra-anales y (iii) años de la serie temporal, para cada variable, los datos se agruparon en función de las citadas categorías, y se elaboraron las correspondientes graficas “box-plot”. Para ello se empleó el software SigmaPlot versión 10.0 (Systat Software Inc, UK).

Para obtener los patrones promediados para cada uno de los grupos de variables consideradas, y dado que las variables individuales están expresadas cada una en su escala particular, los datos correspondientes se sometieron al cálculo de medias geométricas. Para evaluar diferencias en el grado de variabilidad de los distintos parámetros o grupo de variable considerados, se calcularon coeficientes de variación.

Por último, para obtener el patrón de asociación/covariación entre las variables medidas se calcularon tablas de correlaciones (coeficiente de correlación de Spearman) múltiples.

4.5.3.2. Tests del efecto de las distintas fuentes de variación.

Al objeto de probar si el tipo de agua, la estación del año, o el año considerados tienen efectos sobre las variables medidas se empleó la técnica de Análisis de la Varianza-ANOVA (Sahai, H. et al. (2000); Sokal, R. et al. (2012)). El ANOVA es una colección de modelos estadísticos y sus procedimientos asociados, en el cual la varianza total que muestran las observaciones se divide en fracciones atribuibles al efecto de diferentes factores o variables explicativas. En nuestro caso, el diseño del muestreo de aguas no siguió un procedimiento “randomizado” respecto a la asignación de las unidades experimentales o sujetos de muestreo. Esto es así porque la posición de los lugares de toma periódica de los distintos tipos de muestras de agua fue invariable durante el intervalo temporal que abarca las distintas fechas de muestreo. Es decir, cada “sujeto” de muestreo (lisímetros, balsas, arroyo) fue monitorizado repetidamente. Por tanto, no se puede garantizar el principio de independencia entre las observaciones correspondientes a diferentes fechas para cada tipo de agua. Por este motivo se empleó el procedimiento de ANOVA de medidas repetidas, que es el recomendado para este tipo de casos. Para probar los efectos del tipo de agua y de la estación del año, estas categorías se

emplearon como factores “entre-grupos”, y los diferentes años como el componente de variabilidad “intra-grupos”. Para probar el efecto del año de muestreo, éste actuaba en el diseño del ANOVA como componente “entre-grupos”, y la estación del año como componente “intra-grupos”. Previamente se chequeó que se cumplían las condiciones de normalidad y de heterocedasticidad; en caso contrario, se procedió a la transformación de los datos.

4.5.3.3. Análisis multivariante.

Para evaluar si los distintos tipos de aguas considerados, o estaciones del año, mostraban un quimismo globalmente diferenciado se aplicó la técnica del análisis discriminante. Se trata de una técnica estadística multivariante cuya finalidad es describir (si existen) las diferencias significativas entre g grupos de objetos ($g > 1$) sobre los que se observan p variables (variables discriminantes). Más concretamente, se comparan y describen las medias de las p variables clasificadoras a través de los g grupos (Gauch, H.G. (1982)).

Por otro lado, para proceder a una ordenación global de la información y explorar si existen unos pocos gradientes de variación principales o combinaciones lineales entre los parámetros medidos que subyacen y explican mayoritariamente las posibles diferencias de quimismo entre los distintos tipos de aguas, estaciones del año y anualidades considerados, se aplicó la técnica del Análisis de Componentes Principales (ACP). Esta técnica es muy utilizada para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos, y facilitar una sumarización de la información (Hair J.F. et al. (2014)). Técnicamente, el ACP busca la proyección según la cual los datos queden mejor representados en términos de mínimos cuadrados. Para ello, el conjunto de observaciones originales de variables posiblemente correlacionadas se convierte en un conjunto de valores de variables compuestas (combinación lineal de las originales) sin correlación lineal y que se denominan “componentes principales”. El ACP se emplea sobre todo en análisis exploratorio de datos y para construir modelos predictivos. El ACP comporta el cálculo de la descomposición en autovalores de la matriz de covarianza, normalmente tras centrar los datos en la media de cada atributo. El ACP construye una transformación lineal que escoge un nuevo sistema de coordenadas para el conjunto original de datos en el cual la varianza de mayor tamaño del conjunto de datos es capturada en el primer eje (llamado el Primer Componente Principal), la segunda varianza más grande es el segundo eje, y así sucesivamente. Para construir esta transformación lineal debe construirse primero la matriz de covarianza o matriz de coeficientes de correlación. Debido a la simetría de esta matriz existe una base completa de vectores propios de la misma. La transformación que lleva de las antiguas coordenadas a las coordenadas de la nueva base es precisamente la transformación lineal necesaria para reducir la dimensionalidad de datos. Además las coordenadas en la nueva base dan la composición en factores subyacentes de los datos iniciales.

Por último, para explorar relaciones entre el quimismo de los distintos tipos de aguas y los factores internos (cantidad de residuos sólidos entrantes al sistema de compostaje) y externos (condiciones climáticas) considerados, se emplearon técnicas de regresión múltiple “step-forward” (Sokal, R. et al. (2012)).

Los análisis estadísticos se efectuaron empleando el software STATISTICA (StatSoft, versión 10.0 para Windows).

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

1. ESTUDIO DEL PROCESO DE COMPOSTAJE.

En este apartado, se procederá al estudio del proceso de compostaje, analizando diferentes parámetros físico-químicos, de las muestras obtenidas y registradas en el interior de las pilas de estudio, con respecto a su evolución temporal durante el proceso de compostaje y según la posición de toma de la muestra.

Para ello, en cada una de las tres pilas de estudio y en cada época, se registraron tres valores diferenciados espacialmente dentro de la pila, siguiendo la siguiente nomenclatura:

- Izquierda.
- Centro.
- Derecha.

Cada una de estas posiciones, presenta una serie de características que deben ser tomadas en cuenta a la hora de realizar alguna valoración. Concretamente, la posición que puede presentar mayores diferencias con respecto a sus otras dos homónimas, es la posición de la izquierda, puesto que esa zona se ubicaba justo al lado de un montículo de tierra. Esto es necesario mencionarlo porque no sufría la misma insolación que las otras posiciones, ya que durante varias horas al día, se encontraba en una zona sombría, mientras que las otras dos posiciones se hallaban a pleno Sol. La importancia de este hecho radica en la actividad metabólica de los microorganismos, que precisan de una cierta temperatura y humedad para realizar la degradación de los residuos. Al encontrarse dentro de una zona de sombra, se tiene una primera teoría que sería que en dicha zona, la actividad metabólica será más lenta, por lo que la degradación de la materia orgánica, también lo será.

Como datos suplementarios del proceso estudiado en la planta de compostaje, se cita que las pilas son regadas con agua de lixiviados (práctica que, en la actualidad, está desaconsejada como método de tratamiento de lixiviados) a partir de la cuarta o quinta semana desde el inicio del proceso de compostaje y la adición de lodos de depuradora.

1.1. Evolución de los valores de temperatura y humedad en las pilas de compostaje.

1.1.1. Temperatura.

Se comenzará con el estudio de la temperatura (Figuras 31-33):

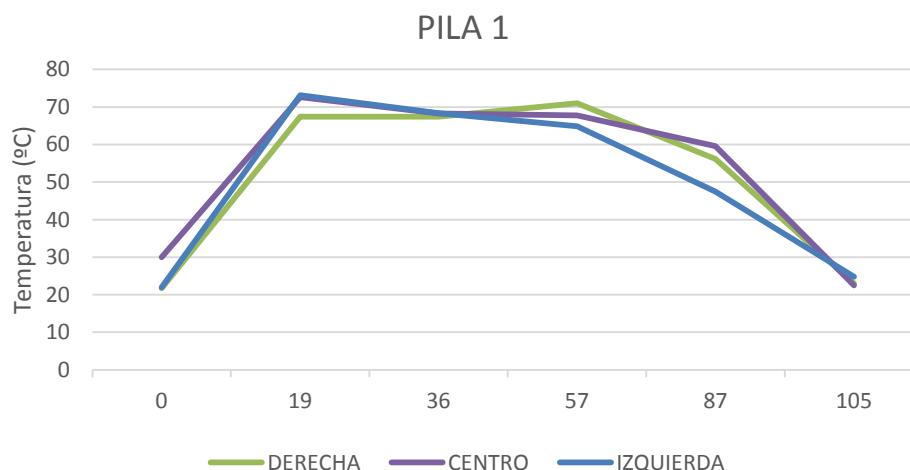


Figura 31. Evolución de la temperatura, en grados Celsius (°C), registrada en el interior de la pila 1, según la posición relativa espacial de la toma de muestra en la pila y su progreso temporal durante el proceso de compostaje.

En la pila 1, se puede apreciar que en el momento inicial del registro de las temperaturas, las zonas izquierda y derecha tenían la misma temperatura, mientras que la zona central tenía una temperatura un poco más elevada. A los 19 días desde el inicio del proceso de compostaje, la zona izquierda experimenta un mayor crecimiento en la temperatura registrada, siendo el valor más alto, en conjunto con la zona central. La zona derecha, tuvo el registro de temperaturas más bajo en este momento temporal durante el proceso de compostaje. A los 36 días desde el inicio del proceso, las tres zonas alcanzan el mismo valor, suponiendo un ligero descenso para las zonas central e izquierda y un aumento para la zona derecha. A los 57 días desde el inicio del proceso de compostaje, se observa que la zona izquierda mantiene la tendencia a disminuir su temperatura registrado en el estado temporal anterior y no cambiará hasta el final del proceso, siendo siempre desde este momento la temperatura más baja registrada. La zona derecha experimenta a los 57 días desde el inicio del proceso de compostaje una ligera subida, mientras que la zona central permanece prácticamente estable con respecto a los valores registrados en el periodo anterior. Desde este punto, las tres zonas experimentan una disminución en la temperatura registrada hasta el final del proceso de forma paulatina, teniendo la zona central y derecha unos valores prácticamente idénticos en todo momento.

De forma general, se aprecia que existen dos fases principalmente: una de crecimiento, siendo más duradera en cierta zona (la derecha, que prolonga su crecimiento hasta el día 57 desde el inicio del proceso de compostaje) y en otras es más corta (la izquierda y la central, que dura hasta el día 19 desde el inicio del proceso de compostaje). Desde el periodo indicado en cada zona, las tres zonas experimentan una disminución progresiva en la temperatura de la pila.

Hay que destacar que, de forma inicial, los extremos de la pila tienen una temperatura inferior a la central, pese a que al final del proceso, la temperatura en toda la pila es prácticamente homogénea. Esto puede deberse a la acción de los microorganismos descomponedores, que actúan, primariamente, en las zonas con mayor concentración de material biodegradable. Así mismo, la bajada tan pronunciada experimentada por la zona izquierda puede deberse a la presencia de material orgánico más fácil de biodegradar (Marmolejo, L.F. et al. (2010)) o a una temperatura ambiental inadecuada para la plena actividad de los microorganismos (se recuerda que la zona izquierda permanece en sombra durante varias horas al día, por lo que su

temperatura ambiental es relativamente más baja con respecto a las otras dos zonas de muestreo).

Se procede ahora a evaluar la pila 2 (Figura 32).

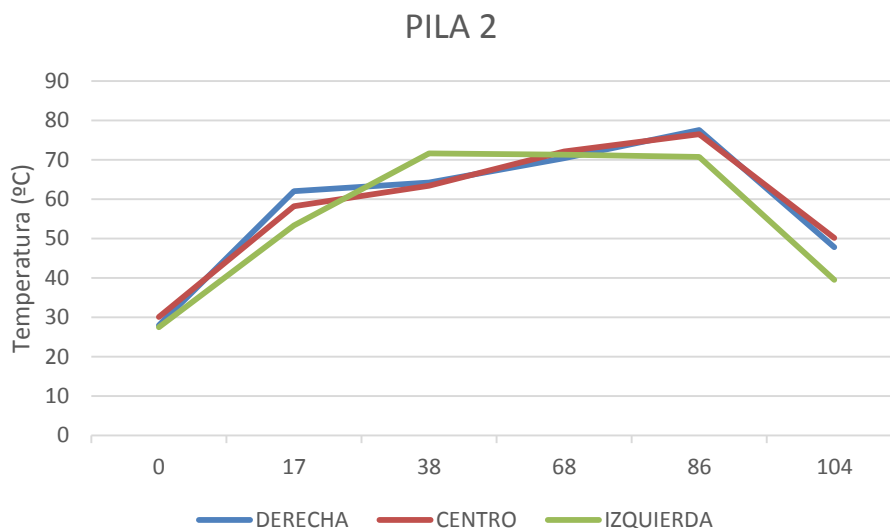


Figura 32. Evolución de la temperatura, en grados Celsius (°C), registrada en el interior de la pila 2, según la posición relativa espacial de la toma de muestra en la pila y su progreso temporal durante el proceso de compostaje.

A diferencia de la pila 1 (Figura 31), la pila 2 presenta una evolución con diferenciaciones entre periodos más notorias. El proceso se inicia con una temperatura similar para las tres zonas, y se inicia un rápido aumento de temperatura que, al menos hasta la zona izquierda muestreada, dura hasta el día 38 desde el inicio del proceso de compostaje, donde desde ese momento tiene una tendencia a estabilizar dicha temperatura para, posteriormente, experimentar una caída en las temperaturas en el día 86 desde el inicio del proceso de compostaje. En dicho periodo temporal, el resto de zonas experimentan un comportamiento similar, sin embargo, a diferencia de la zona izquierda, hasta el día 86 desde el inicio del proceso de compostaje, hay un incremento progresivo de la temperatura.

Comparando los valores entre las diferentes zonas, se aprecia que la zona izquierda es la que experimenta más rápidamente un incremento de temperatura, alcanzando su pico a los 38 días desde el inicio del proceso, seguido de una fase de estabilidad y, por último, una caída en las temperaturas a partir del día 86 desde el inicio del proceso de compostaje. Estos hechos hacen que, salvo por el pico mencionado, la zona izquierda registre las temperaturas más bajas de toda la serie. En cuanto a las zonas derecha y central, salvo un pequeño incremento de la zona derecha a los 17 días desde el inicio del proceso de compostaje, se mantienen prácticamente parejas.

Al igual que la pila 1 (Figura 31), la zona izquierda experimenta una ganancia y pérdida más rápidas que las otras zonas de muestreo, por lo que puede, inicialmente, se puede suponer que debido a la situación de la zona de muestreo, tiene un inicio térmico más bajo. Hay que destacar que, a diferencia de la pila 1 (Figura 31), los resultados obtenidos en la pila 2 (Figura 32) muestran una pila más rica en materia orgánica o que esta es más difícil de descomponer, puesto que el incremento de temperaturas en las zonas central y derecha es progresivo hasta

el día 86 desde el inicio del proceso de compostaje, experimentando una bajada en ese momento, pudiéndose relacionar este hecho con el agotamiento de la materia biodegradable por los microorganismos (Marmolejo, L.F. et al. (2010)).

Por último, para cerrar este apartado, se muestran los datos recogidos de la pila 3 (Figura 33).

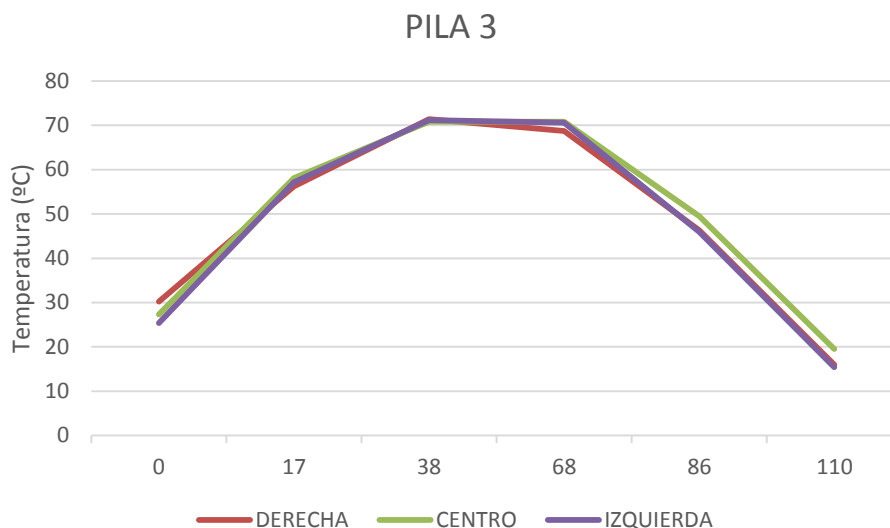


Figura 33. Evolución de la temperatura, en grados Celsius (°C), registrada en el interior de la pila 3, según la posición relativa espacial de la toma de muestra en la pila y su progreso temporal durante el proceso de compostaje.

En la pila 3, por lo observado en la Figura 33, hay una ligera diferenciación en las temperaturas en el primer momento de muestreo, teniendo la muestra tomada en la parte derecha de la pila una temperatura ligeramente superior a las otras dos posiciones, dejando como la posición más fría la tomada en su parte izquierda; y al final de la evolución del proceso de compostaje (día 110), donde la zona central tiene una temperatura más elevada que las otras dos posiciones, que tienen un valor prácticamente igual. Al igual que sucedía con las otras pilas muestreadas, se observa un patrón de crecimiento (desde el momento inicial del proceso de compostaje hasta el día 38); sin embargo, en esta pila se detecta que, a excepción de la muestra tomada en la parte derecha (cuya temperatura comienza a descender), hay una fase de estabilización de la temperatura, que comprende el periodo 38 a 68 días desde el inicio del proceso de compostaje. Tras esta fase, todos los registros indican una disminución de la temperatura hasta el final del proceso de compostaje (día 110).

De forma general, las tres pilas siguen una evolución temporal, con respecto a su temperatura, conforme a lo esperado. Si bien el tiempo del proceso de compostaje es algo más largo que el expuesto por Kumar, S. (2011), puede deberse a la adición mencionada anteriormente de lodos de depuradora o al riego con lixiviados. Así mismo, se destaca que todas las pilas alcanzaron temperaturas que superaron los 55°C, con lo que, según Kumar, S. (2011) se asegura una adecuada higienización del compost.

1.1.2. Humedad.

Tras analizar la temperatura de cada pila, se procede ahora a evaluar la humedad registrada en las pilas durante los muestreos (Figuras 34 a 36).

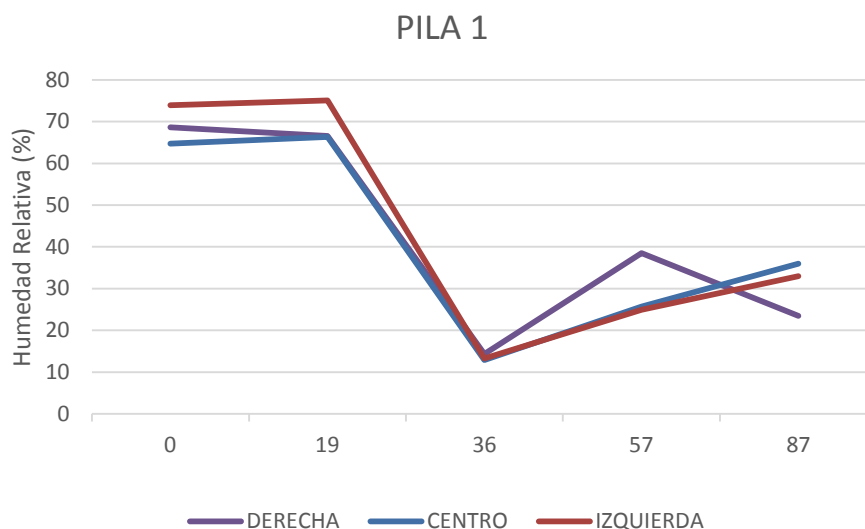


Figura 34. Evolución de la humedad, en porcentaje (%), registrada en el interior de la pila 1, según la posición relativa espacial de la toma de muestra en la pila y su progreso temporal durante el proceso de compostaje.

Como se puede apreciar en esta Figura 34, la humedad más alta registrada en el momento inicial del muestreo y del proceso de compostaje, se corresponde con la zona izquierda, seguida de la zona derecha y, por último, la zona central. A los 19 días desde el inicio del proceso de compostaje, cada zona experimenta un cambio diferente: la zona izquierda aumenta ligeramente sus valores, al igual que sucede con la zona central, sin embargo, la zona derecha de muestreo experimenta una disminución del porcentaje de humedad. A los 36 días desde el inicio del muestreo, se registraron una disminución bastante elevada de la humedad, dejando los valores de cada zona de muestreo prácticamente iguales (sobre un 15%). Tras este periodo de muestreo, se observa un aumento generalizado de la humedad de las tres zonas, salvo la central que, a los 87 días desde el inicio del proceso de compostaje, experimenta una disminución del porcentaje. Al final del proceso, la zona con mayor humedad en la pila fue el lado derecho, seguido del lado izquierdo y, finalmente, la zona central. Esta evolución de la humedad de la pila puede explicarse con el dato facilitado al inicio del presente capítulo, donde la empresa encargada de realizar el proceso de compostaje, regaba las pilas a partir de la cuarta o quinta semana desde el inicio del proceso de compostaje.

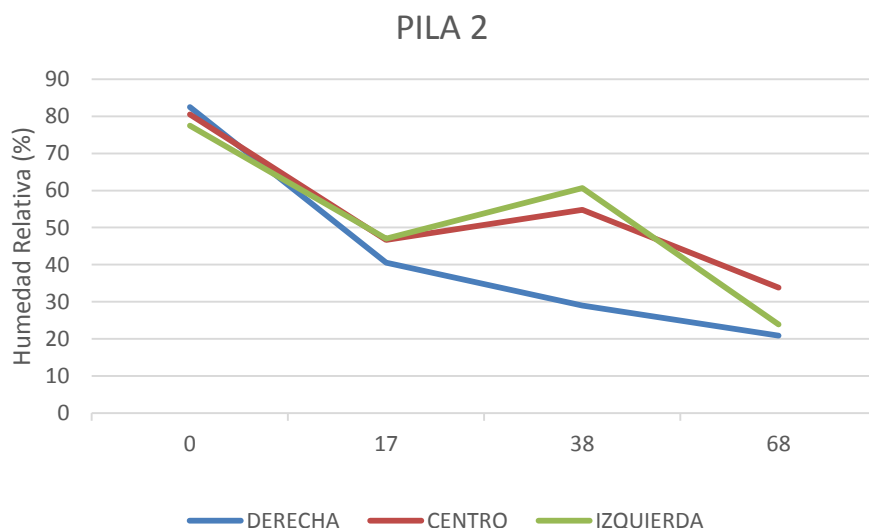


Figura 35. Evolución de la humedad, en porcentaje (%), registrada en el interior de la pila 2, según la posición relativa espacial de la toma de muestra en la pila y su progreso temporal durante el proceso de compostaje.

En la pila 2 (Figura 35), la zona derecha tiene una pérdida continua y progresiva de humedad con respecto a su momento inicial. En cambio, las zonas izquierda y central experimentan un aumento de humedad en el periodo comprendido entre los 17 y 38 días desde el inicio del proceso de compostaje, para volver a disminuir en el periodo posterior. Se hace notar que, al igual que en la pila 1 (Figura 34), las zonas izquierda y derecha tienen menos porcentaje de humedad que la zona central al final del proceso.

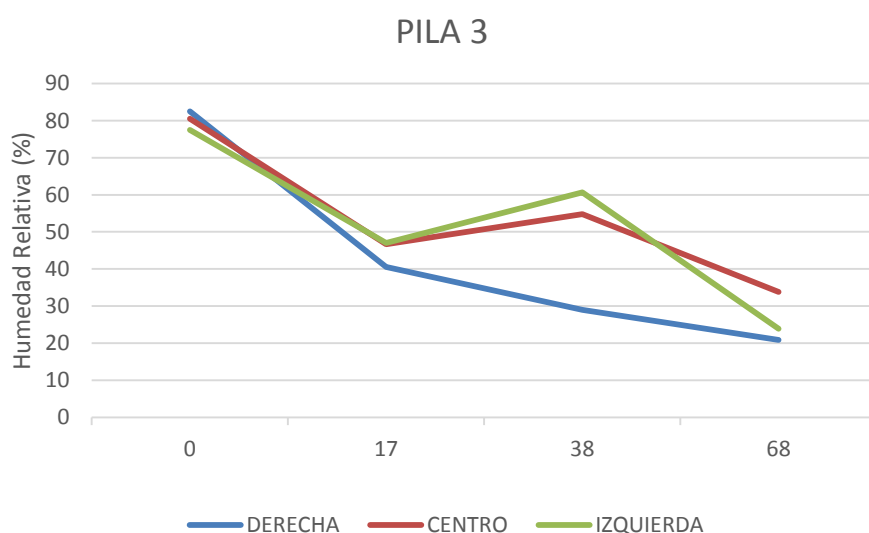


Figura 36. Evolución de la humedad, en porcentaje (%), registrada en el interior de la pila 2, según la posición relativa espacial de la toma de muestra en la pila y su progreso temporal durante el proceso de compostaje.

La pila 3 (Figura 36) sigue exactamente el mismo patrón que el comentado en la pila 2 (Figura 35).

Como se puede comprobar, si exceptuamos los valores iniciales de la toma de muestra, todo el proceso se encuentra entre el 70 y el 25%. Tal como indica Kumar, S. (2011), por debajo del 25% de humedad, se inhibiría la actividad metabólica de los microorganismos y, por encima del 70%, produciría problemas con la aireación de las pilas.

1.2. Caracterización físico-química: conductividad eléctrica, pH y relación C/N.

En este apartado, además del estudio de la evolución de los diferentes parámetros propuestos en el epígrafe, se estudiará de una forma más pormenorizada la evolución estacional de las pilas muestreadas. Para ello, se establece la siguiente clasificación:

- Época 1: correspondiente a una estación de verano.
- Época 2: correspondiente a una estación de invierno.
- Época 3: correspondiente a una estación de primavera.

Hay que destacar también que en esta evolución estacional, el proceso de compostaje de la época 1 dura 105 días, mientras que para la época 2 es de 87 días y, para la época 3, 57 días. Esto se debe a factores extrínsecos-técnicos que dificultaron el seguimiento al completo del mismo, por lo que se procedió directamente a la toma del afino con la falta de alguna etapa sin controlar.

1.2.1. Conductividad eléctrica (CE).

Se comienza mostrando los datos registrados de conductividad eléctrica con respecto a la evolución temporal de las pilas (Figura 37).

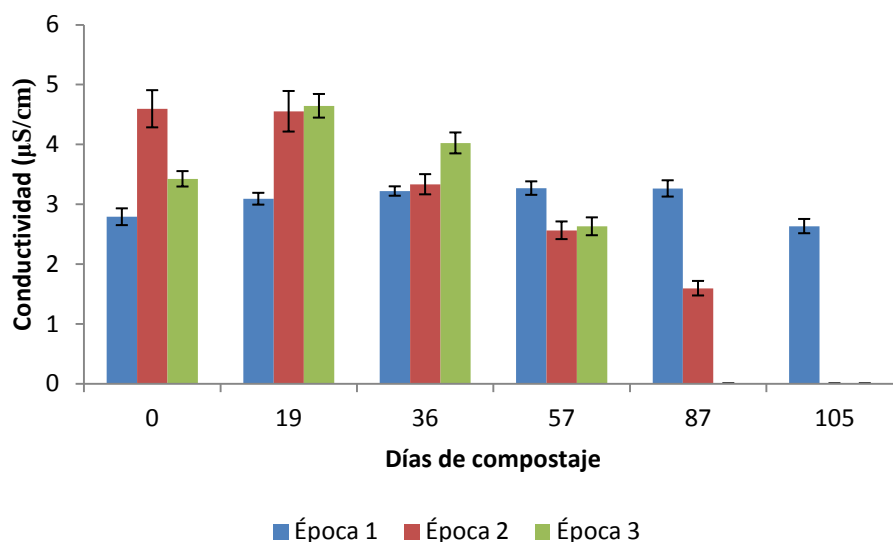


Figura 37. Evolución de la conductividad eléctrica en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.

Como se puede apreciar en la Figura 37, durante la toma de la primera muestra del proceso, la conductividad de la época 2 es más elevada que la de la época 3, y esta última es superior a la de la época 1. Esta situación cambia a los 19 días desde el inicio del proceso de compostaje, siendo la época 3 la que más conductividad eléctrica muestra, experimentando, con ello, un aumento apreciable desde la primera muestra. Los valores de las otras épocas, prácticamente, permanecen constantes. A partir de los 36 días desde el inicio del proceso de compostaje, las tres épocas muestran una clara reducción en la conductividad eléctrica, siendo más acusada en la época 2. Sin embargo, la citada reducción no provoca cambios a la hora de establecer un orden en esta época. A los 57 días desde el inicio del proceso de compostaje, la época 1 aumenta un poco su conductividad, haciendo que en este periodo sea la época con más conductividad, seguida de la época 3 y finalmente, la 2, aunque los valores del parámetro son prácticamente iguales. Hay que destacar que en las épocas 2 y 3 hay una reducción sustanciosa en su conductividad. A los 87 días desde el inicio del proceso de compostaje, se aprecia que la época 2 continua con su tendencia a reducir la conductividad eléctrica, mientras que en la época 1 se mantiene constante. Finalmente, a los 105 días desde el inicio del proceso de compostaje, hay una reducción de la conductividad en la época 1.

Como observaciones generales, se puede comprobar cómo la conductividad eléctrica va disminuyendo conforme va evolucionando el proceso de compostaje. Esto se produce debido a la pérdida de sales a través de las precipitaciones propias de la época (por ello, las variaciones en la época 1 (verano) no son tan grandes como en las otras dos épocas, que son más lluviosas), los regados de las pilas y la formación de lixiviados.

A continuación, se muestra en la Figura 38, los datos correspondientes a la evolución de la conductividad eléctrica según la posición espacial de toma de muestras.

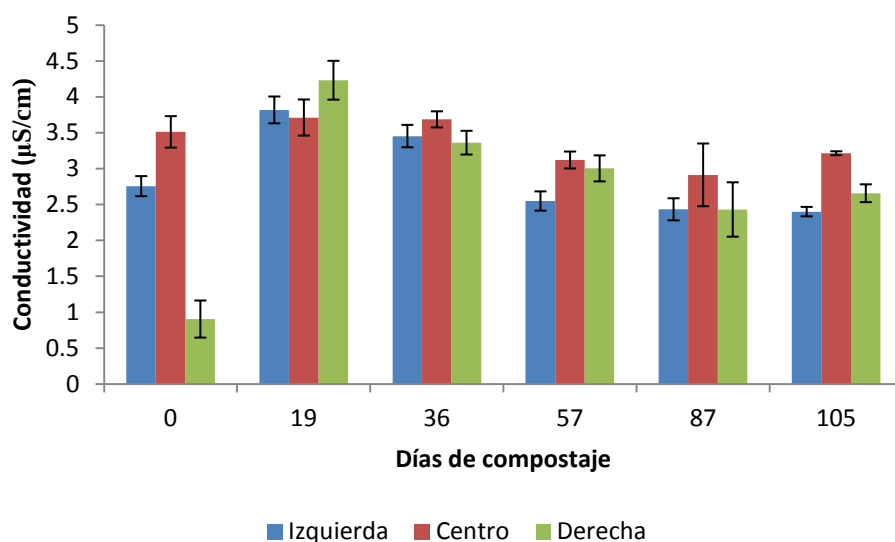


Figura 38. Conductividad eléctrica según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.

En el momento inicial del proceso de compostaje, se puede apreciar en la Figura 38 que la conductividad eléctrica era mayor en la zona central, seguida de la zona izquierda y, por último, la zona derecha. A los 19 días después del inicio del proceso de compostaje, se aprecia un aumento en la conductividad en todas las zonas, sin embargo, la que presenta un mayor aumento es la zona derecha. De tal forma que, en este momento del proceso de compostaje, la zona derecha presenta una conductividad eléctrica superior a la zona izquierda, que a su vez es superior a la zona izquierda. Esta situación cambia a los 36 días desde el muestreo inicial,

puesto que la zona central mantiene sus valores constantes, pero las zonas derecha e izquierda disminuyen, al punto de ser prácticamente iguales entre ellas, pero inferiores a la conductividad de la zona central. A los 57 días desde el inicio del proceso de compostaje, continua la tendencia a disminuir la concentración, pero sobre todo en la zona izquierda. De esta forma, hasta el final del proceso de compostaje, la zona izquierda es la que presenta los valores más bajos, seguida de la zona derecha y, finalmente, la zona central.

Esta situación puede deberse al lavado progresivo de sales durante el proceso de compostaje, ya sea debido a la climatología, al riego de las pilas o la formación de lixiviados durante el proceso. Si se debiera al riego por lixiviados, cabría preguntarse si una vez que se riega la pila con dicha sustancia, no se vería aumentada la cantidad de sales y, por tanto, la conductividad eléctrica. Como se puede comprobar en la Figura 38, esto no sucede, por lo que puede deberse al segundo componente que forma parte de la medición de la conductividad eléctrica, el cual es la cantidad de sólidos disueltos. Este componente, es arrastrado por los lixiviados hasta la balsa, donde permanecen almacenados durante un cierto tiempo. En este intervalo de tiempo, los sólidos disueltos en los lixiviados se depositan en el fondo de la balsa. Por ende, cuando se utilizan los lixiviados para el riego, estos ya no contienen la gran mayoría de los sólidos disueltos, por lo que no aumentan la conductividad eléctrica y si la disminuyen por el lado de las sales y los sólidos disueltos en los lixiviados de la pila.

1.2.2. pH.

Como en el apartado anterior, se comenzará estudiando la evolución del pH a través del proceso de compostaje en relación a cada época muestreada (Figura 39).

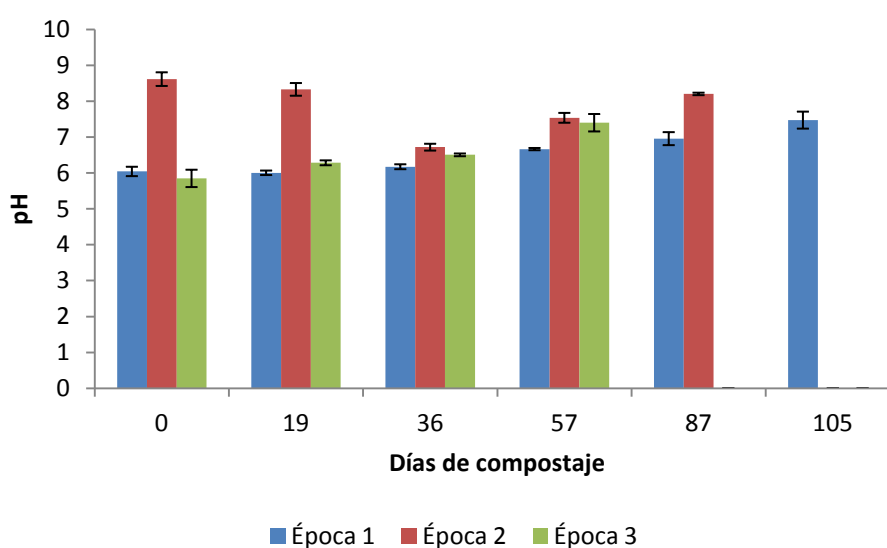


Figura 39. Evolución del pH en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.

En la Figura 39, la época 2 es la que presenta los valores más altos de pH al inicio del proceso de compostaje (entorno al 8,5). Tiene, por tanto, un carácter básico o alcalino, mientras que los valores de las otras dos épocas son más ácidos (entorno a 6). Dicha situación se mantiene hasta los 36 días desde el inicio del proceso de compostaje, donde el nivel de pH en la época 2 desciende a valores más neutros (aunque continua siendo el valor más elevado con respecto a

las otras épocas). En el siguiente momento de muestreo (57 días desde el inicio del proceso de compostaje), se observa que los valores de las tres épocas aumentan ligeramente. Esta tendencia se mantiene hasta el final del proceso de compostaje, estableciendo un valor medio de pH de las tres épocas entre el 7 y 8, que concuerda con lo establecido por el autor Proietti, P. et al. (2016), que establece unos valores de pH del compost para que sea idóneo entre 6,5 y 8.

Se puede entender que al inicio de la época 2, el pH sea más alcalino, debido fundamentalmente al consumo de mariscos y pescados, los cuales tienen un pH básico. En las otras dos épocas, el consumo de frutas y verduras, que poseen un pH más ácido, puede justificar la diferencia con respecto a la época 2.

Por los valores finales de pH, pese a estar en una situación normalizada, habría que estudiar los valores de nitrógeno al final del proceso de compostaje, ya que unos valores básicos de pH y una elevada temperatura, puede suponer la pérdida de nitrógeno en forma de amonio gaseoso.

A continuación, se exponen los datos registrados de pH según el factor posicional de la toma de la muestra (Figura 40):

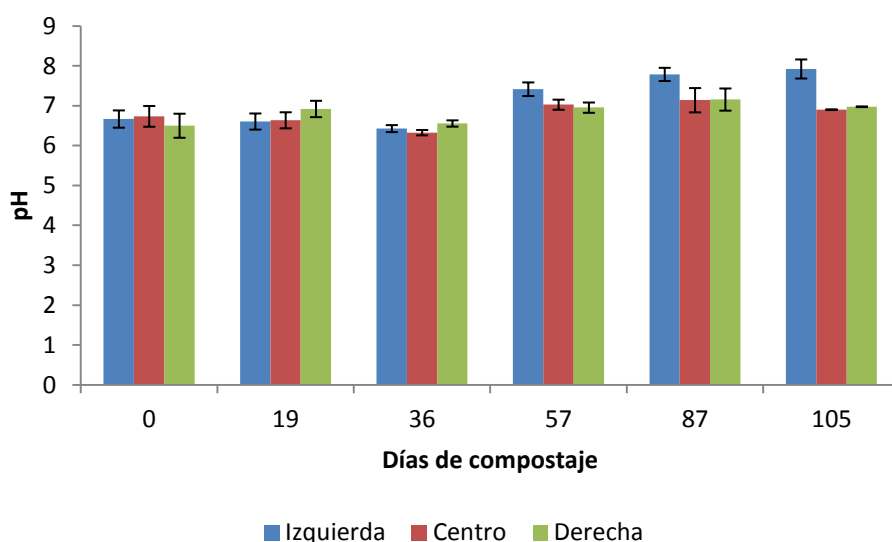


Figura 40. pH según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.

Como se puede comprobar, los valores de los tres puntos de muestreo son prácticamente idénticos. Sin embargo, a partir de los 57 desde el inicio del proceso, la zona izquierda tiende a aumentar su valor de pH, llevando esta situación a que obtenga un valor final superior a 7 al final del proceso. Las otras dos posiciones, aunque también aumentan su valor de pH, se mantienen siempre por debajo de 7.

1.2.3. Relación C/N.

Para finalizar este subcapítulo, se exponen a continuación los datos registrados de la evolución de la relación C/N con respecto a sus fases estacionales (Figura 41).

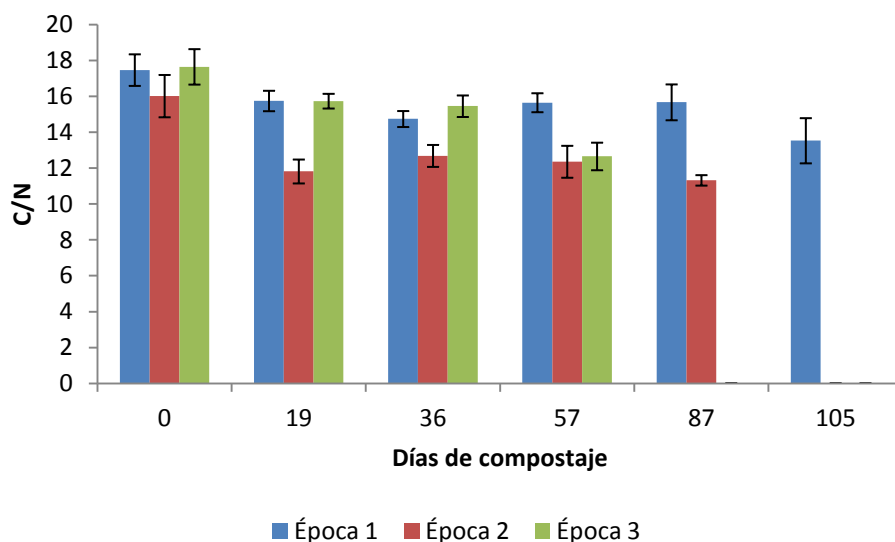


Figura 41. Evolución de la relación C/N en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.

La época 1 tiene mayor relación de C/N en toda la serie, seguida por la época 3 y por último la época 2. Esto tiene su explicación en que durante la época 1 nos encontramos en pleno verano, con lo que se ha aumentado el consumo de productos frescos como las frutas. Precisamente las frutas son las que mayor relación C/N tienen según las fuentes consultadas (página web ambientum), por lo que sus residuos, transformados en compost, mantienen dicha relación. Durante el invierno (época 2) el consumo de dichos productos frescos se reduce, por lo que se podría justificar que sus valores sean los más bajos de los datos registrados. Finalmente, en la época 3 (primavera), hay un aumento de este parámetro debido a los residuos de poda y restos vegetales. Se aprecia que la relación C/N, en la época 1, va disminuyendo de forma general, salvo un repunte a los 57 días desde el inicio del proceso de compostaje. Lo mismo sucede con la época 2, salvo que el crecimiento se manifiesta a los 36 días después del inicio del proceso de compostaje. En la época 3, sin embargo, solo se registra una disminución paulatina de la relación C/N durante toda la temporalidad de la serie. De forma general, se observa que la relación C/N va descendiendo a medida que transcurre el tiempo de compostaje. Esto se debe a la reducción del carbono a través de la bioreducción (Khalid, M. et al. (2010)). Sin embargo, hay que destacar que los repuntes que se observan en la línea temporal (como laproducida en la época 2 a los 36 días del inicio del proceso de compostaje), se puede deber, a los riegos con aguas de lixiviados (suponiendo un aporte de carbono o un lavado de nitrógeno) o la adicción de los lodos de depuradora.

Según varios autores, como Marmolejo, L.F. et al. (2010) y Proietti, P. et al. (2016), la relación ideal de C/N debería estar entre 26 y 35. Sin embargo, en este caso concreto, la relación C/N permanece por debajo de 20, situación que, según Marmolejo, L.F. et al. (2010), puede producir que el amonio formado durante el compostaje pase, por oxidación, a nitrito y, posteriormente, a nitrato. El nitrato es un compuesto sumamente lábil, por lo que puede producir un descenso de la concentración de nitrógeno en la muestra. Sin embargo, este proceso solo sucede con temperaturas inferiores a los 40°C, por lo que este factor queda descartado. Como posible causa a estas variaciones, puede deberse a una evaporación del amoniaco y del amonio, debido a las altas temperaturas que se generan en las pilas. Si fuera este el motivo, el estudio realizado por Jeong, Y. et al. (2001), consistente en la disminución de estas pérdidas de nitrógeno por la adicción de sustratos absorbentes tales como turba, zeolita y basalto, así como algunas sales inorgánicas para reducir el valor del pH (ya que a valores

superiores a 7, provocan la evaporación del amoníaco) o bien provocar la precipitación del amonio en forma de estruvita ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).



Figura 42. Muestra de residuos recogida durante la época 1.

A continuación, se expone la Figura 43 para el estudio de la relación C/N con respecto al lugar de la toma de la muestra.

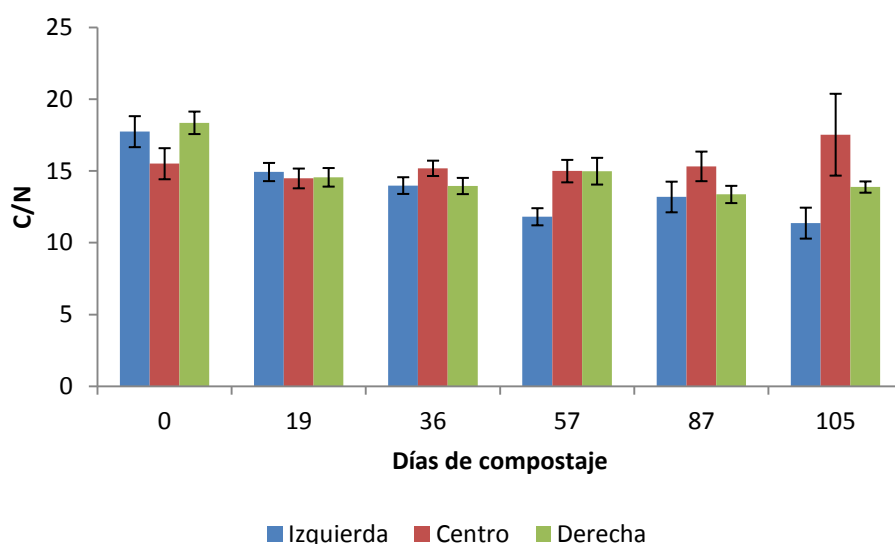


Figura 43. Relación C/N según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.

Como se puede apreciar, en la zona izquierda se comienza con valores entorno a 17, disminuyendo de forma progresiva hasta los 57 días desde el inicio del proceso de compostaje. En el periodo de muestreo posterior, se aprecia un aumento del valor de la relación C/N, para volver a disminuir al final del proceso de compostaje, siendo la zona más pobre en este parámetro. En la zona central, salvo en la última muestra registrada, donde se registra un aumento, la relación C/N se mantiene más o menos constante a lo largo de todo el proceso de compostaje, de tal forma que, aunque inicialmente fuera la zona con menor valor registrado, acabara la serie siendo la zona con mayor relación C/N registrada. Con respecto a la zona derecha, comienza con unos valores similares a los de la zona izquierda. Al igual que la zona izquierda, experimenta una disminución de la relación C/N durante el segundo periodo de muestreo, manteniéndose constante hasta los 36 días desde el inicio del proceso de compostaje. En el siguiente periodo de muestreo, se aprecia un aumento en la relación C/N,

volviendo a disminuir a los 87 días desde el inicio del proceso de compostaje, manteniéndose constante hasta el final del proceso.

Para justificar la variación de la relación C/N, esta se debe a la mayor o menor degradación de la materia orgánica, directamente influenciada por las condiciones de temperatura y humedad. Como se ha podido apreciar, los valores de la relación C/N son más variables en la zona izquierda que en las otras dos zonas (a excepción del pico registrado a los 105 días desde el inicio del proceso de compostaje de la zona central).

2. ANALISIS QUÍMICO DE LA FORMACIÓN DEL COMPOST

En este segundo apartado, al igual que en el primero, se estudiará la evolución a lo largo del proceso de compostaje de diferentes parámetros, recogidos en grupos generales como es el análisis elemental y los análisis semicuantitativos-cuantitativos, enfocados en las tres épocas estacionales del proceso de muestreo y la diferenciación espacial/posicional entre muestras, tal y como se describió con anterioridad.

2.1. Análisis elemental.

2.1.1. Nitrógeno (N).

A continuación, se exponen los datos de nitrógeno total (N) obtenido del análisis de las diferentes muestras, en relación con la estación de donde se obtuvo la muestra (Figura 44).

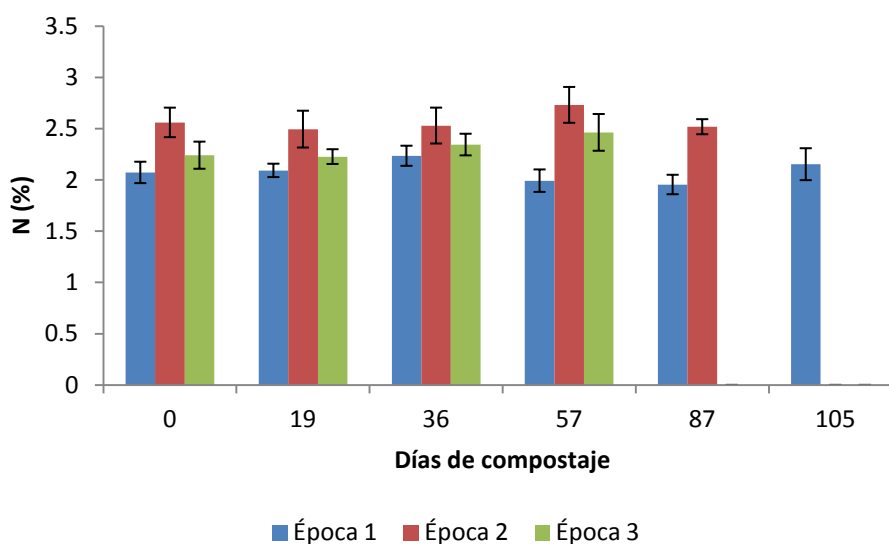


Figura 44. Evolución del porcentaje de N en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.

Como se puede apreciar, el porcentaje de N en la época 1, en el inicio del muestreo, es el más bajo, comparándolo con las otras dos épocas. El valor más alto en este momento inicial, se corresponde con la época 2. Durante el segundo muestreo (a los 19 días desde el inicio del

proceso de compostaje) se observa que los valores se mantienen prácticamente iguales, aunque se aprecia un ligero aumento en la época 1 y un descenso en las otras dos épocas. A los 36 días desde el inicio del proceso, hay un ligero aumento en las tres épocas. Sin embargo, a los 57 días, hay un descenso del porcentaje de N en la época 1, mientras que se mantiene el crecimiento en las otras dos épocas. A los 87 días, tanto la época 1 como la 2 experimentan una disminución del porcentaje de N. Al final del proceso de la época 1, se aprecia que el porcentaje de N vuelve a aumentar.

Como se apuntó en el apartado de la relación C/N (Figura 41), si unimos las altas temperaturas, un valor de pH por encima de 7 y una relación C/N por debajo de 20 (Marmolejo, L.F. et al. (2010)), podemos establecer que la causa probable de la pérdida de N durante el proceso de compostaje se deba a la evaporación del amoníaco.

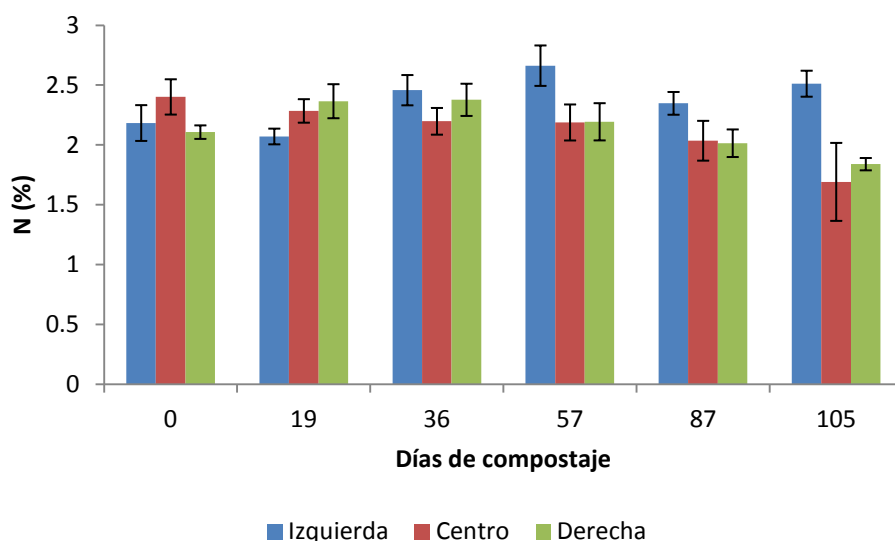


Figura 45. Porcentaje de N según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.

A nivel posicional (Figura 45), las muestras iniciales indican que la zona central tiene los valores más altos de porcentaje de N, seguido de la zona izquierda y, por último, la zona derecha. Durante el segundo muestreo, las zonas izquierda y central experimentan un ligero descenso con respecto a sus valores iniciales, mientras que en la zona derecha, aumentan. A los 36 días desde el inicio del proceso de compostaje, la zona central vuelve a disminuir sus valores, mientras que la zona izquierda experimenta un aumento, manteniéndose en unos valores muy similares a los de la zona derecha. A los 57 días desde el inicio del proceso de compostaje, la zona izquierda vuelve a aumentar su porcentaje de N, mientras que la zona central permanece en valores muy similares a los del periodo anterior. Sin embargo, en este periodo, la zona derecha disminuye su porcentaje de N. Desde este punto, hasta el final del proceso de compostaje, todas las zonas experimentan descensos en sus porcentajes de N, salvo la zona izquierda que, al final del proceso, aumenta nuevamente sus valores.

En base a lo citado anteriormente con respecto a la evolución estacional, se podría establecer que la variabilidad del porcentaje del N durante el proceso de compostaje se debe, probablemente, a la pérdida de N por la evaporación de este. Con respecto a la variación posicional, la causa más probable sea la diferencia entre los valores de temperatura y pH de las diferentes zonas de muestreo. Se recuerda que en la zona izquierda, los valores de temperatura fueron más bajos que los obtenidos en las zonas central y derecha, así mismo, mostraba un pH más alcalino que en las otras dos zonas consideradas.

2.1.2. Carbono (C)

A continuación, se muestra los resultados de la otra parte que afecta directamente al parámetro de la relación C/N, el porcentaje de carbono.

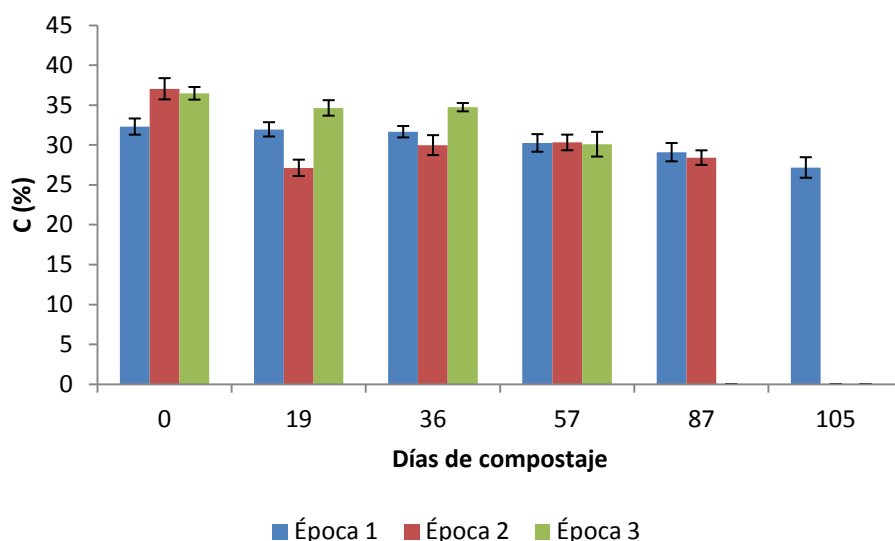


Figura 46. Evolución del porcentaje de C en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.

Observando la gráfica del carbono(C) (Figura 46), se constata que, en la época 1, la disminución del porcentaje de C es constante a lo largo de toda la serie temporal, sin registrarse ningún aumento. Sin embargo, en la época 2, pese a que muestra un mismo comportamiento de disminución progresiva del porcentaje de C, si se registra un aumento a los 36 días de haberse iniciado el proceso de compostaje. Así mismo, en la época 3, se registra un aumento puntual del porcentaje de C a los 36 días de haberse iniciado el proceso de compostaje. Sin embargo, es un hecho que la relación C/N aumentó en un periodo de tiempo concreto de la época 1. Si se toma el hecho de que también hubo aumento de C en algunos periodos, no coincidentes con el aumento de la relación C/N, y sin embargo, se siguieron detectando disminuciones en ese momento temporal, es evidente que la concentración de N (Figura 44) debió de disminuir en los momentos temporales en las que la relación de C/N aumentó y mantenerse estable o aumentar en los momentos que el porcentaje de C aumentó, para mantener la relación C/N como la mostrada en la Figura 41. Acudiendo a la Figura 44, se comprueba que el porcentaje de N en la época 1, va aumentando hasta los 57 días desde el inicio del proceso de compostaje, momento en el que experimenta una disminución, antes de volver a comenzar a crecer de nuevo. De forma análoga, se registra en la época 2 una disminución a los 19 días de haberse iniciado el proceso de compostaje. En el mismo periodo de tiempo, se registra una disminución del porcentaje de N (Figura 44) en la época 3. Por tanto, se puede establecer que el equilibrio se mantiene entre ambos elementos, salvo en la época 1, donde el porcentaje de N (Figura 44) fue lo suficientemente bajo como para registrar un aumento en la relación C/N a los 57 días (Figura 41). Como se citó en el apartado del nitrógeno, la evaporación del mismo puede ser la causa que explique esta relación C/N.

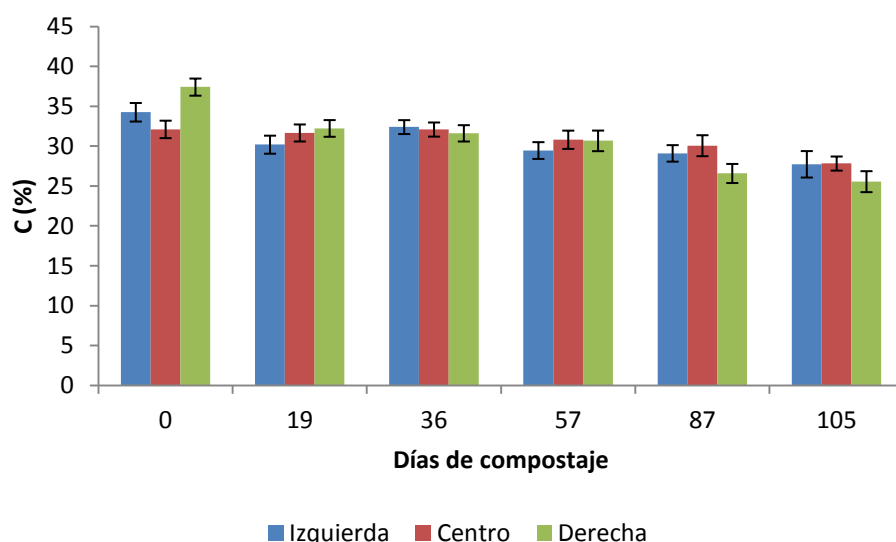


Figura 47. Porcentaje de C según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.

Como se puede apreciar en la Figura 47, en la zona derecha encontramos el valor más elevado durante la primera muestra del proceso de compostaje. Sin embargo, este valor va decreciendo paulatinamente hasta llegar a ser el que registra los valores más bajos al final del proceso. Las zonas izquierda y central pasan por procesos similares entre sí, puesto que experimentan un descenso en sus concentraciones con respecto a su valor inicial, pero a los 36 días desde el comienzo del proceso de compostaje, experimentan un aumento en sus porcentajes de carbono. Tras este aumento, hasta el final del proceso de compostaje, vuelven a disminuir sus porcentajes de carbono.

Esta disminución, prácticamente generalizada, se debe a la mineralización de la materia orgánica.

2.1.3. Fósforo (P).

Los datos relativos a la evolución estacional del Fósforo(P) quedan recogidos en la Figura 48.

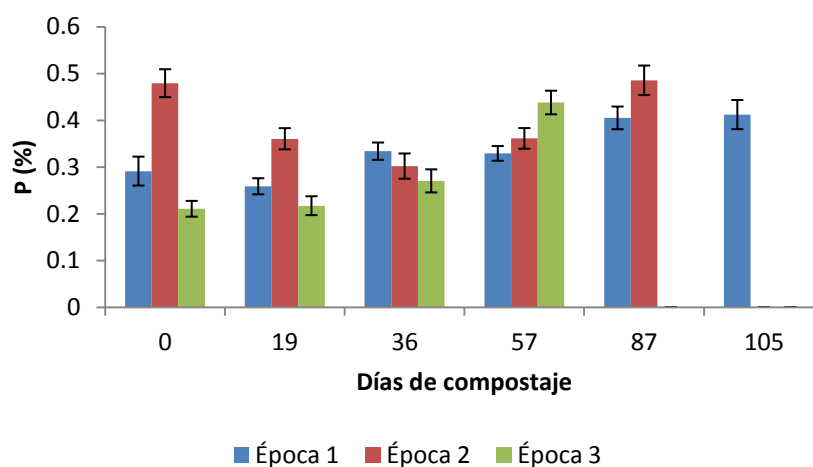


Figura 48. Evolución del contenido de P en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.

Los valores más altos registrados en la Figura 48 durante el primer muestreo, se corresponden con la época 2, seguido de la época 1 y, finalmente, la 3. Tanto la época 1 como 3 experimentan un crecimiento constante a lo largo del tiempo del proceso de compostaje, mientras que la época 1 es más variable. De hecho, la época 1 experimenta un proceso de disminución del porcentaje de P hasta el día 36 después de haber empezado el proceso de compostaje. Desde este punto, vuelve a aumentar su concentración, de tal forma que a los 87 días desde el inicio del proceso de compostaje, obtiene el valor más alto de las tres épocas.

El P es el nutriente más importante tras el C y el N, por lo que se debe de establecer un mínimo que garantice que el proceso se lleva a cabo correctamente. Al igual que la relación C/N es la forma más utilizada para evaluar la cantidad de C y de N, algunos autores, como Bueno et al. (2008), en su capítulo del documento "Compostaje" de Moreno, J. et al. (2008), establece una relación C/P entre 75 y 150 o una relación N/P entre 5 y 20. Para el caso de nuestro estudio, estas relaciones se muestran en la Tabla 61.

Tabla 61. Relación C/P y N/P durante el proceso de evolución del compostaje por estación.

Días de compostaje	C/P			N/P		
	Época 1	Época 2	Época 3	Época 1	Época 2	Época 3
0	111	67	153	7	5	11
19	125	90	149	8	7	10
36	97	107	119	7	8	9
57	98	89	74	6	8	6
87	80	67	n.d.	5	5	n.d.
105	78	n.d.	n.d.	5	n.d.	n.d.

Como se puede comprobar, durante todas las fases del proceso de compostaje de todas las épocas, se mantienen entre los valores citados.

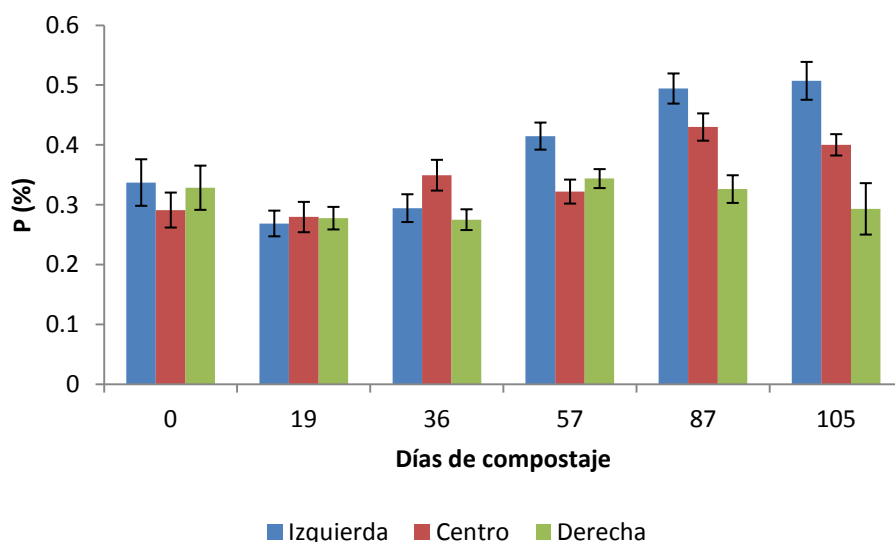


Figura 49. Contenido de P según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.

A nivel posicional (Figura 49), la zona central es la que menor porcentaje de P presenta en el momento de inicio del proceso de compostaje. Las zonas derecha e izquierda presentan valores prácticamente idénticos en este periodo. A los 19 días de haber iniciado el proceso de compostaje, todas las zonas presentan un descenso en su porcentaje de P, siendo más acusado en las zonas izquierda y derecha. Sus valores se hacen parejos con la zona central. Durante el

tercer periodo de muestra recogida, la zona derecha permanece prácticamente constante, sin embargo, la zona izquierda y, sobre todo, la zona central, aumentan su porcentaje de P una vez más.

Como en el caso anterior, se elabora la Tabla 62 para corroborar si se cumple la relación establecida por Bueno, P. et al. (2008).

Tabla 62. Relación C/P y N/P durante el proceso de evolución del compostaje por posición de muestreo.

Días de compostaje	C/P			N/P		
	Izquierda	Centro	Derecha	Izquierda	Centro	Derecha
0	101	110	114	6	8	6
19	112	113	116	8	8	8
36	110	92	115	8	6	9
57	71	96	89	6	7	6
87	59	70	81	5	5	6
105	55	69	87	5	4	6

Se puede comprobar que, únicamente no se cumple el intervalo establecido por Bueno, P. et al. (2008) en la última etapa del proceso de compostaje en la relación N/P, concretamente a partir de los 87 días desde el inicio del proceso de compostaje, las zonas izquierda y central no cumplirían.

Como posible justificación a la cantidad de P inicial, se puede entender que en la época 2 (invierno) hay un mayor consumo de pescados, mariscos y verduras ricas en fósforo.

2.1.4. Sulfuros (S)

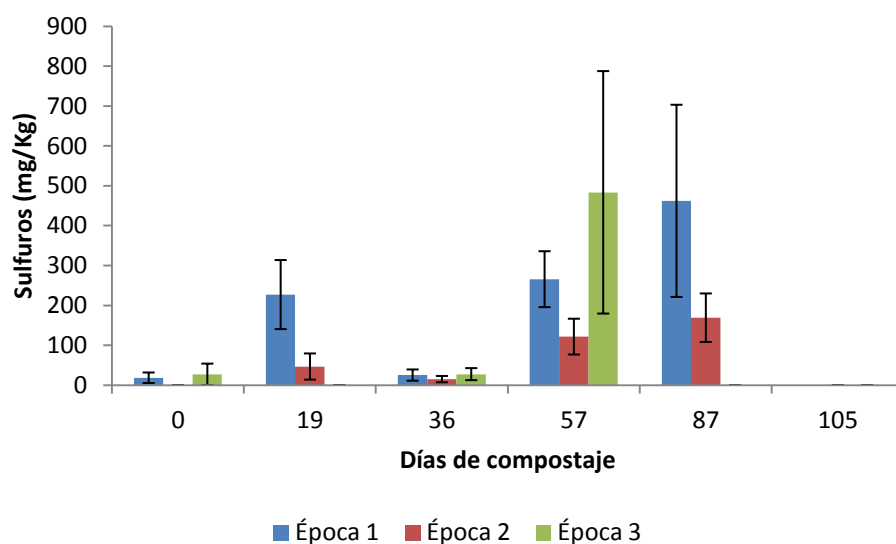


Figura 50. Evolución del contenido de S en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.

Como se puede comprobar en la Figura 50, durante la época 1 sólo hay tres momentos en los que se registra una alta concentración de Sulfuros (S), siendo estos picos a los 19, 57 y 87 días desde el inicio del proceso de compostaje. Aunque no se muestre en la Figura 50, a los 105 días desde el inicio del proceso de compostaje también hay S, pero su concentración era tan alta que no era medible por los instrumentos utilizados. Durante la época 2, sólo tenemos dos picos reseñables, a los 57 y 87 días desde el inicio del proceso de compostaje. Por último, durante la época 3, sólo se registra un pico, a los 57 días desde el inicio del proceso de compostaje.

La presencia de S, según Bueno, P. et al. (2008), indica que hay una aireación insuficiente en la pila, por lo que produce un cambio en los microorganismos aerobios por otros anaerobios, por lo que se reduce la descomposición y se generan malos olores. Este último hecho, podría completar de justificar las anomalías registradas en los parámetros de C, N y P.

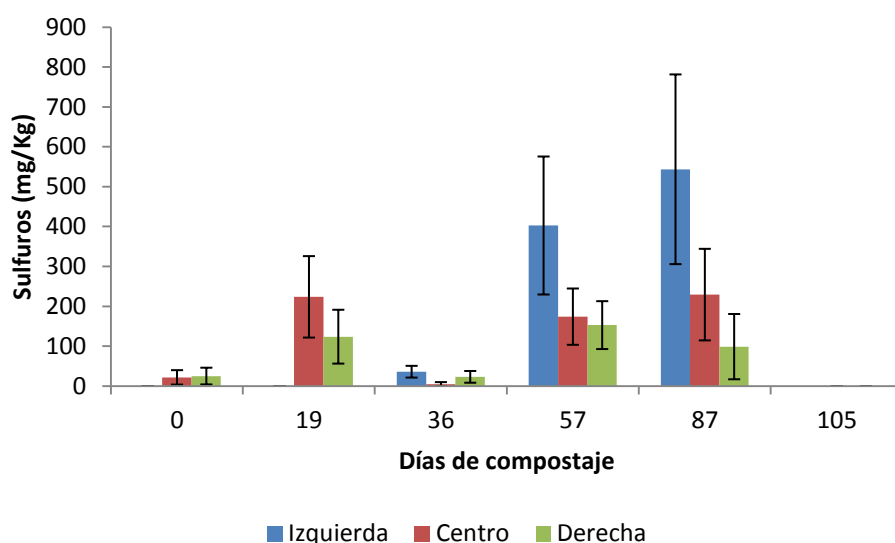


Figura 51. Contenido de S según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.

En la Figura 51, se puede extraer que los picos de S se producen sobre todo en la parte izquierda hacia el final del proceso de compostaje, concretamente, a partir del día 57 desde el inicio del proceso de compostaje. Como en el caso estacional, la parte izquierda muestra a los 105 días desde el inicio del proceso de compostaje, una concentración demasiado alta de S, haciéndola no medible por los instrumentos utilizados. La zona central, es el segundo lugar donde más S se localiza, ya que muestra picos a los 19, 57 y 87 días desde el inicio del proceso de compostaje. La zona derecha, en cambio, muestra picos en los mismos días que la zona central, pero no tan altos.

Considerando a Bueno, P. et al. (2008), quedaría patente que la zona izquierda, hacia el final del proceso de compostaje, necesitaría que se aumentara la cantidad de aireación (volteos). Este hecho, puede estar ligado, como ya se ha citado anteriormente, a la situación climática de la zona izquierda (menos calor ambiental por estar en una zona de sombra, reduciendo el nicho ecológico de los microorganismos aerobios).

2.2. Análisis semi-cuantitativo y cuantitativo.

2.2.1. Semi-cuantitativo.

2.2.1.1. Hierro (Fe).

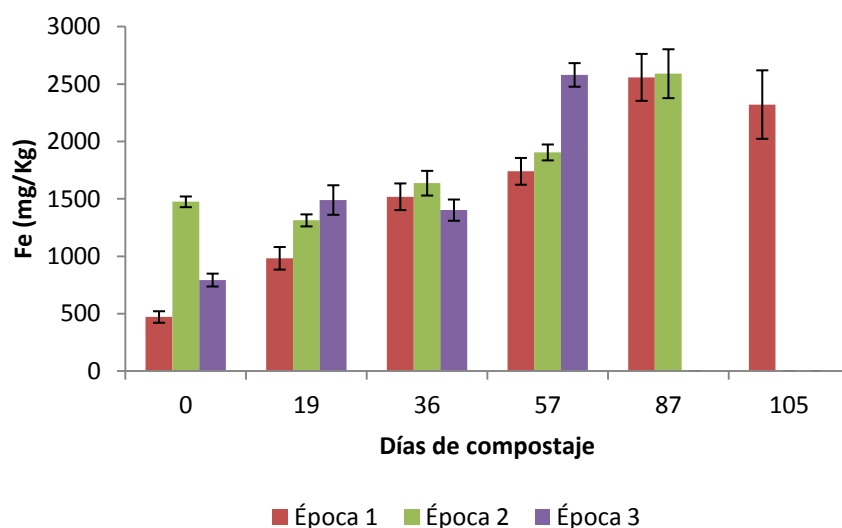


Figura 52. Evolución del contenido de Fe en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.

Como se puede apreciar en la Figura 52, el contenido de Hierro (Fe) en la época 1, desde el momento inicial del proceso de compostaje, es la más baja con respecto a otras épocas. Sin embargo, dicha época muestra una tendencia a ir acumulándose a lo largo de todo el proceso de compostaje. Lo mismo sucede con las otras dos épocas, salvo que muestran dos puntos donde la concentración disminuye. Estos puntos son, para la época 2, a los 19 días desde el inicio del proceso de compostaje; para la época 3, en cambio, esta disminución ocurre a los 36 días.

La acumulación de Fe, en las diferentes épocas, se puede deber a su mineralización, a la baja solubilidad del hierro debido a un pH alcalino o la cantidad de materia orgánica, puesto que las enmiendas orgánicas con menor madurez y menor estabilidad de compuestos orgánicos, como son las procedentes de fuentes no separadas en origen, favorecen la disponibilidad de este elemento en el medio (Cesco, S. et al. (2000); Warman, P.R. et al. (2009)). De forma inicial, se puede justificar el pico de la época 2 por el consumo durante el invierno de más carnes rojas y más legumbres, como las lentejas.

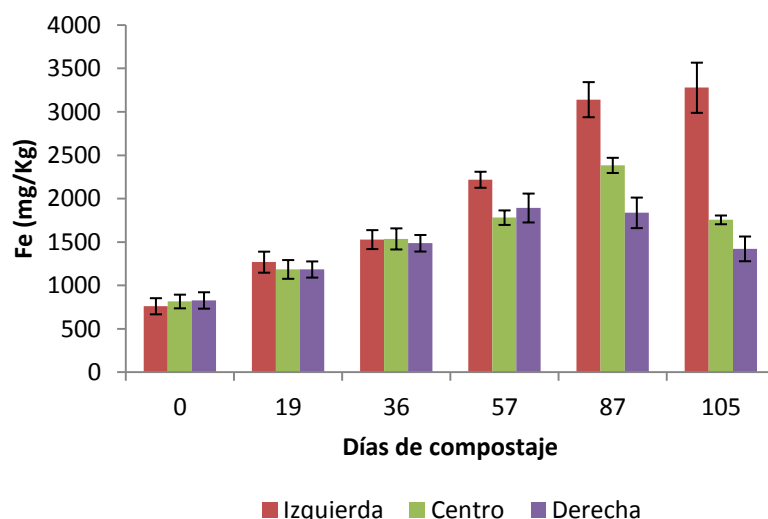


Figura 53. Contenido de Fe según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.

Con respecto al factor posicional de la muestra, se observa que el contenido de Fe (Figura 53) en las tres zonas, hasta los 36 días desde el comienzo del proceso de compostaje, tienen concentraciones de hierro similares y creciendo de forma similar. Sin embargo, a partir del día 57 desde el inicio del proceso de compostaje, comienza una diferenciación entre zonas, destacando la zona izquierda, que es la que más crecimiento presenta desde este punto hasta el final del proceso de compostaje. Las otras dos zonas presentan un crecimiento menor a los 57 días desde el inicio del proceso de compostaje, siendo mayor en la zona derecha que en la central. Este patrón cambia en siguiente periodo de muestreo, siendo la zona central la que más concentración tiene con respecto a la zona derecha. Es más, se detecta que la zona derecha experimenta una ligera disminución en la concentración en este periodo. En el final del proceso, las zonas derecha y central tienen un descenso en su concentración de Fe, siendo más acusado en la zona derecha que en la central.

2.2.1.2. Manganeso (Mn).

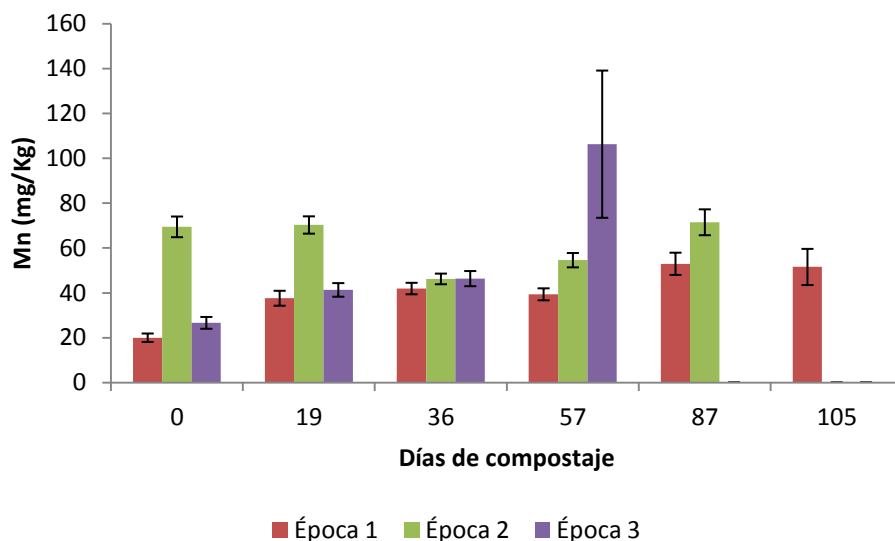


Figura 54. Evolución del contenido de Mn en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.

Durante la evolución del proceso de compostaje, el contenido de Manganeso (Mn), reflejado en la Figura 54, se puede observar que en el momento inicial del proceso de compostaje, la época 2 tiene la mayor concentración con respecto a las otras dos épocas. Los valores de dichas épocas se podrían considerar prácticamente semejantes entre sí, pero muy inferiores al mostrado en la época 2. A los 19 días de haber comenzado el proceso de compostaje, la época 2 apenas ha variado su concentración, mientras que tanto la época 1 como la 3 han aumentado. Sus niveles siguen siendo prácticamente iguales entre ellas, pero siguen siendo inferiores a los de la época 2. A los 36 días desde el inicio del proceso de compostaje, la concentración en la época 2 disminuye, de tal forma que los valores entre las tres épocas sean prácticamente idénticos, puesto que el valor de las otras dos épocas no ha variado de un periodo de muestreo a otro. A los 57 días, sin embargo, durante la época 3 se experimenta un aumento notable en la concentración de manganeso. Algo similar sucede con la época 2, pero no es tan acusado. Sin embargo, en la época 1, la concentración disminuye de forma sensible, rompiendo el equilibrio que, hasta ese momento tenía con la época 3 y siendo la época con menos concentración. A los 87 días, las épocas 1 y 2 experimentan aumentos en sus concentraciones de Mn, de tal forma que la época 2 continua teniendo más concentración que la época 1. Finalmente, a los 105 días desde el inicio del proceso de compostaje, la concentración permanece constante en la época 1, si bien, ha aumentado bastante su variabilidad.

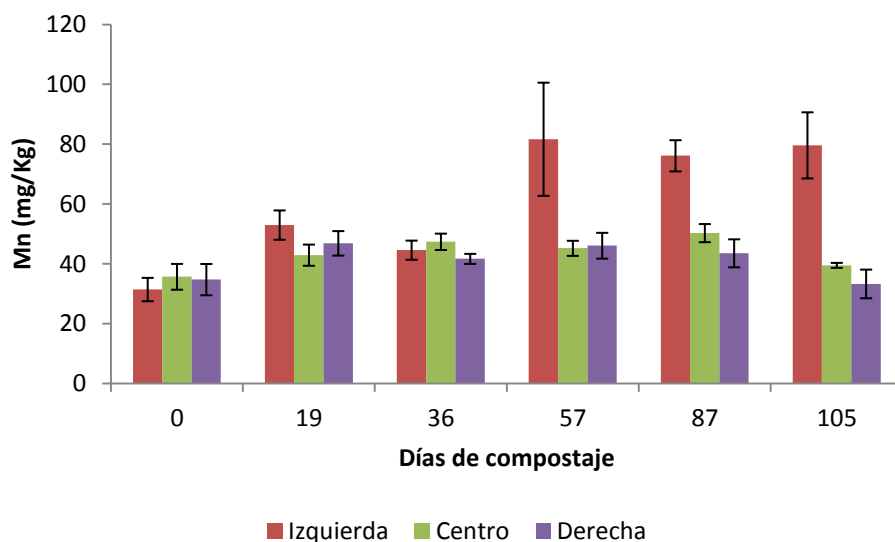


Figura 55. Contenido de manganeso según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.

A nivel posicional (Figura 55), la concentración de Mn durante el proceso de compostaje, las tres posiciones o lugares de toma de muestra permanecen prácticamente semejantes hasta el día 57 desde el inicio del proceso de compostaje. En este punto temporal, la zona izquierda experimenta un aumento bastante notorio de la concentración de Mn, permaneciendo las otras dos zonas prácticamente constantes. Esta situación se repite hasta el final del proceso, si bien la zona derecha experimenta un ligero descenso con respecto a anteriores periodos, que hacen que su perfil no sea tan semejante como en los primeros muestreos a los valores de la zona central.

2.2.1.3. Cobre (Cu)

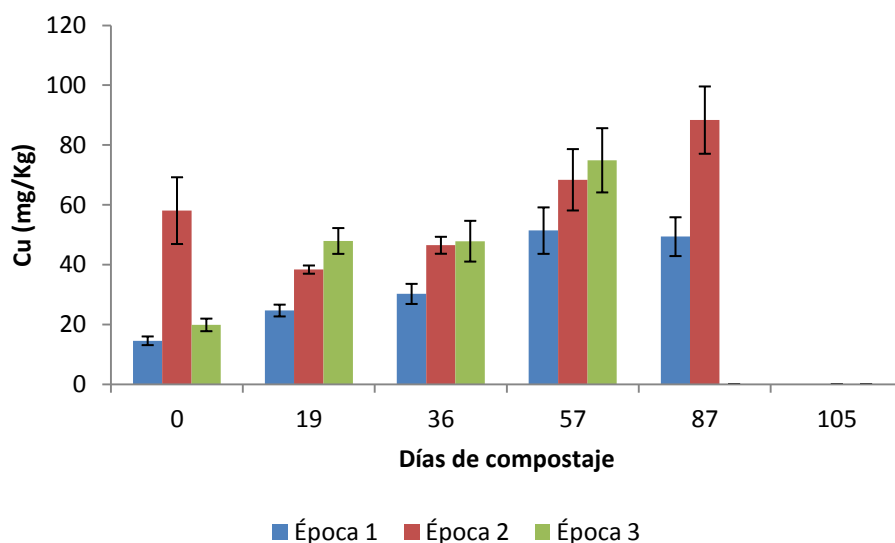


Figura 56. Evolución del contenido de Cu en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.

En el momento inicial de toma de muestras, durante la época 2, se registró la mayor concentración de Cobre (Cu) (Figura 56), seguida por la época 3 y finalmente la 1. Dicho ranking cambia a los 19 días desde el inicio del proceso de compostaje, siendo la época 3 la que más concentración registra, seguida de la época 2 (que experimentó una disminución con respecto a la fecha anterior) y finalmente la época 1. Desde este punto, se experimenta un aumento paulatino de la concentración a lo largo de toda la serie temporal hasta el fin del proceso de compostaje. En los días 57 y 87 desde el inicio del proceso de compostaje se supera la concentración establecida por el RD 506/2013 para ser considerado compost tipo A, por lo que se enmarca en el tipo B. El Cu, junto con el Zinc (Zn), es un elemento componente de los fungicidas, por lo que su presencia en la época 3 puede estar justificada de esta forma. En la época 2, su acumulación puede deberse al consumo de alimentos rojos durante esta época, como el hígado, las ostras y el cangrejo.

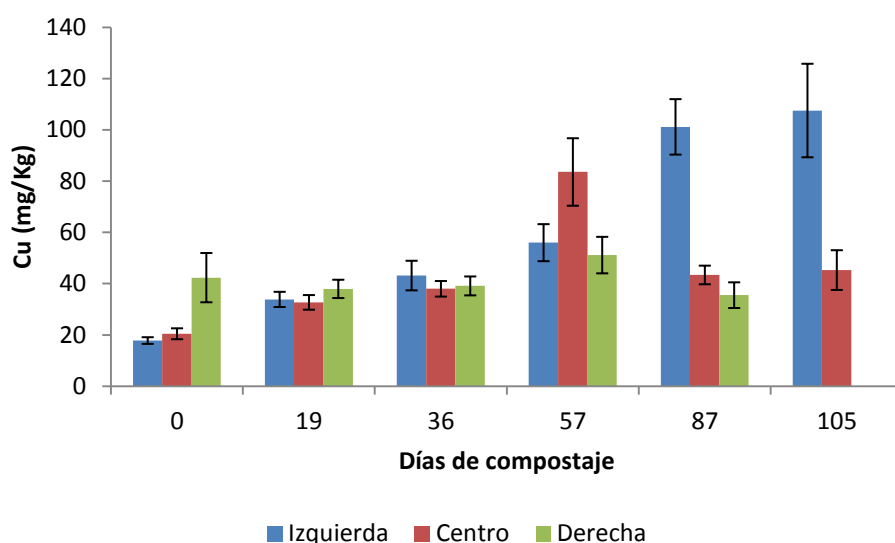


Figura 57. Contenido de cobre según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.

El contenido de Cu a nivel posicional (Figura 57), destaca de sobremanera la zona izquierda es la que experimenta una mayor aumento en su concentración a lo largo de la evolución del compostaje. Se detecta un aumento anómalo en la zona central a los 57 días de haber comenzado el proceso de compostaje.

2.2.1.4. Zinc (Zn).

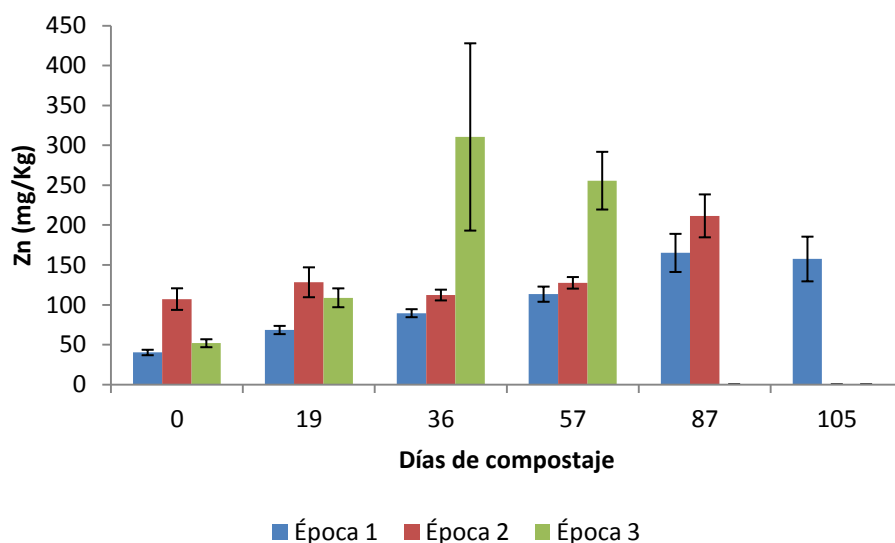


Figura 58. Evolución del contenido de Zn en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.

Con respecto al contenido de Zinc (Zn), en la Figura 58 se registra que en el momento inicial del muestreo, la época 2 tenía una mayor concentración con respecto a las otras dos épocas. Dicha situación se mantuvo en el día 19 desde el inicio del proceso de compostaje, pero los datos obtenidos de la época 3 manifestaban un proceso de crecimiento mayor que el experimentado por las otras épocas. Tanto fue así, que la concentración de Zn en los días 36 y 57 desde el inicio del proceso de compostaje de la época 3 superó de forma clara la recogida en las otras épocas. La época 1 se mantiene en todo momento por debajo de la concentración de la época 2. Los valores registrados en los días 36, 57 y 87 desde el inicio del proceso de compostaje de la época 2 y 3, fueron lo suficientemente elevados para establecer este tipo de compost como tipo B, según la normativa española (RD 506/2013). Una posible explicación al pico detectado en la época 3, es que haya restos de pintura y barnices, los cuales se aplican en esta época para preparar las superficies metálicas para el verano, para evitar su oxidación. Una posible explicación con respecto al pico mostrado en la época 3, es el uso de fungicidas, ya que el Zn es uno de sus componentes.

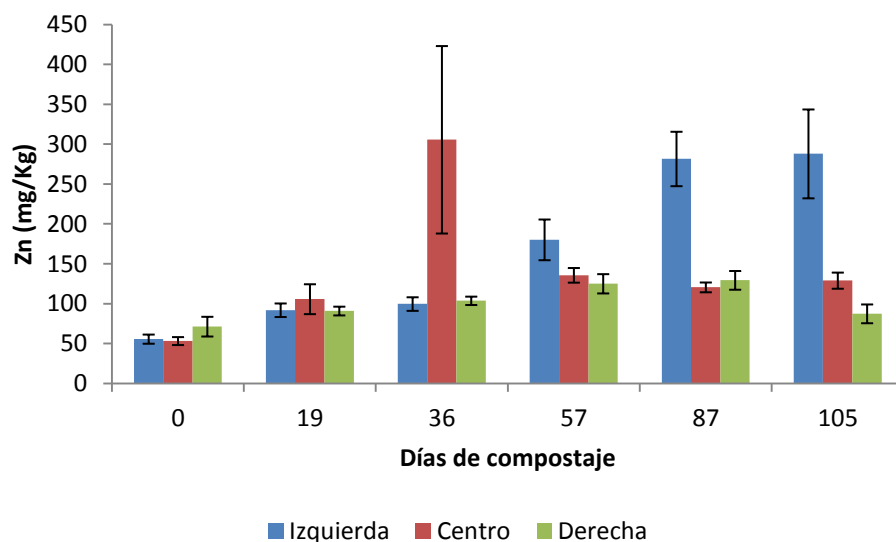


Figura 59. Contenido de Zn según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.

Con respecto al Zn posicional (Figura 59), durante el muestreo de la zona izquierda, la concentración de Zn va aumentando poco a poco, siendo el lugar con la concentración más elevada a partir del día 57 desde el inicio del proceso de compostaje. Las otras dos posiciones, salvo un ligero incremento a los 19 días desde el inicio del proceso de compostaje, prácticamente permanecen constantes a lo largo de todo la evolución del compostaje, aunque se muestra una concentración anómala a los 36 días desde el inicio del proceso de compostaje en la zona central.

Hay que destacar el paralelismo que hay entre el Zn y el Cu, presentando un ritmo de evolución y picos anómalos prácticamente idénticos en todas sus fases. Como se comentó anteriormente, esto puede deberse a que ambos elementos son parte integral de productos fitosanitarios.

2.2.2. Cuantitativo

2.2.2.1. Potasio (K).

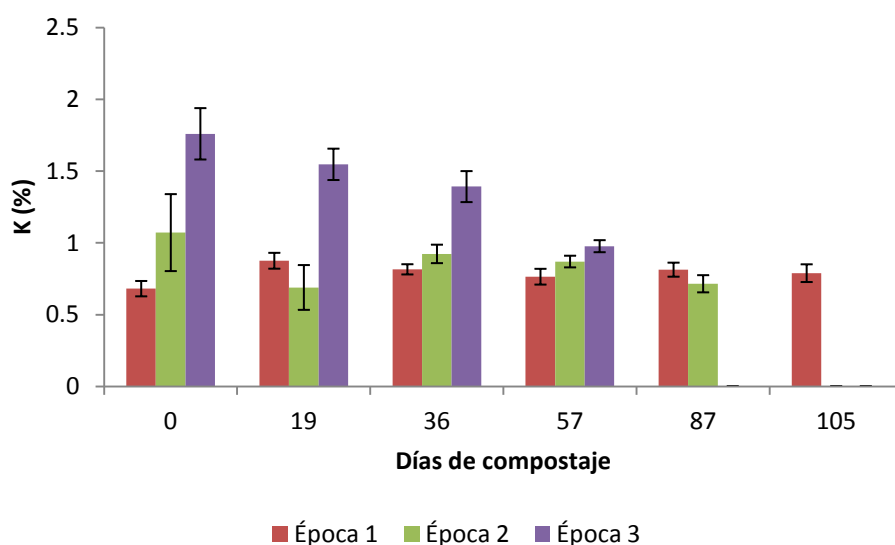


Figura 60. Evolución del contenido de K en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.

Como muestra la Figura 60, el contenido de Potasio (K) durante la época 1, inicialmente, es la estación con menos cantidad de K, aunque en el segundo muestreo, el porcentaje aumentó ligeramente. Desde este punto, el porcentaje se mantiene más o menos estable, sin aumentar ni descender. Con respecto a la época 2, en el momento del primer muestreo se registra que tiene una alta variabilidad y un porcentaje de K más alto que el de la época 1, aunque inferior al de la época 3. Su relación con la época 1 se invierte a los 19 días después de haberse iniciado el proceso de compostaje, después de un descenso del porcentaje de K; aunque vuelve a invertirse esta situación una vez más a los 36 días después de haberse iniciado el proceso de compostaje. Desde este punto, hasta los 57 días después del inicio del proceso de compostaje, se mantiene constante. Sin embargo, a los 87 días, el porcentaje de K disminuye ligeramente, siendo en esos momentos inferior al porcentaje de K de la época 1. Finalmente, la época 3, registra los valores más altos durante todo el tiempo que dura el proceso de compostaje. Sin embargo, su porcentaje va disminuyendo paulatinamente desde la primera muestra, aunque nunca registra datos por debajo de los porcentajes de las otras dos épocas.

Estos resultados muestran que la concentración de K se debe al consumo habitual de alimentos estacionales ricos en K, como los nísperos, las habas y guisantes. Así mismo, la época 2 presenta una alta variabilidad en las dos primeras tomas de muestra, por lo que se podría deducir que esta oscilación proviene del consumo de alimentos ricos en K, como pueden ser algunos mariscos, muy consumidos durante esta época invernal.

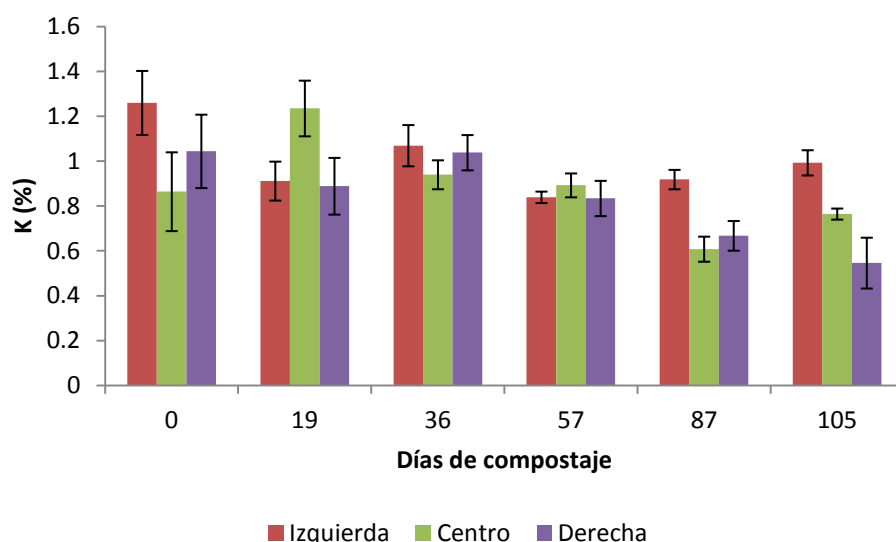


Figura 61. Contenido de K según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.

Como se puede apreciar en la Figura 61, la concentración de K que inicialmente muestra el porcentaje más alto, es la zona izquierda, seguida por la zona derecha y, finalmente, la zona central. Esta situación cambia a los 19 días después de haber comenzado el proceso de compostaje, puesto que la zona central experimenta un aumento en la concentración de K, mientras que las zonas izquierda y derecha disminuyen. De hecho, estas zonas dos últimas zonas muestran unos valores bastante parejos desde este momento hasta prácticamente el final del proceso de compostaje. A los 36 días desde el inicio del proceso de compostaje, la situación entre la zona central y las zonas laterales vuelve a cambiar, siendo en esta ocasión las zonas derecha e izquierda las que aumentan su cantidad de K, en detrimento de la zona central. En el siguiente periodo de muestreo, la situación, una vez más, se invierte. Sin embargo, en esta ocasión, los valores de la zona central permanecen más o menos constantes con el periodo anterior, por lo que las zonas izquierda y derecha muestran una disminución del porcentaje de K lo suficientemente bajo como para estar por debajo de esta zona central. A los 87 días después de haber iniciado el proceso de compostaje, se rompe el equilibrio de las zonas derecha e izquierda, de tal forma que la zona izquierda experimenta un leve aumento en su concentración, mientras que la zona derecha y la zona central, disminuyen su concentración, siendo la zona central la que registra menor porcentaje de K de las tres zonas en este periodo. Al final del proceso, los valores de la zona izquierda se mantienen, mientras que la zona central aumenta su concentración, superando a los valores de la zona derecha.

2.2.2.2. Sodio (Na).

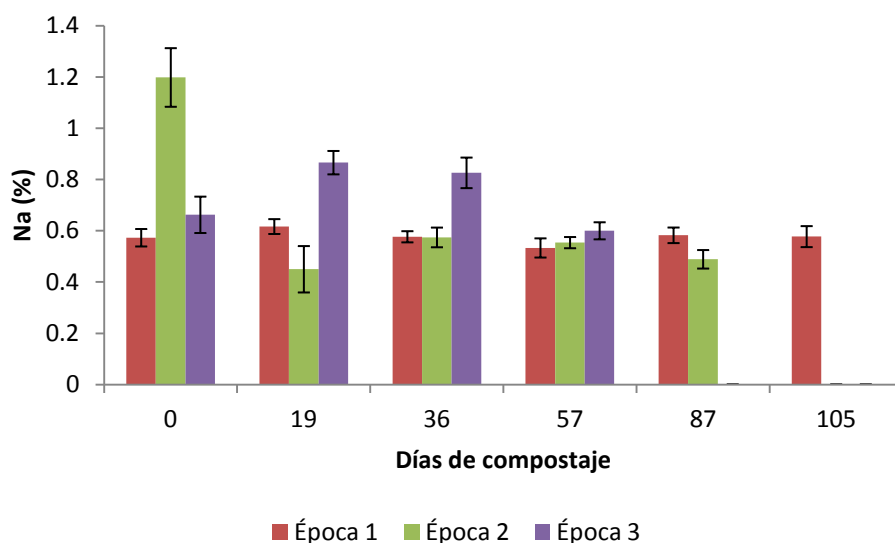


Figura 62. Evolución del contenido de Na en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.

En la Figura 62, el contenido de sodio (Na), en el momento inicial del proceso de compostaje, se puede apreciar que la época 2 tiene más concentración de sodio que las otras dos épocas. La época 3 es la segunda época con más concentración en este momento inicial. A los 19 días desde el inicio del proceso de compostaje, esta situación cambia, de tal forma que la época 2, es la época que menos concentración tiene en este periodo. Por encima de la época 2, tenemos a la época 1 y, por encima de esta, con un registro bastante elevado, la época 3. A los 36 días de haberse iniciado el proceso de compostaje, la concentración de la época 3 y 1 se mantienen constantes, aunque la época 2 experimenta un aumento en su concentración, de tal forma que iguala el valor registrado de la época 1. A los 58 desde el inicio del proceso de compostaje, se aprecia que la cantidad de Na registrado en la época 3 disminuye, de tal forma que su valor es equiparable al registrado en las otras dos épocas. A los 87 días desde la primera toma de muestras, la época 1 aumenta ligeramente su valor, mientras que la época 2 sufre el proceso contrario. En el final del proceso de compostaje, la época 1 mantiene unos valores de Na similares a los registrados en el periodo anterior.

Hay que destacar, una vez más, los altos valores de la estación invernal, provocados por el tipo de dieta durante esas festividades (consumo excesivo de mariscos, productos con exceso de sal, etc). Así mismo, hay que recordar que el Na es un elemento muy lábil, por lo que podría justificarse la variabilidad mostrada a lo largo del proceso con los periodos de riego o precipitaciones.

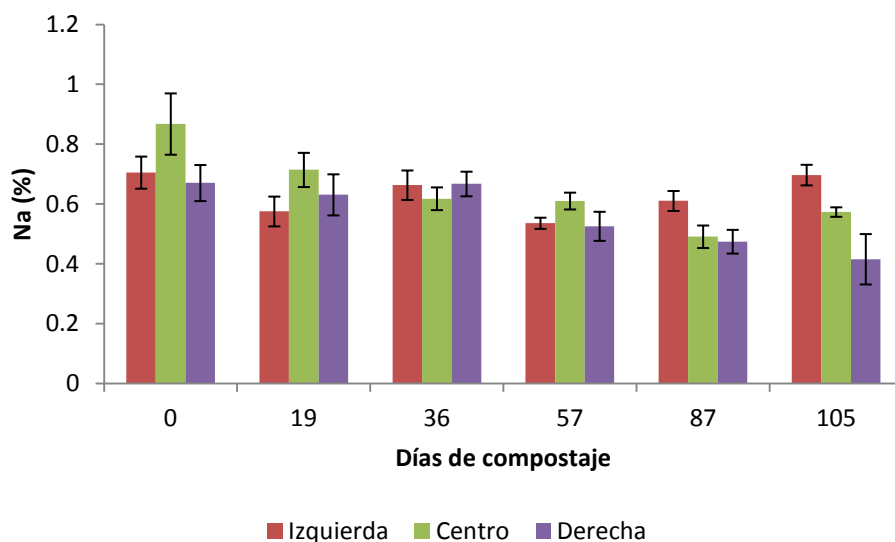


Figura 63. Contenido de Na según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.

A nivel posicional (Figura 63), el contenido de Na en la zona central al inicio del proceso muestra los valores más altos de sodio, seguido de la zona izquierda y, por último, la zona derecha. A los 19 días, las concentraciones de las tres zonas disminuyen, más en la zona izquierda, provocando que su concentración de Na en este periodo sea el más bajo de las tres zonas. La zona central tiene la concentración más alta en este segundo muestreo, seguido de la zona derecha. A los 36 días desde el inicio del proceso de compostaje, las zonas laterales de la pila aumentan ligeramente sus valores de Na, de tal forma que tienen unos valores muy parejos, mientras que la zona central experimenta un descenso. A los 57 días desde el inicio de los muestreos, se observa que la concentración de Na se mantiene constante en la zona central, mientras que en las zonas de los lados de la pila (izquierda y derecha) disminuyen, aunque siguen teniendo una concentración muy similar entre ellas. A los 87 días desde el inicio del proceso de compostaje, este equilibrio entre las zonas derecha e izquierda se rompe, de forma que la zona izquierda experimenta una fase de crecimiento desde este momento hasta el final del proceso, mientras que la zona derecha sufre el proceso contrario. En la zona central, la concentración a los 87 días desde el inicio del proceso de compostaje disminuye, aunque se mantiene en valor por encima de la zona derecha. Al final del proceso, la zona central aumenta nuevamente su concentración de Na, pero no lo suficiente como para superar a la concentración de la zona izquierda.

2.2.2.3. Magnesio (Mg).

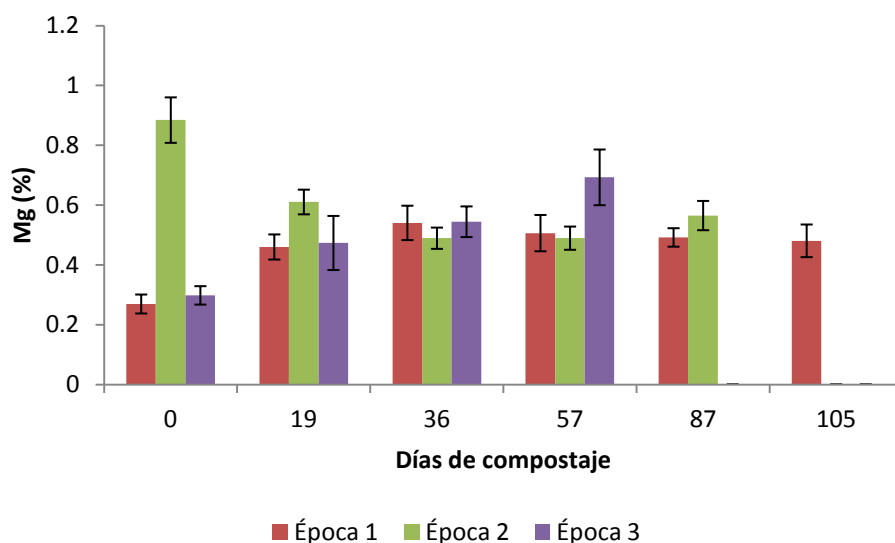


Figura 64. Evolución del contenido de Mg en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.

Como se puede apreciar en la Figura 64, el contenido de Magnesio (Mg) durante el momento inicial del proceso de compostaje, muestra que la época 2 es la que tiene un mayor porcentaje de Mg. Las otras dos zonas tienen unos valores muy parejos, que mantienen hasta los 36 días de compostaje, pero inferiores en este periodo a los de la época 2. A los 19 días desde el inicio del proceso de compostaje, la concentración en la época 2 disminuye, aunque continua con los valores más altos del periodo. Las otras dos épocas aumentan su concentración, manteniendo los valores de Mg muy parejos entre sí. A los 36 días desde el inicio del proceso de compostaje, la concentración de la época 2 vuelve a disminuir, de tal forma que, en este periodo, tiene la concentración más baja de Mg. Por contra, las otras dos épocas aumentan su concentración. A los 57 días, el equilibrio entre las épocas 1 y 3 se rompe, de tal forma que la época 3 experimenta un aumento en el contenido de Mg. En cambio, la época 1 sufre una ligera disminución, equiparando su contenido en Mg a la de la época 2. A los 87 días desde el inicio del proceso de compostaje, la época 2 aumenta su contenido en Mg, mientras que la época 1 se mantiene constante con el periodo anterior y, también, con el que se registra al final del proceso de compostaje.

De forma general, se aprecia que, de forma inicial, la época 2 tiene más concentración de Mg. El consumo en esas fechas de alimentos como la calabaza, endibias, coles de bruselas, etc., ricas en Mg, pueden ser la causa de esta concentración inicial. Si bien, a mitad del proceso, hay ciertos repuntes que podrían ser justificados por el origen de las aguas adicionadas a las pilas durante el proceso de riego y los lodos de depuradoras, que recordemos provienen de una fábrica de cerveza, por lo que su contenido en magnesio puede suponer la variación estudiada.

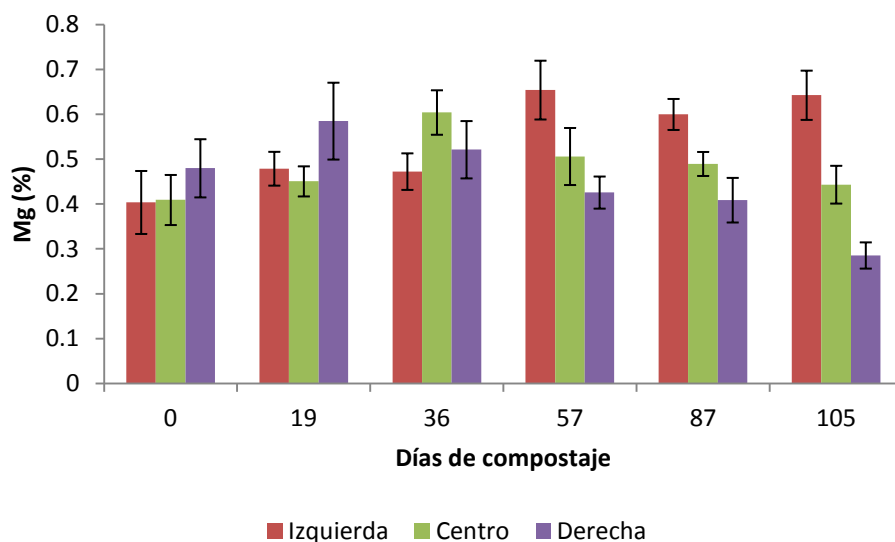


Figura 65. Contenido de Mg según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.

A nivel posicional, la Figura 65 nos indica que, en el momento inicial del proceso de compostaje, la zona derecha tiene una concentración más alta de Mg. Los valores de las otras dos posiciones, se podrían considerar parejos. Esta situación se repite durante el segundo muestreo, con un ligero incremento de todas las zonas. A los 36 días desde el inicio del proceso de compostaje, la zona central experimenta el mayor aumento de concentración del periodo, seguido en concentración por la zona derecha, aunque esta ha experimentado una disminución con respecto al periodo anterior. Por último, la zona izquierda mantiene una concentración similar a la del anterior periodo. A los 57 días desde el inicio del proceso de compostaje, la zona izquierda es la zona cuyo incremento de concentración en Mg es el más elevado. La zona central experimenta una disminución en la concentración durante este periodo, al igual que sucede con la zona derecha. Esta misma pausa se repite hasta el final del proceso de compostaje, es decir, la zona con más concentración de Mg es la izquierda, que poco a poco disminuye su valor. Esta disminución sucede por igual en las zonas central y derecha.

2.2.2.4. Calcio (Ca).

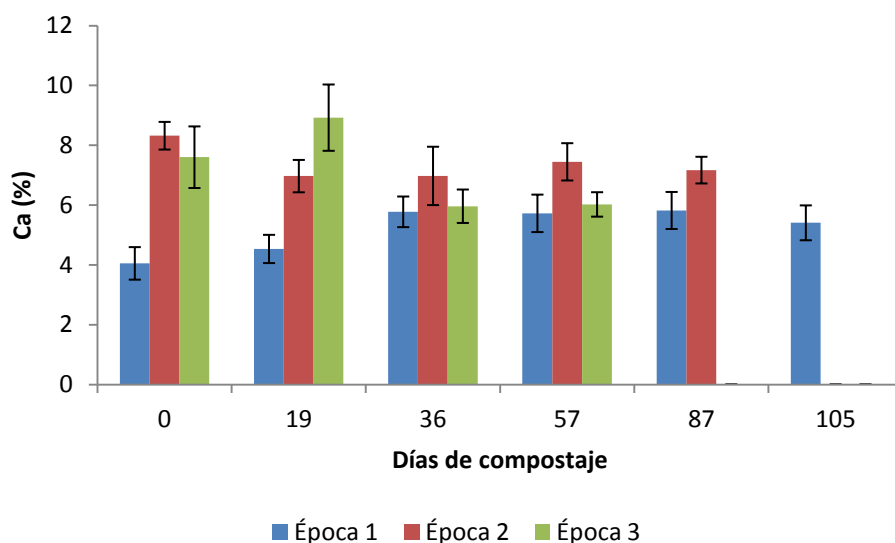


Figura 66. Evolución del contenido de calcio en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.

La Figura 66 indica que, en el inicio del proceso de compostaje, la época 2 tenía una concentración ligeramente superior de Calcio (Ca) a la de la época 3 y muy superior a la de la época 1. Este orden se cambia a los 19 días desde el inicio del proceso de compostaje, siendo en esta ocasión la época 3, a través de un aumento de su concentración en Ca; seguido de la época 2 (con una ligera disminución de su concentración con respecto al periodo anterior) y, por último, la época 1. A los 36 días, la época 3 experimenta una disminución de su concentración, de tal forma que se equipara su valor a la registrada a la de la época 1, que experimentó una subida de concentración. Sin embargo, dichas concentraciones fueron inferiores a las de la época 2, que mantiene la misma concentración de Ca que en el periodo anterior. Desde este punto hasta el final del proceso de compostaje, los valores de las tres épocas se mantienen más o menos constantes.

Al igual que el caso del magnesio (Figura 64), los alimentos ricos en Ca, como las coles, alcachofas, etc. en conjunción con un mayor consumo de dulces, hacen de la época 2, la estación con una mayor concentración de Ca en el momento inicial.

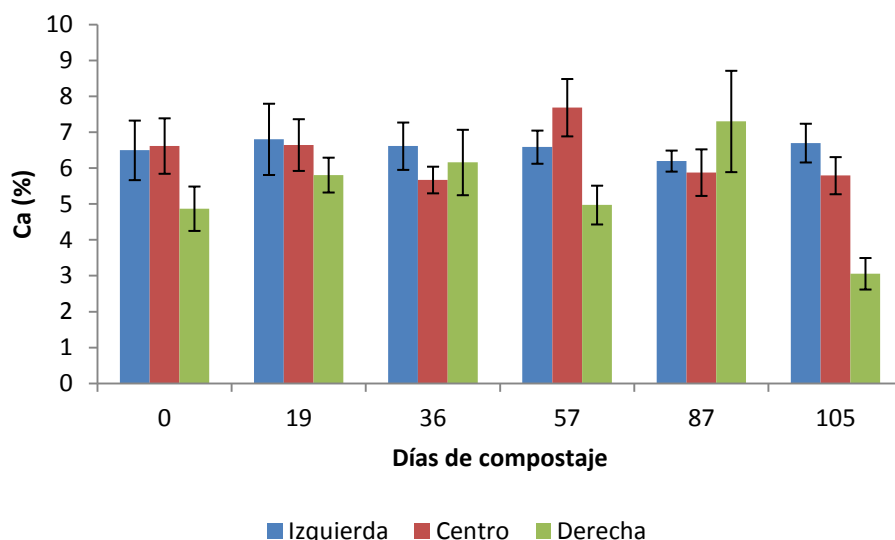


Figura 67. Contenido de Ca según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.

A nivel posicional (Figura 67), el contenido de Ca observado en el momento inicial, muestra que las zonas izquierda y central tienen, prácticamente, la misma concentración de Ca, mientras que la zona derecha tiene menos concentración. Esta misma situación, con valores casi idénticos a los del periodo anterior (salvo en la época 3, que aumenta su concentración, pero no lo suficiente como para desbancar a las otras dos zonas de muestreo), se repite durante el segundo muestreo. A los 36 días desde el inicio del proceso de compostaje, se aprecia que la zona derecha de la pila aumenta ligeramente su concentración, equiparándose a la registrada en la zona izquierda. La zona central, en este periodo, tiene una concentración inferior a la registrada por las otras dos zonas de muestreo. A los 57 días, es la zona central la que experimenta un aumento de la concentración de Ca, de tal forma que supera a las otras dos zonas. Mientras tanto, la zona izquierda permanece prácticamente constante y la zona derecha disminuye su concentración, siendo la más baja registrada en este periodo. A los 87 días, la zona derecha aumenta su concentración de Ca, superando a las otras dos zonas. Después de la zona derecha, la zona izquierda es la siguiente en aparecer, con unos valores similares a los del periodo anterior. En cambio, la zona central experimenta una disminución de la concentración de Ca, haciendo que sea el valor más bajo registrado en este periodo. Por último, al final del proceso, la zona izquierda, que se ha mantenido prácticamente constante desde hace varios periodos, es el valor más alto registrado en este periodo final; seguida de la zona central que, al igual a la zona izquierda, mantiene una concentración similar a la mostrada en el periodo anterior. Por último, tenemos a la zona derecha, cuya concentración disminuye de forma muy brusca.

De nuevo, la zona izquierda es la que, al final del proceso de compostaje, presenta los valores más altos del parámetro a estudiar.

2.3. Análisis de la calidad medio ambiental.

2.3.1. Níquel (Ni).

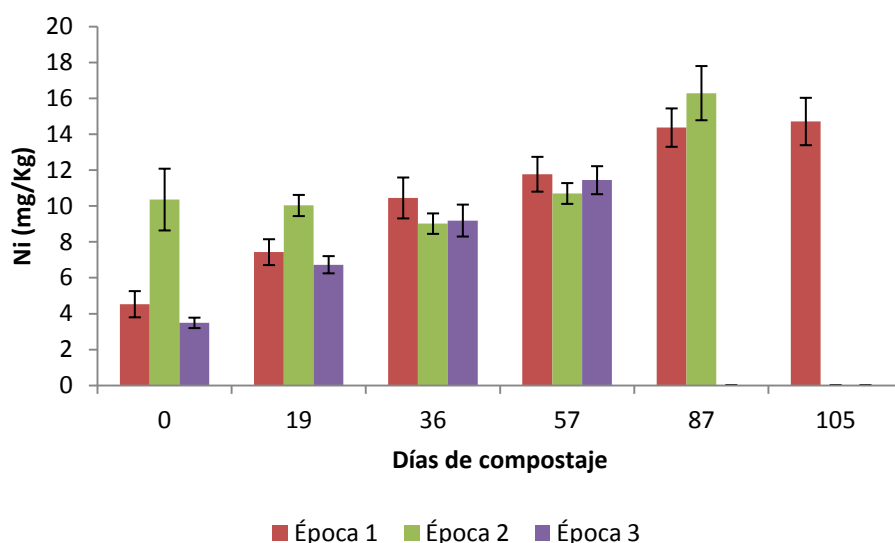


Figura 68. Evolución del contenido de níquel en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.

Comenzamos el análisis con el contenido de Níquel (Ni) (Figura 68) registrado durante el proceso de compostaje. Se observa que la concentración más elevada se localiza en la época 2, en diferentes etapas del proceso (días 0, 19 y 87 desde el inicio del proceso de compostaje). Sin embargo, cuando realmente se experimenta un cambio sustancioso en la concentración, se produce en el día 87 tras el inicio del proceso de compostaje, manteniéndose más o menos constante durante el resto del proceso. Esta situación no se produce con las otras dos épocas, donde se ve un aumento paulatino en cada fase de muestreo, llegando a superar en algunos momentos la concentración de la época 2 (días 36 y 57 tras el inicio del proceso de compostaje). Según la normativa española (RD 506/2013), por el valor de la concentración obtenida, obtendríamos un compost de tipo A.

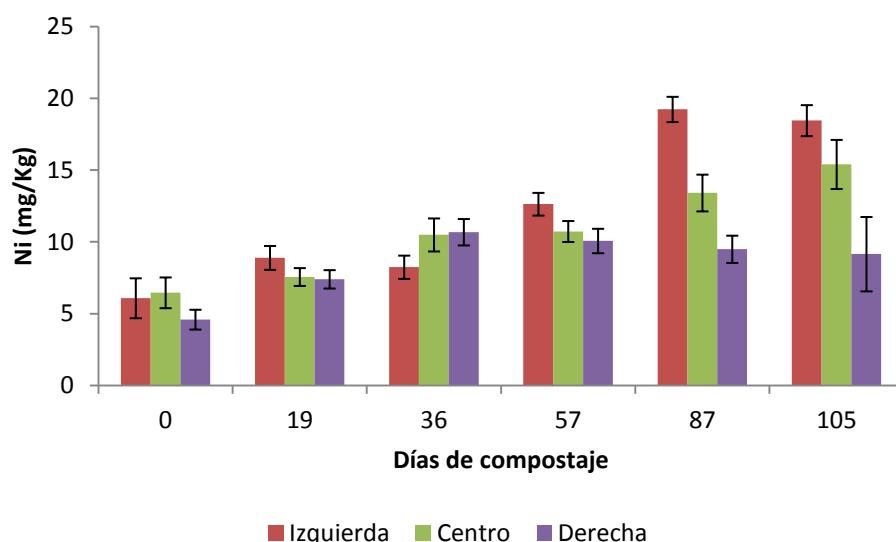


Figura 69. Contenido de níquel según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.

Como se puede apreciar en la Figura 69, en el caso de la concentración de Ni a nivel posicional, la zona con mayor concentración a lo largo del periodo estudiado es la izquierda. Presenta un crecimiento constante, salvo una ligera disminución a los 36 días desde el inicio del proceso de compostaje, siendo entonces superado en concentración por las otras dos posiciones de muestreo. La zona central es la segunda en el registro de las concentraciones, siendo la última la zona derecha, la cual experimenta una disminución a los 57 y 87 días desde el inicio del proceso de compostaje, quedándose más o menos estable en la última fase del proceso de compostaje.

2.3.2. Cromo (Cr).

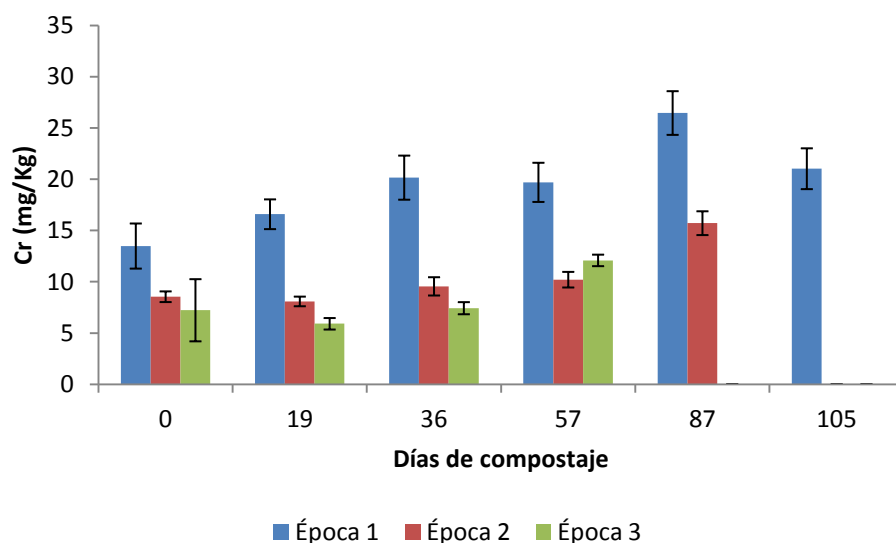


Figura 70. Evolución del contenido de Cr en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.

Para el contenido de Cromo (Cr) (Figura 70), desde el primer momento hasta el final, la época 1 mostró una concentración más elevada, seguida de la época 2 y la época 3. Este patrón se mantiene a lo largo de toda la serie temporal, a excepción del día 57 desde el inicio del proceso de compostaje, donde la época 3 mostró una concentración más elevada que la época 2. Con respecto a la normativa, nos encontramos por debajo de la concentración límite del compost de tipo A. Una posible explicación al pico detectado en la época 3, es que haya restos de pintura y barnices, los cuales se aplican en esta época a las superficies metálicas para evitar su oxidación y corrosión.

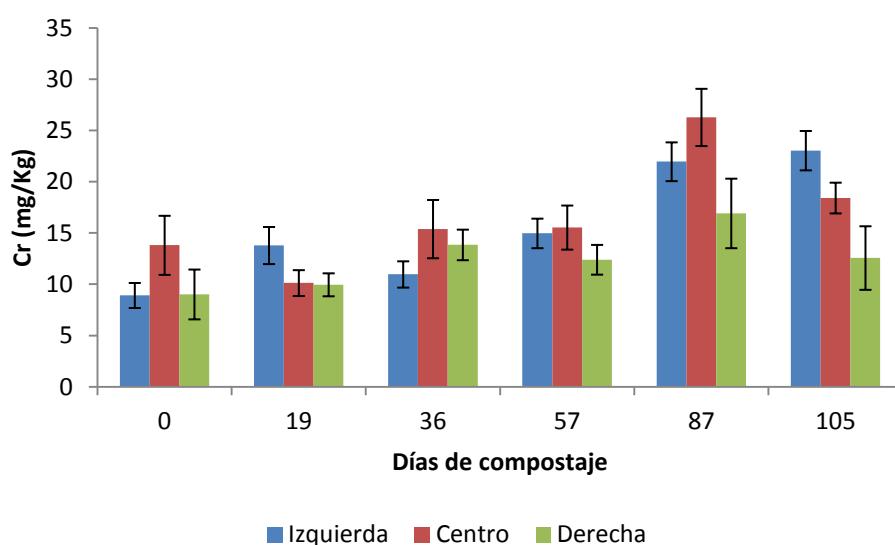


Figura 71. Contenido de Cr según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.

El contenido de Cr a nivel posicional (Figura 71), presenta una alta variabilidad a lo largo de la secuencia temporal. En el momento de inicio, la zona central presenta una mayor concentración con respecto a las otras dos zonas, siendo estas prácticamente semejantes. A los 19 días, la zona izquierda experimenta un aumento en la concentración equivalente a la que tenía la zona central en el primer periodo. De hecho, la zona central experimenta una disminución equivalente al aumento de la zona izquierda. La zona derecha permanece prácticamente constante. A los 36 días desde el inicio del proceso de compostaje se repite el proceso, siendo ahora la zona central el lugar con más concentración. La zona derecha experimenta un aumento que le permite estar segunda en este periodo. Por último, la zona izquierda experimenta una disminución equivalente al aumento del periodo anterior. A los 57 días desde el inicio del proceso de compostaje, la zona izquierda vuelve a aumentar, pero la zona central permanece constante con respecto al periodo anterior. La zona derecha disminuye en este periodo su concentración. A los 87 días desde el inicio del proceso de compostaje, todas las zonas de muestreo aumentan, aunque la que más es la zona central, rompiendo el equilibrio con la zona izquierda del periodo anterior. Por último, a los 105 días desde el inicio del proceso de compostaje, la zona izquierda permanece prácticamente constante con el periodo anterior, pero la zona central y derecha disminuyen su concentración.

2.3.3. Plomo (Pb).

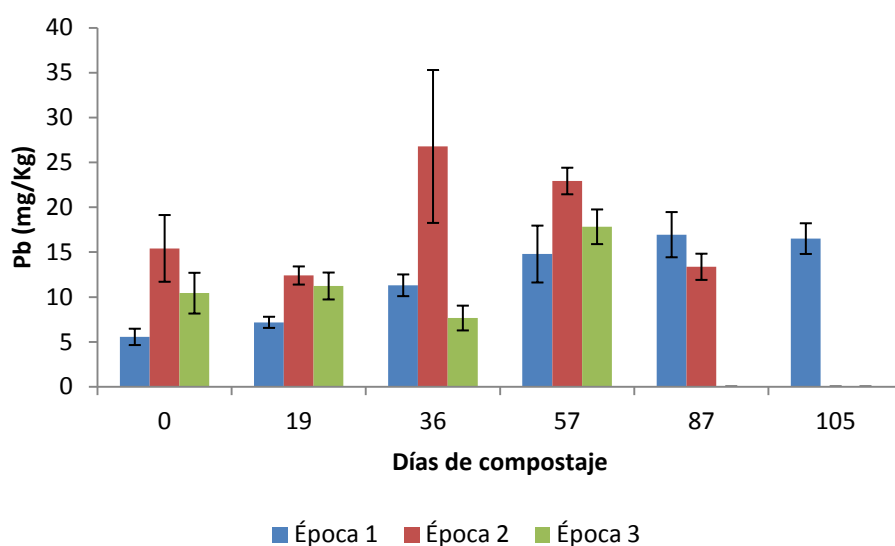


Figura 72. Evolución del contenido de Pb en muestras de compost durante el proceso de compostaje. Resultados expresados como valor medio de tres pilas y tres puntos de muestreo diferentes, sobre materia seca.

El contenido de Plomo (Pb) (Figura 72) muestra nuevamente como la época 2 tiene una concentración mayor que las registradas en las otras dos épocas muestreadas. Sin embargo, se observa que hay una fluctuación durante todo el proceso, experimentando una fase de crecimiento (entre el día 19 y 36 desde el inicio del proceso de compostaje) y dos de disminución (del día 0 al 19 y del 36 al 87 desde el inicio del proceso de compostaje). Así mismo, en el día 36 desde el inicio del proceso de compostaje hay una elevada variabilidad, aunque siempre manteniéndose dentro de los valores establecidos de la normativa española (RD 506/2013). La época experimenta una evolución algo diferente a la de la época 2, experimentando una primera fase de estabilidad (día 0 al 19 desde el inicio del proceso de compostaje), seguida de una disminución en la concentración (día 36 desde el inicio del proceso de compostaje) para volver a aumentar (día 57 desde el inicio del proceso de compostaje). En la época 1 se experimenta únicamente una fase de crecimiento paulatino, pero siempre por debajo de los valores establecidos de la época 2, salvo en el día 87 desde el inicio del proceso de compostaje. Al igual que sucede con el Ni, la concentración obtenida califica al compost, al menos por este elemento, como tipo A.

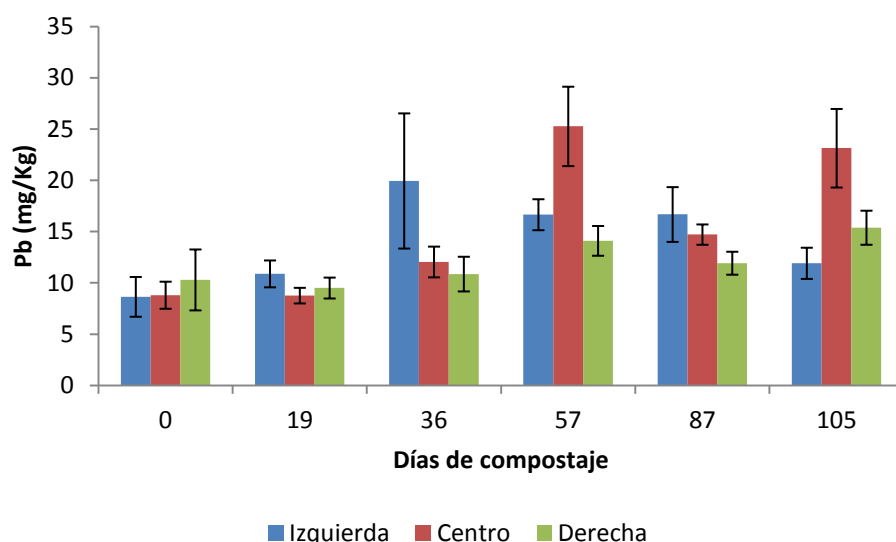


Figura 73. Contenido de Pb según el punto de toma de muestras en la pila de compostaje. Resultados expresados sobre materia seca.

El caso del contenido de Pb (Figura 73), presenta una mayor variabilidad, tanto posicional como a nivel de concentración. Inicialmente, la zona derecha del muestreo presenta una mayor concentración y variabilidad, sin embargo, esto cambia en el segundo punto temporal de muestreo. A los 19 días desde el inicio del proceso de compostaje, es la zona izquierda quien presenta una mayor concentración, seguida por la zona derecha y la central, respectivamente. En la tercera etapa, hay un aumento brusco de la concentración en la zona izquierda, con una alta variabilidad. Le siguen en este punto temporal la zona central y la derecha, con mucha menos variabilidad. A los 57 días desde el inicio del proceso de compostaje, la zona central experimenta un aumento de concentración muy alto, mientras que la zona izquierda disminuye su concentración. La derecha sigue siendo el lugar de muestreo con menor cantidad de plomo, aunque su valor disminuye un poco con respecto a la medición anterior. A los 87 días, la concentración en la zona central vuelve a disminuir, siendo superada en este momento por la zona izquierda de muestreo. En la última etapa temporal, la concentración vuelve a aumentar en la posición central, al igual que en la posición derecha y disminuye en la izquierda.

Las diferencias estacionales en los elementos del Ní (Figura 68) y Pb (Figura 73), pueden ser explicadas debido a que durante el invierno se consumen más alimentos envasados (algunos de ellos en latas metálicas), además de los envoltorios y embalajes de los regalos de las festividades de Navidad. Así mismo, el níquel es uno de los componentes químicos del trigo, patata, judías blancas, lentejas, vino, cacao y chocolates, muy consumido en dicha época invernal. Con respecto al plomo, ciertos envases, como las latas de frutas en almíbar, pueden contener trazas de este elemento. Además, puede haber un incremento del plomo en esta época, derivado de la añadidura a los residuos de las cenizas resultantes de los procesos de calefacción, ya que algunos hogares utilizan activadores para ayudar a prender el fuego. Dichos activadores pueden contener en su composición plomo.

3. CALIDAD DEL COMPOST FINAL (AFINO)

En este punto, trataremos la composición del afino, que es el producto final del proceso de compostaje. La composición, ofrecida en la Tabla 63, se muestra a continuación:

Tabla 63. Composición media del afino.

Parámetro	Media	Desviación típica
C/N	9,92	1,81
Ca (%)	6,94	0,92
C (%)	25,21	3,35
Cu (mg/Kg)	126	41
Conductividad (μS/cm)	2,25	0,30
Cr (mg/Kg)	23,32	25,10
P (%)	0,54	0,06
Fe (mg/Kg)	3584	529
Mg (%)	0,71	0,08
Mn (mg/Kg)	115	89
Ni (mg/Kg)	19,6	3,73
N (%)	2,59	0,37
pH	8,36	0,45
Pb (mg/Kg)	10,30	3,24
K (%)	0,99	0,19
Na (%)	0,64	0,17
S (mg/Kg)	824	1210
Zn (mg/Kg)	382	106
Absorbancia polifenoles	0,81	0,11
Polifenoles totales (mg cafeico/kg compost)	1618	221
Absorbancia DQO	12,48	0,17
DQO (g/l)	250	3,49

Atendiendo a los parámetros analizados, comprobaremos el tipo de compost que se ha obtenido durante el proceso de muestreo, así como los factores nutricionales mínimos, regulados por el RD 506/2013 de la normativa española.

En el Artículo 2 del RD 506/2013, correspondiente a definiciones, destacamos el término de enmienda orgánica: *"enmienda procedente de materiales carbonados de origen vegetal o animal, utilizada fundamentalmente para mantener o aumentar el contenido en materia orgánica del suelo, mejorar sus propiedades físicas y mejorar también sus propiedades o actividad química o biológica, cuyos tipos se incluyen en el grupo 6 del anexo I"*.

Siendo esta definición la más cercana a nuestro caso de estudio, se ha de consultar el citado Grupo 6 del Anexo I. En dicho grupo, se observa una segunda clasificación, siendo la más cercana al caso de estudio, el número 2: "Enmienda orgánica. Compost": *"Producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica) , bajo condiciones controladas, de materiales orgánicos biodegradables del Anexo IV, recogidos separadamente"*.

Según este apartado, la parte nutricional que debería cumplir la muestra media de afino recogida sería de:

- Materia orgánica total: 35%. En la muestra analizada, el porcentaje de C es de 25,21%
- Humedad máxima: 40%. En la muestra analizada, se obtiene un valor de 17,5%.
- C/N <20. La relación C/N del afino analizado establece un valor de 9,92.

Así pues, el afino medio, "compost de residuos sólidos municipales", analizado cumpliría con las disposiciones establecidas en este RD 506/2013.

Sin embargo, en los apartados estudiados, no se hace mención alguna a los metales pesados. Consultando de nuevo el RD 506/2013, se establece que, en su Anexo V, el contenido de metales pesados de un fertilizante elaborado con residuos. Según este punto, la clasificación de los compost puede ser clase A, B o C, dependiendo de si superan o no los límites de los metales pesados que aparecen en este apartado.

Según dicho Anexo, los siguientes parámetros serían clasificados como compost de clase A: níquel, con un valor de $19,6 \pm 3,73$ mg/Kg; plomo, con una concentración de $10,30 \pm 3,24$ mg/Kg; y el cromo, con un contenido de $23,32 \pm 25,10$ mg/Kg.

Para el cobre, con una concentración de 126 ± 41 mg/Kg y el zinc, con un valor de 382 ± 106 mg/Kg, superarían los estándares expuestos en el Anexo del RD 506/2013 para ser calificados como compost de clase A, pero se mantienen dentro de los límites de los clase B, por lo que se clasificarían en esta clase.

Por lo expuesto anteriormente, según el RD 506/2013, el compost estudiado se clasificaría como clase B, al tener alguno de los parámetros citados en dicha categoría.

Así mismo, en el Anexo V, otro de los criterios a considerar fue la presencia de polifenoles, el cual es del 0,8%, haciendo la conversión pertinente, se obtiene que la muestra analizada tiene un valor de polifenoles de $0,16 \pm 0,02\%$, por lo que se establece que también se cumpliría este requisito.

Recapitulando, se obtiene que la muestra analizada esta dentro de la legalidad de la normativa española, referida en el RD 506/2013, y el compost obtenido se clasificaría como clase B en virtud de los metales pesados analizados de la muestra.

4. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LIXIVIADOS.

En este punto, trataremos la composición media de los lixiviados analizados durante la elaboración de la presente Tesis. Dichos resultados se recogen en la Tabla 64.

Tabla 64. Composición del lixiviado medio estudiado.

Parámetros	$\bar{X} \pm \sigma$
Físicos	
pH	7,47±1,1
DBO ₅	4,01±1,8
Conductividad (CE)(μS/cm)	220±127
Floculación (mL)	24,5±15,1
Coagulación (NTU)	162±88
Químicos*	
As	82,9±2,5
Ca	96±118
Cd	0,0010±0,0001
Cr	155,2±5,1
Cu	109±3,7
Fe	889±35
K	>>>300
Mg	156±50
Mn	395±11
Na	>>>300
Ni	340,9±8,5
Pb	0,0072±0,0001
Zn	40,1±1,8

*Datos en mg/L

Como se puede apreciar en la Tabla 64, el alto valor de concentración en los lixiviados de varios de sus parámetros, supone un elemento diferencial y explicativo de diferentes picos vistos a lo largo del estudio de la evolución de los mismos durante el proceso de compostaje.

Hay que citar, que los lixiviados generados en la planta de tratamiento/vertedero, no tienen como finalidad el retorno a las aguas públicas, por lo que la empresa no considera preciso su tratamiento para tal fin, pese a ser uno de los líquidos más contaminantes que existen. El fin de los lixiviados, como ya se ha citado anteriormente, cumple la función de mantener la humedad de las pilas a lo largo de su proceso de compostaje para que éste transcurra en las condiciones óptimas.

5. VARIABILIDAD ESPACIO-TEMPORAL DEL QUIMISMO DE LOS TIPOS DE AGUAS MUESTREADAS CON EL PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL.

5.1. Atributos generales de las distribuciones estadísticas por tipos de aguas.

Se comenzará el análisis con el estudio de los atributos globales que presentan las distribuciones de valores obtenidos, en el marco del control hidrológico del programa de vigilancia ambiental, para cada uno de los tipos de aguas y parámetros considerados. Para ello se utilizan gráficos de tipo box-plots, en los que las categorías de tipos de agua representadas en el eje X se han dispuesto, de izquierda a derecha, según el sentido del flujo hidrológico, para facilitar la lectura:

- Aguas subterráneas fuera -“aguas arriba”- del recinto de la instalación (piezómetros)
 - Aguas superficiales dentro del recinto (balsas de lixiviados)
 - Aguas superficiales de escorrentía fuera del recinto (arroyo)
 - Aguas subterráneas fuera -“aguas abajo”- del recinto de la instalación (piezómetros)

5.1.1. Indicadores generales.

La Figura 74 muestra los gráficos box-plot correspondientes a los parámetros incluidos dentro del grupo de variables considerado como indicadores generales del estatus y condición de cada tipo de aguas (véase el apartado 4.5.1 del Capítulo II de esta memoria).

Como cabía esperar, en comparación con el resto, las aguas subterráneas presentan, en general, menos variabilidad y valores de **temperatura** no superiores a los 20°C. Las aguas de las balsas de lixiviados presentan la mayor variabilidad, con valores extremos entre 5 y 27°C, mientras que las aguas de escorrentía presentan el valor de mediana más bajo y un rango de variabilidad intermedio con valores entre 4 y 17°C.

Con respecto a los **sólidos en suspensión**, todos los tipos de aguas presentan rangos estrechos de valores entre los percentiles 25 y 75, siendo éste mínimo, y la mediana mínima también, en los piezómetros “aguas arriba”. El agua de las balsas de lixiviados presentó la mayor variabilidad y valor central, con episodios anómalos de cifras muy elevadas, de más de 1000 mg/L, que corresponden al periodo estival (por ejemplo, en Agosto 2011, balsa nueva), y que indicarían fenómenos de precipitación química y formación de coloides por cambios en los equilibrios de solubilidad (Sacha, M. (2013)). Este fenómeno vendría impulsado por el descenso, debido a evaporación por las altas temperaturas del mes, del volumen de lixiviados embalsados, y la consiguiente subida de la concentración de solutos. Las aguas del arroyo y de los piezómetros “aguas abajo” muestran distribuciones parecidas, incluso con algo más de dispersión y existencia de “outliers” en el segundo caso, lo cual es destacable ya que las aguas circulantes en medios porosos no suelen tener este comportamiento respecto al parámetro de sólidos en suspensión.

El **pH** es el parámetro, de entre los incluidos en este grupo, que mostró el mayor grado de diferenciación entre los distintos tipos de agua, con valores de tendencia central que difieren entre ellas en hasta casi 2 unidades. Los dos tipos de aguas subterráneas mostraron distribuciones simétricas, ausencia de valores anómalos destacables, y valores centrales parecidos (e inferiores al resto de aguas) en el rango muy ligeramente ácido (mediana en torno a 6,75). Sin embargo, la distribución fue más platicúrtica, indicando más dispersión, para el caso de los puntos de muestreo “aguas abajo”. En las balsas, los valores más frecuentes

estuvieron algo por encima de la normalidad ($\text{pH} > 7,5$ entre los percentiles 25 y 75), y la distribución fue de carácter relativamente leptocúrtica (valores de pH no muy diferentes entre sí para los percentiles 75 y 90, y 25 y 10). Las aguas más alcalinas y con más rango de variación de pH fueron las del arroyo, mostrando la distribución un claro sesgo negativo (valores para el percentil 75 y 90 que se separan bastante de la mediana hacia pH más bajos, pero sin sobrepasar sensiblemente el nivel de pH 7.

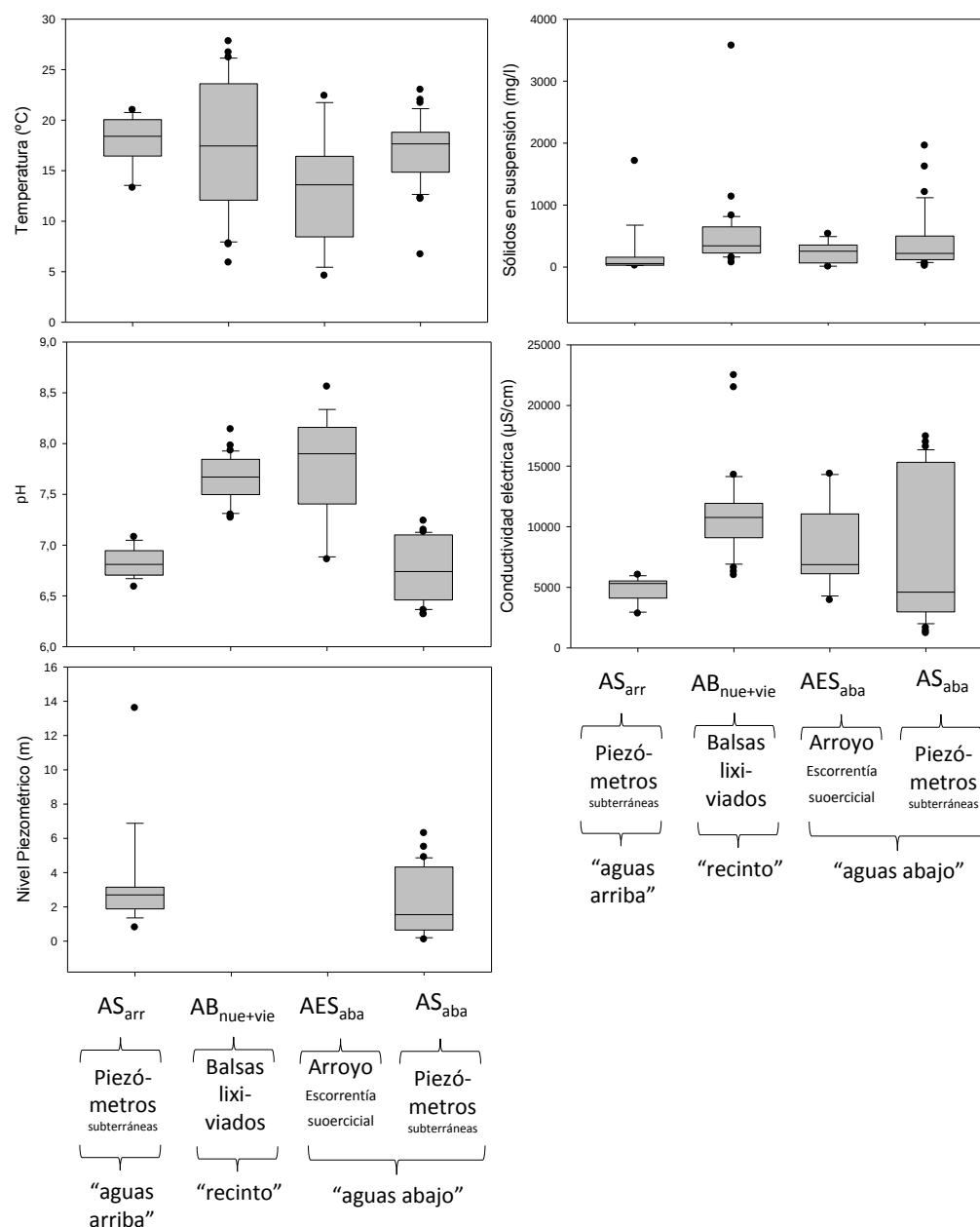


Figura 74. Atributos de las distribuciones estadísticas de los valores de temperatura, sólidos en suspensión, pH y conductividad eléctricas en los distintos tipos de aguas. Para el caso de las aguas subterráneas se muestra también el caso de los niveles piezométricos.

AS_{arr} : piezómetros "aguas arriba" de la instalación; $AB_{nue+vie}$: balsas de lixiviados nueva y vieja; AES_{aba} : arroyo de escorrentía superficial "aguas abajo"; AS_{aba} : piezómetros "aguas abajo".

Las líneas horizontales indican el valor de la mediana; el extremo de las cajas más cercano a cero, el percentil 25; el extremo de las cajas más lejano de cero, el percentil 75; las barras de error inferior y superior, el rango de valores entre los percentiles 10 y 90, respectivamente; y los puntos negros, los valores anómalos ó "outliers".

Respecto a las distribuciones estadísticas de los valores de **conductividad eléctrica**, las medianas fueron las mínimas (pero en todo caso no bajas; en torno a 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en las aguas subterráneas. La influencia de las instalaciones sobre las muestras recogidas en los piezómetros “aguas abajo” de nuevo se manifiesta claramente por el carácter mucho más platicúrtico y con fuerte sesgo positivo de su distribución (mayor frecuencia de episodios de subida importante de la conductividad eléctrica), en comparación con lo obtenido para los piezómetros “aguas arriba”, en los que dicha influencia no es esperable. Así, en los piezómetros “aguas abajo” se pasa de valores de 1216 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en Noviembre 2014, que pueden considerarse bajos, a cifras muy elevadas (17450 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en Noviembre 2012. Por su lado, las balsas de lixiviados presentaron valores elevados de conductividad con mayor frecuencia que los otros tipos de aguas (excepto para aproximadamente el tercio superior de la distribución de los piezómetros de abajo; circunstancias ambas que presumiblemente están relacionadas, indicando pérdidas por drenaje desde las balsas). Así mismo, las balsa mostraron valores anómalos muy elevados en periodos estivales (21500 y 22500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en Agosto de 2011 y de 2012, respectivamente); circunstancia que ya se ha comentado también para los sólidos en suspensión. Por último, la conductividad del agua del arroyo presentó valores intermedios y distribución con sesgo positivo, al igual que en el caso de los piezómetros “aguas abajo”, lo que de nuevo podría indicar impactos de las instalaciones del vertedero.

5.1.2. Indicadoras de carga de nutrientes y eutrofia.

La Figura 75 muestra los gráficos box-plot correspondientes a los parámetros incluidos dentro del grupo de variables considerado como indicador de carga de nutrientes y grado de eutrofia en los distintos tipos de aguas (véase el apartado 4.5.1 del Capítulo II).

Como cabía esperar, el parámetro **carbono orgánico total** (C.O.T.) mostró valores muy bajos y con escasísima variabilidad en los piezómetros “aguas arriba”; la distribución es algo más platicúrtica y con más asimetría positiva “aguas abajo”, lo que de nuevo denotaría cierto efecto contaminante de la instalación sobre las aguas subterráneas. Los valores en las balsas de lixiviados no suelen ser excesivamente altos (percentil 75 < 1500 mg/L), pero se producen episodios extremos (en torno a 10000 mg/L e incluso más) que coinciden con el periodo estival (agosto 2011 y 2012).

Para los casos del **nitrógeno Kjeldahl** y el **amonio**, las respectivas distribuciones estadísticas presentan un patrón parecido de variación entre tipos de aguas: (i) para las subterráneas, medianas de valor muy bajo y poca dispersión, aunque mayor sesgo positivo “aguas abajo”. La concentración media de estas dos variables es máxima en las balsas, y aunque sus distribuciones son simétricas, presentan “outliers” positivos muy extremos, indicando episodios de enorme incremento de las concentraciones (~ 1500 mg/L de N-Kjeldahl y especialmente ~ 2000 mg/L de amonio) en periodo otoñal (nov. 2011). No obstante, el grado de variabilidad en las cifras de NT y NH_4^+ fue aún mayor en el agua de escorrentía superficial que, aunque con medianas entre un 40-50% inferiores que en las balsas, muestran mucha amplitud entre los valores de los percentiles 25 y 75. El caso del arroyo también mostró un elevado sesgo positivo (y “outlier en agosto 2011), consistente con la circunstancia homóloga citada para los piezómetros “aguas abajo”, e indicativo de influencias contaminantes de la instalación.

Como se puede apreciar para la concentración de **nitratos**, las medianas corresponden a valores muy bajos en todos los tipos de aguas pero, a excepción del agua de las balsas, sus distribuciones estadísticas muestran los niveles de sesgo positivo más extremos comentados hasta ahora. Destaca el caso de las muestras de piezómetros “aguas arriba”, cuyo percentil 75

está cerca de los 150 mg/L, y presentan episodios con valores de hasta más 200 mg/L. Dada la localización de estos piezómetros, dichas anomalías habría que atribuirlos, no a influencias de la instalación, sino a contaminación agraria difusa (Randal, G.W. et al. (2001)), dados los usos agrícolas (olivar) que predominan en el entorno de la misma. De hecho, el valor “outlier” corresponde a febrero (2014), fecha del año en que se suele proceder a añadir fertilizantes tras la recogida de la aceituna y la poda. Esto sería aplicable también al tipo de distribuciones estadísticas de los datos de nitrato en los piezómetros “aguas abajo” y en el arroyo, con anomalías positivas en primavera y otoño, lo que concuerda con el patrón que suele darse en ecosistemas sometidos a estacionalidad de tipo mediterráneo (Carreira, J.A. et al. (1995)). Respecto a las balsas de lixiviados, los niveles de nitrato fueron siempre muy bajos y sin apenas dispersión, lo que estaría relacionado con condiciones de anoxia que inhiben la nitrificación (Rassamee, V. et al. (2011)). Respecto a los **nitritos**, las cifras más frecuentes están por debajo de 2 mg/L, la dispersión con sesgo muy positivo es mayor en las aguas de escorrentía y en las aguas de balsa, y los episodios anómalos se dieron “aguas arriba” (Agosto 2014)”, en las balsas (Mayo y Agosto 2012), y en el arroyo (Agosto 2014).

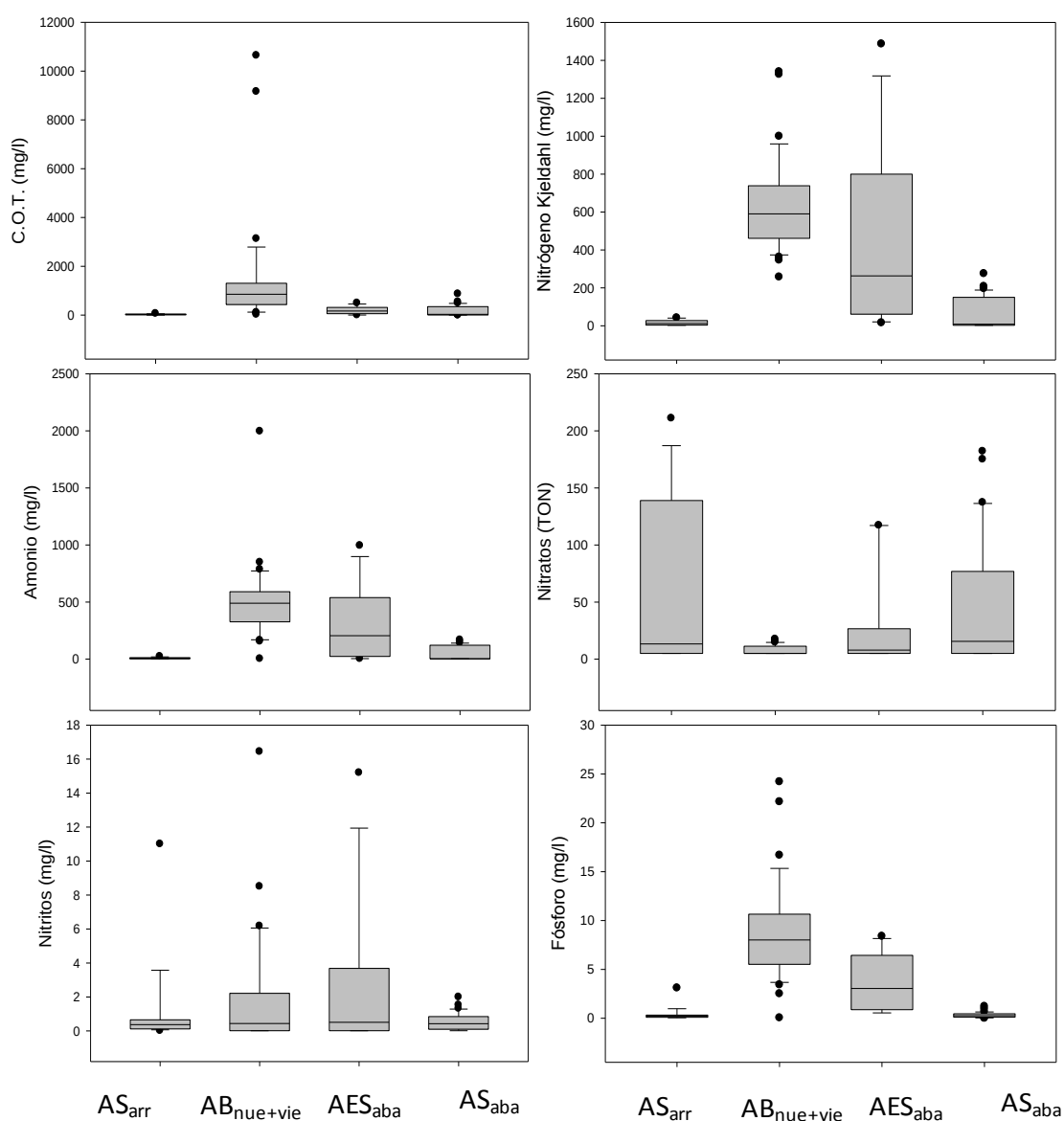


Figura 75. Atributos de las distribuciones estadísticas de los valores de concentración de carbono orgánico total-COT, nitrógeno-Kjeldahl, amonio, nitratos, nitritos y fósforo total en los distintos tipos de aguas.

AS_{arr}: piezómetros “aguas arriba” de la instalación; AB_{nue+vie}: balsas de lixiviados nueva y vieja; AES_{aba}: arroyo de escorrentía superficial “aguas abajo”; AS_{aba}: piezómetros “aguas abajo”.

Las líneas horizontales indican el valor de la mediana; el extremo de las cajas más cercano a cero, el percentil 25; el extremo de las cajas más lejano de cero, el percentil 75; las barras de error, el rango de valores entre los percentiles 90 y 10; y los puntos negros, los valores anómalos ó “outliers”.

Para el **fósforo** medido en los piezómetros, dado el gran efecto de tamponador que sobre sus concentraciones en disolución tienen los suelos y medios porosos (Stevenson, FJ. (1985)), las cifras más frecuentes fueron muy bajas (< 1 mg/L) y la dispersión también. En las balsas, la mediana fue sensiblemente superior (> 5 mg P/L), y la distribución presenta una elevada asimetría positiva, de modo que el percentil 90 se da para valores ya considerables, de ~6 mg P/L, y existen episodios con concentraciones de > 16 mg P/L. Las aguas de escorrentía superficial “aguas abajo” de la instalación mostraron una mediana de concentración de fósforo intermedia, y grados de kurtosis y sesgo parecidos a los de las balsas.

5.1.3. Otros iones y macro- y micro-nutrientes no biolimitantes.

La Figura 76 muestra los gráficos box-plot correspondientes a las concentraciones de sulfato y sulfuro, cloruro y fluoruro, e hierro, en los distintos tipos de aguas (ver apartado 4.5.1 del Capítulo II).

Comparando las distribuciones estadísticas que muestran las concentraciones de **sulfatos** y de **sulfuros**, se aprecia que muestran un patrón de variación opuesto entre los distintos tipos de aguas. Así, las aguas subterráneas exhiben valores mayores de sulfatos y bajísimos de sulfuros, mientras que éstos tienen niveles mayores en las balsas y el arroyo. Esta circunstancia es consistente con el predominio de actividad oxidante del azufre bajo condiciones oxigénicas, o de disolución de yesos, en las aguas subterráneas, y de actividad sulfato reductora en las balsas bajo condiciones de anaerobiosis y mayor carga de materia orgánica disuelta (Subtil, E. et al. (2012)). Las distribuciones de los datos correspondientes a posiciones de muestreo “aguas abajo” denotan claramente una influencia de las instalaciones sobre su quimismo del azufre. Las medianas para el sulfato son considerablemente más elevadas en estas posiciones, particularmente en el caso de las aguas subterráneas, y los datos muestran mucha mayor dispersión, en tanto que las cifras en la balsa son bajas. Comparando los patrones opuestos para sulfato y sulfuros, parece derivarse una influencia de las instalaciones, de modo que las posiciones “aguas abajo” se enriquecen en sulfato como consecuencia del transporte de sulfuro desde las balsas y su oxidación a sulfato en el medio del entorno del vertedero.

Con respecto a los **cloruros**, las aguas subterráneas arriban presentan una variabilidad moderada de valores relativamente bajos (inferiores a 1000 mg/l), mientras que las balsas presentan valores mayores (entre 1000 y 2000 mg/l); los cloruros son indicadores de contaminación residual doméstica. En las aguas de escorrentía los valores permanecen con moderada baja variabilidad y valores (1500 a 500 mg/l). En las aguas subterráneas abajo, la variabilidad es muy elevada y sus valores comprenden desde valores prácticamente en el límite de detección, a “outliers” muy elevados (de 0 a 4000 mg/l). Los **fluoruros**, en general, presentan poca variabilidad, y concentraciones bajas (< 1,5 mg/L). Los valores en términos relativos más elevados se dan en las aguas subterráneas, pero son en todo caso bajos, como corresponde a la escasa solubilidad de las rocas con minerales fluorados, lo que ocasiona que la concentración de fluor suela ser minoritaria en aguas excepto localizaciones geográficas muy particulares (Datta, P.S. et al. (1996)). La variabilidad temporal observada para estos dos parámetros se corresponde con lo descrito por De la Rosa, J. (2015).

Los valores de **hierro** fueron consistentemente muy bajos y estables en los cuatro puntos de muestreo, salvo un punto anómalo en las aguas subterráneas de arriba (Febrero 2014) y dos puntos en las aguas subterráneas abajo (Mayo 2013 y Febrero 2014, del piezómetro 2). Esto indicaría que en general los niveles de oxigenación no llegan a ser muy bajos en ninguno de los tipos de aguas, en tanto que de lo contrario, la mayor solubilidad del Fe^{2+} en condiciones de anaerobiosis se habría manifestado en eventos de mayor concentración de Fe (Rabajczyk A. et al. (2014)), posiblemente asociado a los momentos en que los valores de sulfuros son elevados.

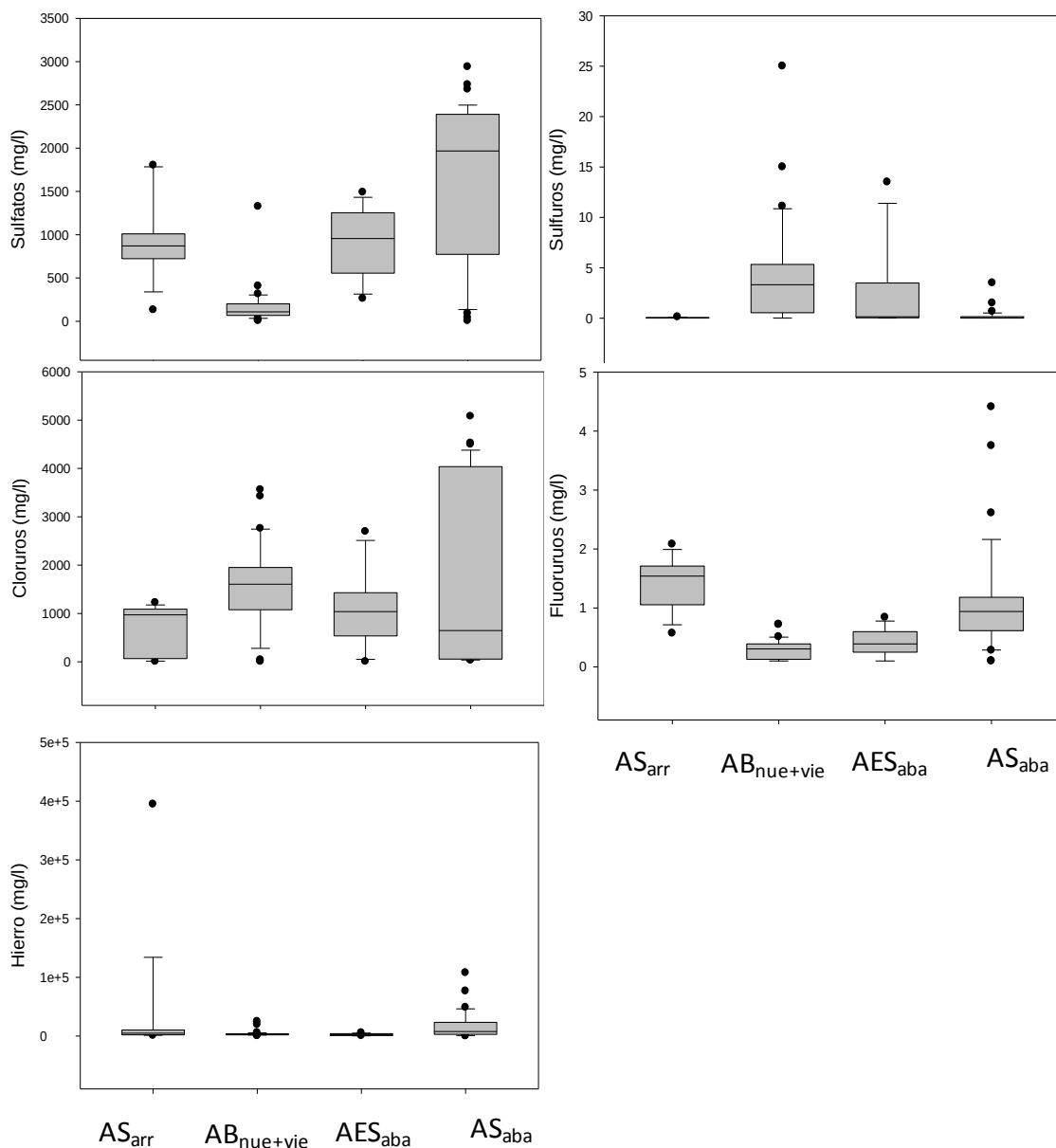


Figura 76. Atributos de las distribuciones estadísticas de los valores de concentración de sulfatos y sulfuros, cloruros y fluoruros, e hierro en los distintos tipos de aguas.

AS_{arr} : piezómetros “aguas arriba” de la instalación; $\text{AB}_{\text{nue+viej}}$: balsas de lixiviados nueva y vieja; AES_{aba} : arroyo de escorrentía superficial “aguas abajo”; AS_{aba} : piezómetros “aguas abajo”.

Las líneas horizontales indican el valor de la mediana; el extremo de las cajas más cercano a cero, el percentil 25; el extremo de las cajas más lejano de cero, el percentil 75; las barras de error, el rango de valores entre los percentiles 90 y 10; y los puntos negros, los valores anómalos ó “outliers”.

5.1.4. Indicadores de contaminación y toxicidad por metales pesados.

La Figura 77 muestra los gráficos box-plot correspondientes a las concentraciones de metales pesados en los distintos tipos de aguas (ver apartado 4.5.1 del Capítulo II).

Todos los metales pesados considerados muestran un patrón común en cuanto a que sus distribuciones estadísticas muestran con frecuencia destacable valores anómalos muy extremos hacia el lado del sesgo distribucional positivo. Esta patrón es típico en la dinámica de este tipo de contaminantes, cuya acción derivada de una fuente puntual típicamente ocurre a través de eventos episódicos pero extremos, de ahí su riesgo (Jarüp, L. (2003)). Estos valores extremos puntuales aparecieron más frecuentemente en el caso de las balsas de lixiviados (habitualmente en verano; e.g., picos de Cd y Cu en Agosto 2011 y Agosto 2012 en la balsa de lixiviados nueva). Pero también se dieron en posiciones “aguas abajo”. Todo ello indicaría influencias de las instalaciones sobre el quimismo de las aguas del entorno (el punto anómalo que aparece para muchos de los metales pesados en el piezómetro “aguas arriba” corresponde en todos los casos a Noviembre 2014, fecha que en esta posición posiblemente se trate de un falso positivo).

Salvo los citados eventos episódicos, las concentraciones de **cadmio, mercurio, cobre, plomo y zinc** son generalmente bajas en todas las posiciones de muestreo (incluso en las balsas), con niveles en las aguas subterráneas y de escorrentía que pueden considerarse normales para aguas naturales (EPA, 1994).

En el caso del **arsénico**, las cifras de unos pocos $\mu\text{g/L}$, rango que se considera normal, son las que aparecieron con mayor frecuencia en el piezómetro “aguas arriba”. No obstante, su distribución de valores tiene una cierta asimetría positiva, de modo que el percentil 90 alcanza el nivel de $30 \mu\text{g/L}$. Sin embargo, las concentraciones de arsénico fueron considerablemente mayores en las balsas y en sus áreas de influencia “aguas abajo”. La mediana en las balsas está cerca de los $40 \mu\text{g/L}$, y se dieron puntualmente valores de alrededor del doble de esta cifra en el periodo estival (Agosto 2011 y Agosto 2012, en la balsa nueva). Esto estaría relacionado tanto con el hecho de que la elevada evaporación en las balsas, ligada a las altas temperaturas ambientales de esta estación, disminuye el volumen de líquido embalsado, como a la circunstancia de que era en verano cuando se efectuaban operaciones de riego sobre las pilas recirculando el lixiviado de las balsas. Esto apoya la idea, expresada también por otros autores (Reyes 2015), de que este tipo de manejo es desaconsejable. Los niveles de arsénico en las aguas de escorrentía superficial (arroyo) presentaron una distribución muy asimétrica, con elevado sesgo positivo (percentil 10 cercano a $0 \mu\text{g/L}$; %til 50 $\approx 20 \mu\text{g/L}$; %til 90 $> 70 \mu\text{g/L}$), y episodio anómalo con $> 80 \mu\text{g/L}$ en Agosto 2011. Asimismo, los datos de los piezómetros “aguas abajo” mostraron valores de tendencia central algo mayores que sus homólogos “aguas arriba” y un mayor grado de dispersión. Todo ello apunta a que el vertedero representa una fuente de contaminación leve-media por arsénico sobre la hidrología de su entorno inmediato.

El **cromo** es otro de los metales pesados analizados respecto al cual los datos indican un impacto del vertedero. Sus concentraciones en aguas naturales no suele sobrepasar los $25 \mu\text{g/L}$ (VanLoon, G.W. et al. (2005)). Este es el caso de más del 75% de los valores obtenidos piezómetros “aguas arriba” (percentil 75 situado por debajo del umbral de $25 \mu\text{g/L}$). Sin embargo, al menos el 50% de los valores observados en posiciones “aguas abajo” (arroyo y piezómetros) se sitúan por encima de este umbral (en AES_{aba} y AS_{aba} la mediana está por encima de ese umbral). Además, la mediana en las balsas alcanza una cifra cercana a los $100 \mu\text{g/L}$ y con distribución bastante leptocúrtica, indicando valores consistentemente elevados de cromo en esta posición, que sería la fuente de polución para las posiciones “aguas abajo”.

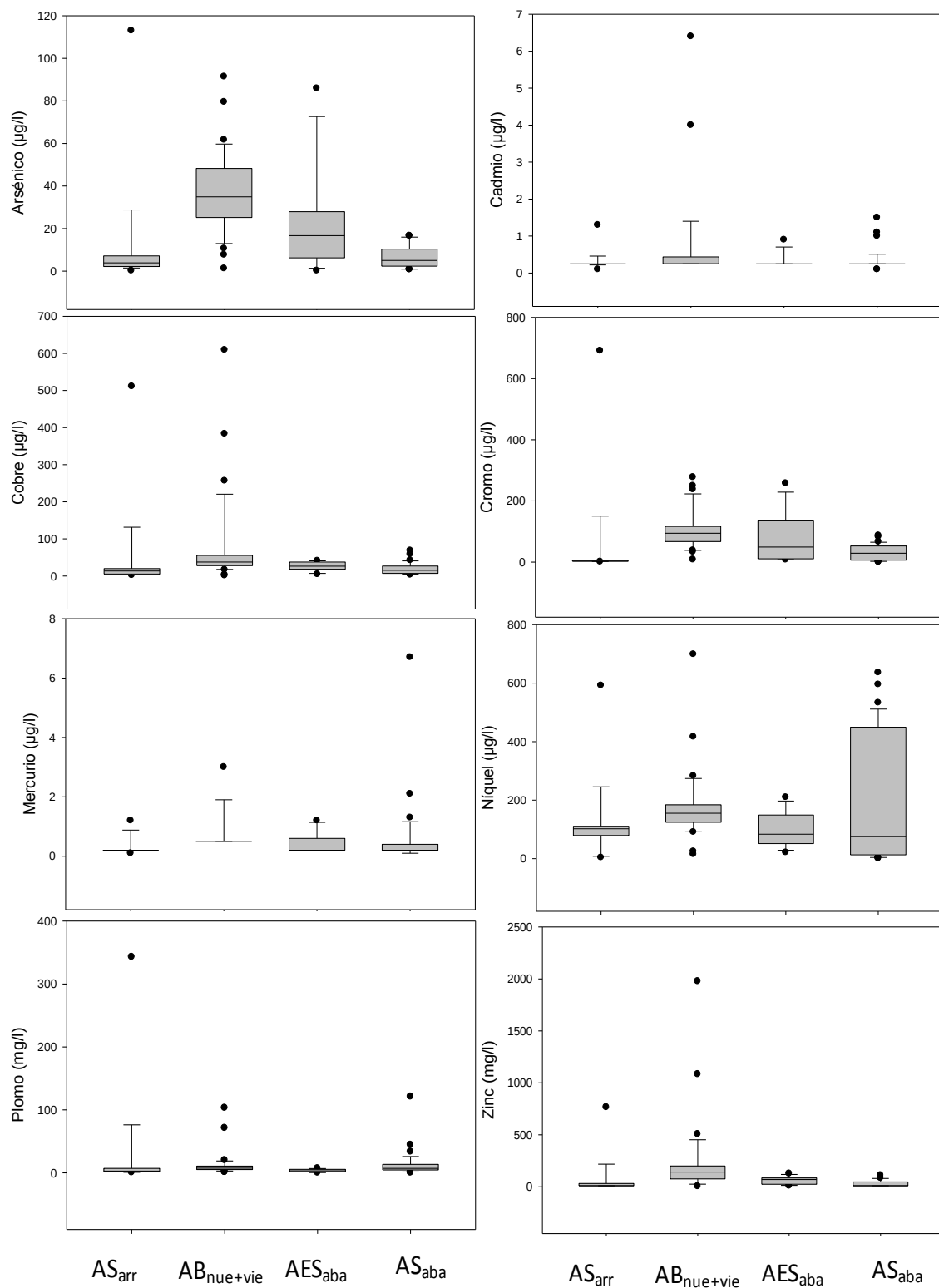


Figura 77. Atributos de las distribuciones estadísticas de los valores de concentración de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc en los distintos tipos de aguas consideradas.

AS_{arr} : piezómetros “aguas arriba” de la instalación; $AB_{nue+vie}$: balsas de lixiviados nueva y vieja; AES_{aba} : arroyo de escorrentía superficial “aguas abajo”; AS_{aba} : piezómetros “aguas abajo”.

Las líneas horizontales indican el valor de la mediana; el extremo de las cajas más cercano a cero, el percentil 25; el extremo de las cajas más lejano de cero, el percentil 75; las barras de error, el rango de valores entre los percentiles 90 y 10; y los puntos negros, los valores anómalos ó “outliers”.

Respecto al **níquel**, presenta valores poco elevados y con baja variabilidad en aguas subterráneas de arriba (el punto anómalo corresponde al piezómetro 1 en Noviembre 2014, del que ya se ha comentado que podría ser un falso positivo). Las balsas tienen valores algo más elevados y más variabilidad (se dieron dos puntos anómalos positivos en la balsa de lixiviado nueva, circunstancia que de nuevo concurre en periodo estival -Agosto 2011 y Agosto 2012- y otro dos “outliers”, en este caso negativos, para la balsa de lixiviado antigua en Mayo y Noviembre de 2011). En el agua de escorrentía se ve mayor variabilidad con respecto a las balsas, con valores máximos similares a los mínimos de las balsas y mínimos inferiores al de las aguas subterráneas de arriba. Las aguas subterráneas de abajo presentan mayor variabilidad y valor que ninguno de los otros puntos considerados (anómalías positivas en Febrero 2011 y Mayo 2012 en el piezómetro 2; Noviembre 2014 en el piezómetro 3).

5.1.5. Indicadores de contaminación y actividad redox de origen microbiano.

La Figura 78 muestra los gráficos box-plot correspondientes a coliformes totales y fecales, y a la demandas biológica y química de oxígeno, en los distintos tipos de aguas (ver apartado 4.5.X del Capítulo II).

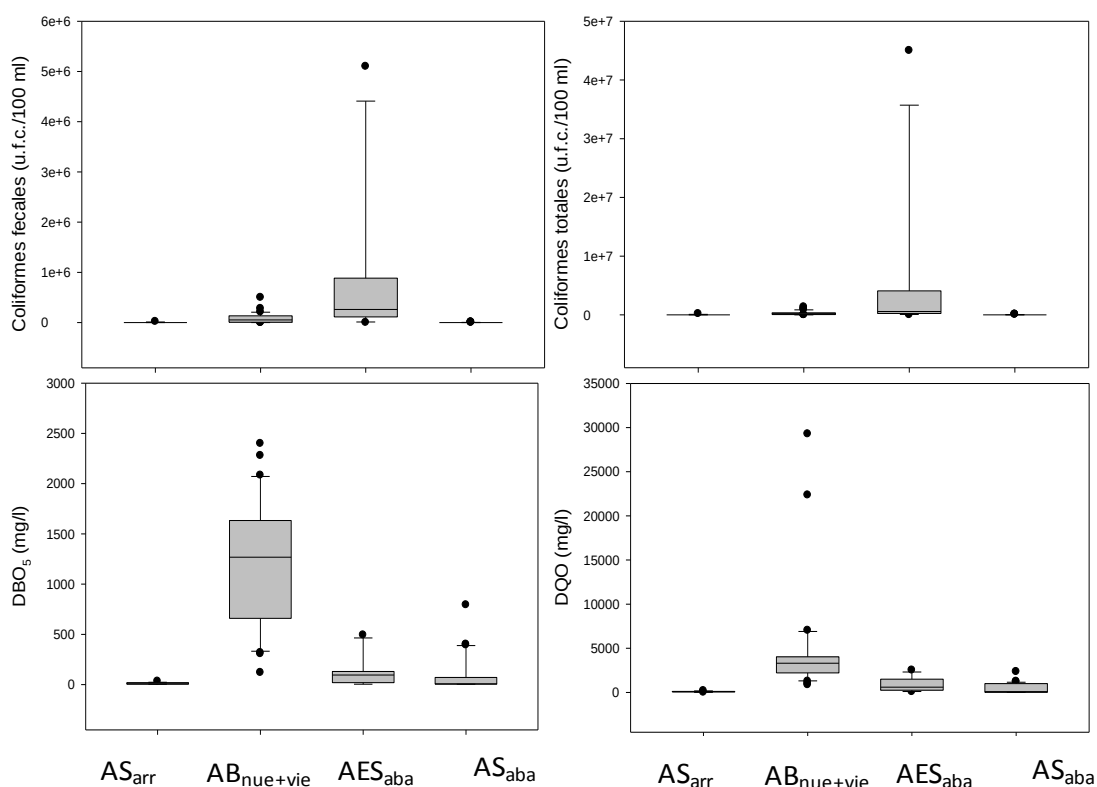


Figura 78. Atributos de las distribuciones estadísticas de los valores correspondientes a los parámetros coliformes fecales y totales, y demandas biológica y química de oxígeno, en los distintos tipos de aguas consideradas.

AS_{arr}: piezómetros “aguas arriba” de la instalación; AB_{nue+vie}: balsas de lixiviados nueva y vieja; AES_{aba}: arroyo de escorrentía superficial “aguas abajo”; AS_{aba}: piezómetros “aguas abajo”.

Las líneas horizontales indican el valor de la mediana; el extremo de las cajas más cercano a cero, el percentil 25; el extremo de las cajas más lejano de cero, el percentil 75; las barras de error, el rango de valores entre los percentiles 90 y 10; y los puntos negros, los valores anómalos ó “outliers”.

Las distribuciones de los valores de número de unidades formadoras de colonias de **coliformes fecales y totales** fueron muy similares entre sí por cada tipo de aguas. Las aguas subterráneas (ni tan siquiera las situadas “aguas abajo”) mostraron ausencia de contaminación fecal, lo que es consistente con el hecho de que se trata de una planta de reciclaje y vertido de residuos sólidos urbanos, y no de aguas residuales, y que este tipo de contaminación es difícil que alcance el medio subterráneo excepto en situaciones de muy elevada conductividad hidráulica del medio poroso (Pitkänen, T. et al. (2011)). Sin embargo, la presencia de cifras y picos más elevados de coliformes fecales en las balsas podría relacionarse con la práctica de adición de lodos procedentes de EDAR a las pilas de compostaje, y el riego de las mismas recirculando los lixiviados, de modo que parte de esta contaminación microbiana pasaría a las aguas de escorrentía superficial (arroyo), que muestran el valor de mediana más elevado de todos los tipos de aguas considerados. Además, la visita de numerosas aves (particularmente gaviotas) a la zona de depósito del vertedero, y su actividad de merodeo por el entorno, podría también explicar los niveles apreciables de contaminación fecal en el arroyo.

Los parámetros **DBO₅** y **DQO** mostraron cifras muy bajas y escasísima dispersión para las muestras de piezómetros “aguas arriba”. En las balsas, la mediana para la DBO₅ se sitúa en niveles muy elevados (> 1000 mg/L), la distribución tiene una cierta asimetría negativa y el percentil 90 se halla en el rango de > 2000 mg/L. Estas cifras son indicativas de aguas muy contaminadas (el rango 100-500 mg/L clasifica como aguas medianamente contaminadas; y el rango 500-3000 mg/L, como muy contaminadas (Sawyer, C. et al. (2003)). Esto implica una muy elevada demanda potencial de oxígeno por parte de actividad microbiana quimio-organo-heterótrofa, que estaría ligada a la alta carga de carbono orgánico total disuelto y de concentración de nutrientes (Smith, V.H. et al. (1999)), que ya se ha comentado anteriormente para el caso de las balsas de lixiviados. Como corresponde, los valores de DQO son aún más elevados, pero mostrando en este caso una distribución mucho más leptocúrtica que la mostrada por la DBO. Los eventos de anomalías positivas que se detectaron para estos parámetros en las aguas de las balsas fueron: Mayo 2012 y Febrero 2014 en la balsa antigua para la DBO₅; y Agosto 2011 y Agosto 2012 en la balsa nueva para la DQO. Respecto a las posiciones de muestreo “aguas abajo”, las distribuciones estadísticas fueron similares en el arroyo y en los piezómetros, tanto para la DBO₅ como para la DQO. En esta posición “aguas abajo” de la instalación, los valores son algo mayores que los registrados en las aguas subterráneas “aguas arriba”, pero en todo caso son mucho menores que los observados en las balsas. No obstante, especialmente para el caso del agua del arroyo, cerca del 50 % de los valores registrados corresponderían a una clasificación como aguas medianamente contaminadas (mediana cercana al valor de 100 mg/L). El valor positivo muy anómalo observado en los piezómetros “aguas abajo” corresponde a piezómetro 2, en el muestreo de fecha Agosto de 2013.

5.1.6. Otros indicadores de contaminación.

La Figura 79 muestra los gráficos box-plot correspondientes a las concentraciones de aceites y grasas, cianuros y fenoles en los distintos tipos de aguas (ver apartado 4.5.1 del Capítulo II).

En general, se observa que las aguas subterráneas tienen valores bajos y poca variabilidad de esas tres variables, mientras que las balsas presentan valores más altos y más variabilidad, disminuyéndose estas en las aguas de escorrentía, pero siendo más altas que las de las aguas

subterráneas. Los valores “outliers”, en su mayoría de carácter positivo, correspondieron a las siguientes casuísticas:

- Para **aceites y grasas**: en aguas subterráneas, Noviembre de 2014; en las balsas, Febrero 2011 (antigua) y Mayo 2011 (nueva); en el arroyo, Febrero de 2012.
- Para **Cianuros**: en aguas subterráneas “arriba”, en Noviembre 2013; en la balsa nueva en Noviembre 2013.
- Para **Fenoles**: en aguas subterráneas “arriba”, Agosto 2012; en la balsa nueva, Mayo 2013; en la escorrentía superficial, Febrero 2012; en aguas subterráneas “abajo”, Agosto 2012 y Febrero 2014.

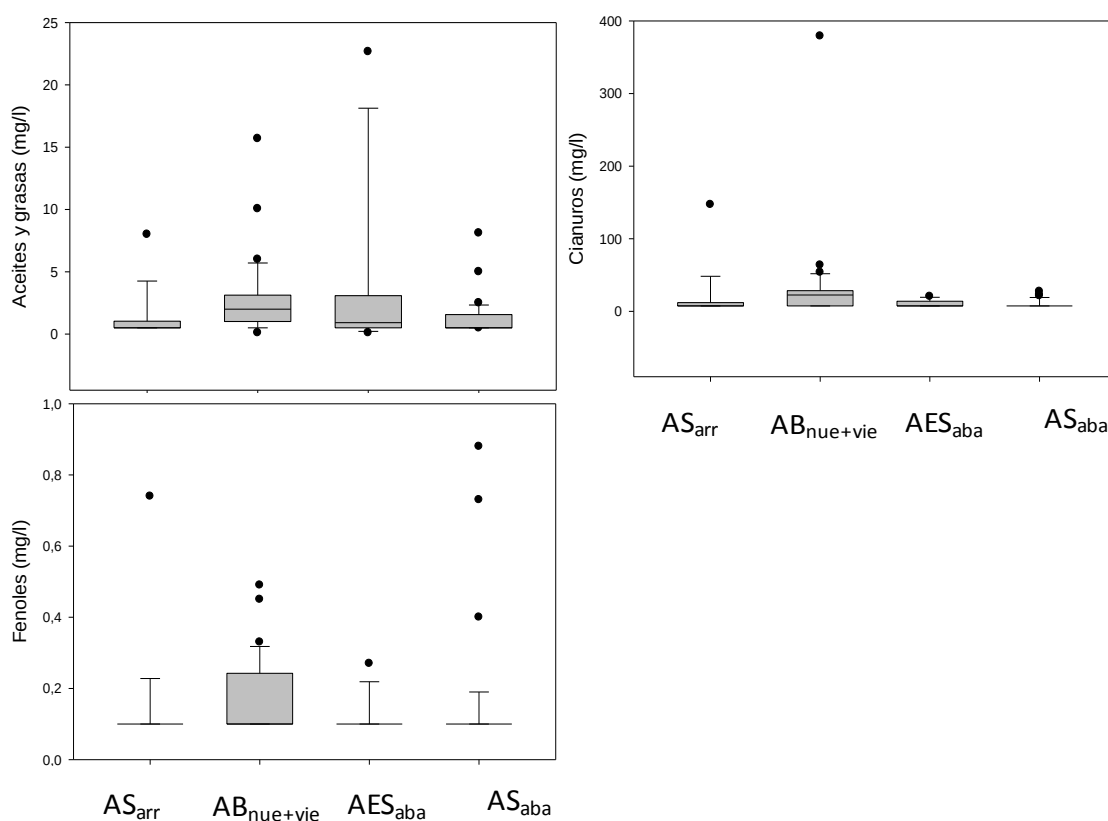


Figura 79. Atributos de las distribuciones estadísticas de los valores correspondientes a los parámetros coliformes fecales y totales, y demandas biológica y química de oxígeno, en los distintos tipos de aguas consideradas.

AS_{arr}: piezómetros “aguas arriba” de la instalación; AB_{nue+vie}: balsas de lixiviados nueva y vieja; AES_{aba}: arroyo de escorrentía superficial “aguas abajo”; AS_{aba}: piezómetros “aguas abajo”.

Las líneas horizontales indican el valor de la mediana; el extremo de las cajas más cercano a cero, el percentil 25; el extremo de las cajas más lejano de cero, el percentil 75; las barras de error, el rango de valores entre los percentiles 90 y 10; y los puntos negros, los valores anómalos ó “outliers”.

5.2. Variabilidad temporal estacional e inter-anual del quimismo de las aguas.

En el apartado anterior se han descrito las principales características de las distribuciones estadísticas de todos los parámetros analizados en las muestras de aguas incluidas dentro del programa de vigilancia ambiental. El énfasis se puso entonces en los patrones generales que diferencian unos de otros tipos de aguas. En este apartado nos centramos en los patrones de dinámica temporal del quimismo de dichas aguas, poniendo el foco sobre posibles patrones de variación estacionales e inter-anales, en el intervalo considerado desde Noviembre 2010 a Noviembre 2014.

En primer lugar se describe la evolución de las condiciones meteorológicas durante dicho periodo, que pueden imponer su impronta sobre los patrones estacionales e inter-anales del quimismo de las aguas. En segundo lugar, se pasa a describir la evolución temporal que mostraron los diferentes parámetros analíticos. Puesto que el conjunto de estos parámetros ya se ha tratado en el apartado anterior, para éste se ha llevado a cabo la selección de un subconjunto de ellos. Dicha selección ha empleado como criterio la importancia indicadora del parámetro y el hecho de que el análisis de su distribución estadísticas indicara potencial de patrones temporales coherentes.

5.2.1. Dinámica temporal de las condiciones meteorológicas.

La Figura 80 muestra los valores medios mensuales (calculados a partir de los datos diarios originales) para las **temperaturas del aire media, mínima y máxima**.

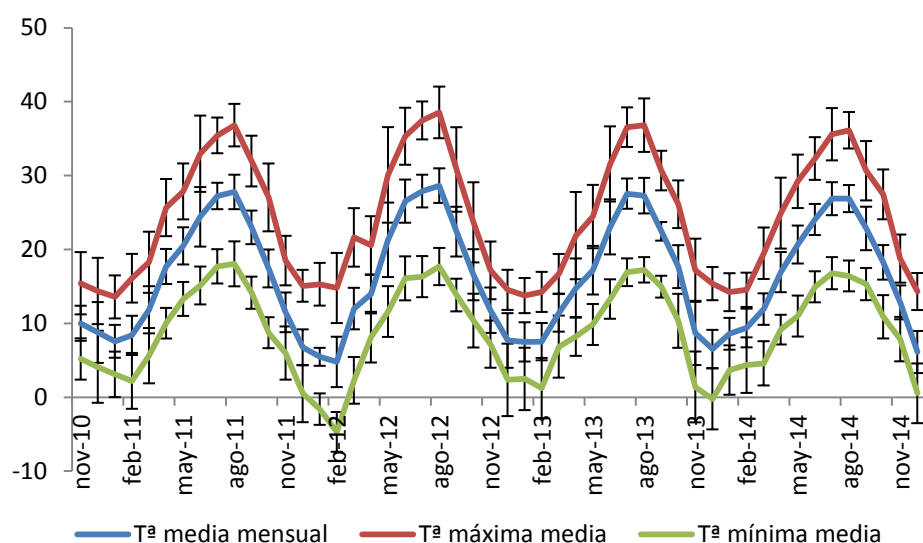


Figura 80. Evolución de la Temperatura a lo largo del periodo noviembre 2010-noviembre 2014 (promedios mensuales calculados a partir de valores diarios; se muestra la media $\pm$ desviación estándar).

El patrón de variación térmico responde a la tipología climática mediterránea, con temperaturas más elevadas en verano y más bajas en invierno. Las temperaturas máximas mensuales oscilaron anualmente entre los 38°C (en verano) y los 18°C (en invierno). Las temperaturas mínimas lo hicieron entre unos 18°C (en verano, siendo aproximadamente la misma en los cuatro años del estudio) y un mínimo de -3°C en invierno en el año 2012 (en diciembre de 2013 se alcanzó el cero, pero las medias mensuales invernales estuvieron por

encima de cero el resto de inviernos). No se aprecian ningún patrón claro de variación interanual (la serie abarca una ventana temporal demasiado pequeña para ello).

Respecto a la **precipitación** (Figura 81), se aprecia una elevada variabilidad estacional e interanual respecto al volumen de precipitación mensual, la precipitación media diaria y el nº de días con precipitación durante el mes durante los cuatro años del estudio. De nuevo el patrón e de acusada mediterraneidad, con ausencia o poca precipitación en verano. Para esta variable sí existe un patrón acusado de variación intranual, siendo el año hidrológico 2011-2012 particularmente seco.

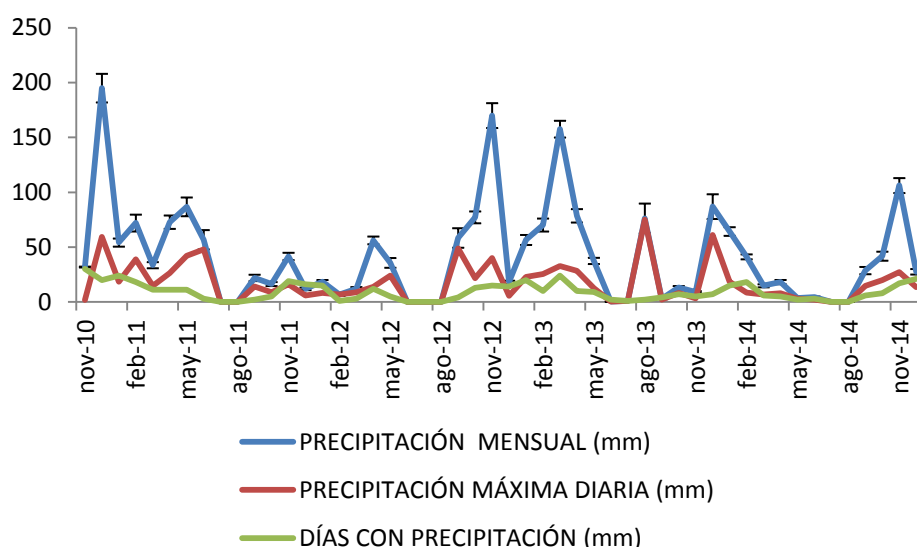


Figura 81. Evolución de las precipitaciones a lo largo del periodo noviembre 2010-noviembre 2014 (cifras calculadas a partir de valores diarios; en su caso, se muestra la media $\pm$ desviación estándar).

Por su lado, para la **humedad relativa del aire** (Figura 82), al igual que para las temperaturas, aparece un claro patrón de carácter cíclico. Los valores máximos de humedad aparecen en estaciones frías (invierno), en las que prácticamente todos los días del mes alcanzan valores de saturación (100%), excepto en el año hidrológico 2011-2012, que ya se ha comentado que fue muy seco. Por otro lado, los veranos marcan mínimos de humedad relativa del aire, de nuevo también en el año hidrológico 2011-2012. El rango de humedad máxima oscila entre el 100% (en invierno) al 65% (verano), y el rango de humedad mínima oscila entre el 65% en invierno y el 15% en verano.

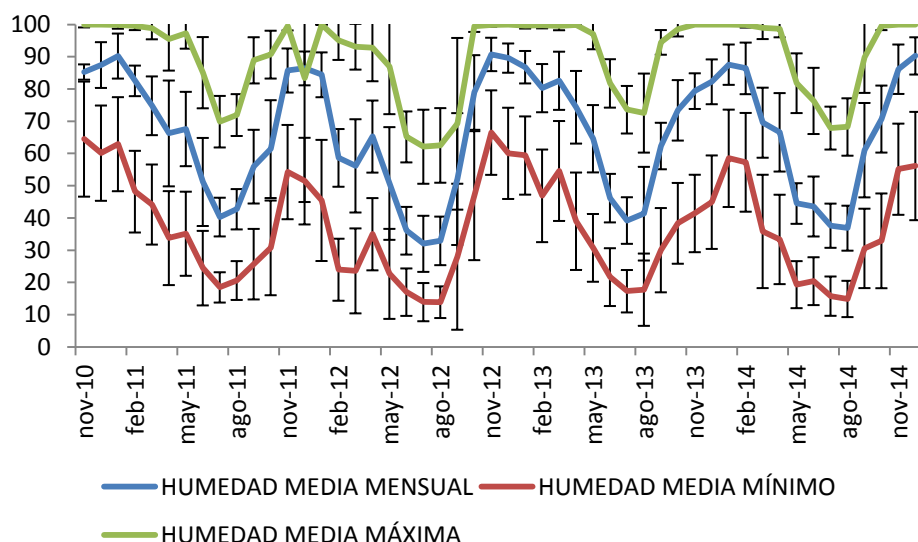


Figura 82. Evolución de la Humedad a lo largo del periodo noviembre 2010-noviembre 2014 (cifras calculadas a partir de valores diarios; se muestran las media $\pm$ desviaciones estándar).

Respecto a la **radiación solar** (Figura 83), se comprueba como los picos de máxima radiación mensual acumulada y media diaria mensual se corresponde con las estaciones veraniegas, mientras que los mínimos se registran en la estación invernal.

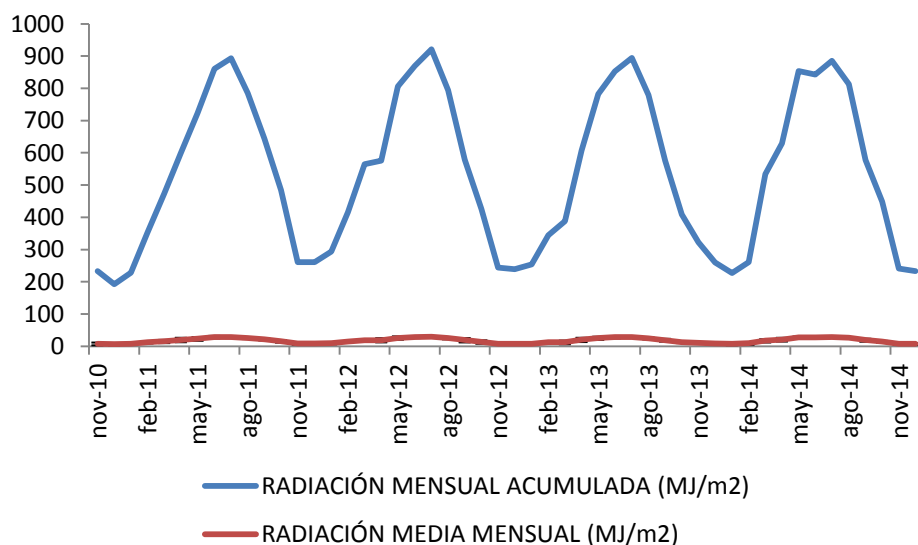


Figura 83. Evolución de la Radiación a lo largo del periodo noviembre 2010-noviembre 2014.

Como nota general a la climatología presentada, se comprueba que los parámetros estudiados se corresponden completamente con una climatología mediterránea, con veranos calurosos y secos e inviernos húmedos, donde se registran la mayoría de las precipitaciones del año.

5.2.2. Dinámica temporal de variables de control generales en los distintos tipos de aguas.

Se comienza ahora a describir la evolución temporal que exhibe el quimismo de las aguas incluidas en el programa de vigilancia ambiental durante el periodo noviembre 2011. Para facilitar la lectura de las gráficas, los casos de aguas subterráneas (piezómetros) se han representado con líneas discontinuas, y los de aguas superficiales (balsas de decantación y arroyo) con líneas continuas. Asimismo, los datos correspondientes a aguas tomadas en posiciones “aguas arriba” de las instalaciones, y por tanto no influenciadas por éstas, se representan con líneas de color azul; los correspondientes a posiciones “aguas abajo”, y por tanto susceptibles de recibir impactos contaminantes, en color rojo.

La Figura 84 muestra los cambios entre fechas de muestreo para los parámetros sólidos en suspensión, pH y conductividad eléctrica. El pH y la conductividad eléctrica son variables de control de los equilibrios químicos de solubilidad y de estatus general de las aguas. A su vez la alteración de dichos equilibrios puede inducir fenómenos de precipitación química y formación de sustancias coloidales que permanecen en suspensión, influenciando la variable sólidos en suspensión. Por estos motivos, sus evoluciones temporales se analizan de modo conjunto.

El **pH** mostró escasa variabilidad temporal en todos los tipos de aguas. En todo caso, dicha variabilidad fue la menor en las aguas subterráneas, para las que el patrón temporal fue casi coincidente para las muestras tomadas “aguas arriba” y “aguas abajo” de las instalaciones. Esto esperable dado que los medios porosos por donde circula este tipo de aguas suelen estar muy tamponados (Muniruzzaman, M. et al. (2015)); en nuestro caso particular, los suelos del entorno de las instalaciones tienen naturaleza margosa, siendo fuerte en ellos el rol tamponante de los carbonatos, que mantiene el pH por encima de un valor de 6,5. Respecto a las balsas, el pH se sitúa durante todo el periodo estudiado en el rango intermedio al mostrado por las aguas del entorno, y no se observó un patrón claro de oscilación estacional (algunos años, los máximos observados corresponden al periodo invernal -Febrero 2012-, y otros al periodo estival -Agosto 2013 y 2014-). Las aguas más alcalinas fueron las de escorrentía superficial, alcanzándose picos por encima de pH 8,5 (Agosto 2011).

La **conductividad eléctrica** mostró una variabilidad temporal baja-moderada en las aguas subterráneas, de modo análogo a lo comentado para el pH, indicando una cierta homeostasis en las concentraciones de solutos disueltos, lo que es asimismo propio de los medios porosos. Cabe destacar que entre las réplicas de piezómetros aguas abajo los valores fueron muy diferentes en valor absoluto (oscilando en torno a 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en un caso, y a 15000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el otro; motivo por el que se han representado por separado), aunque cualitativamente sus variaciones estacional e inter-anual son comparables. En las aguas superficiales, la conductividad eléctrica fue mucho más variable en el tiempo. Las balsas presentan consistentemente picos anuales máximos en agosto, aunque la magnitud de los mismos varió de un año a otro (por ejemplo, máximo de muy elevado valor absoluto en el verano del año hidrológico 2011-12, que fue particularmente seco como se comentó en el apartado 5.2.1). En las estaciones lluviosas, los valores descienden a mínimos anuales que ocurren bien en otoño, o bien en primavera, dependiendo del año. Existe cierta correspondencia entre la conductividad eléctrica observada en el agua de las balsas y la registrada en aguas de escorrentía tomadas en el arroyo cercano a las instalaciones (nótese que la línea correspondiente a éste presenta discontinuidades ya que el arroyo estaba seco en varios de los momentos estivales de muestreo). La excepción fue el muestreo de Febrero 2012, en el que el pico de conductividad en el arroyo no se correspondió con otro en las balsas).

Relacionado con lo expuesto para el parámetro anterior, los **sólidos en suspensión** muestran máximos pronunciados en las aguas de balsa principalmente. El segundo grupo de aguas que muestran los valores más altos son las aguas de escorrentía y las subterráneas “aguas abajo”. Evidentemente, al haber pasado el agua por el proceso de lixiviación, se enriquece de elementos sólidos (coloides...) en suspensión, denotando un efecto de la instalación sobre el entorno. Los valores más bajos, por lógica, se corresponden con las aguas arriba, aunque en los tres últimos periodos del estudio, esta relación no es así. Al igual que con la conductividad, se aprecia un relación directa con la temperatura del entorno, experimentando máximos cuando más calor hace y mínimos cuando las temperaturas decaen.

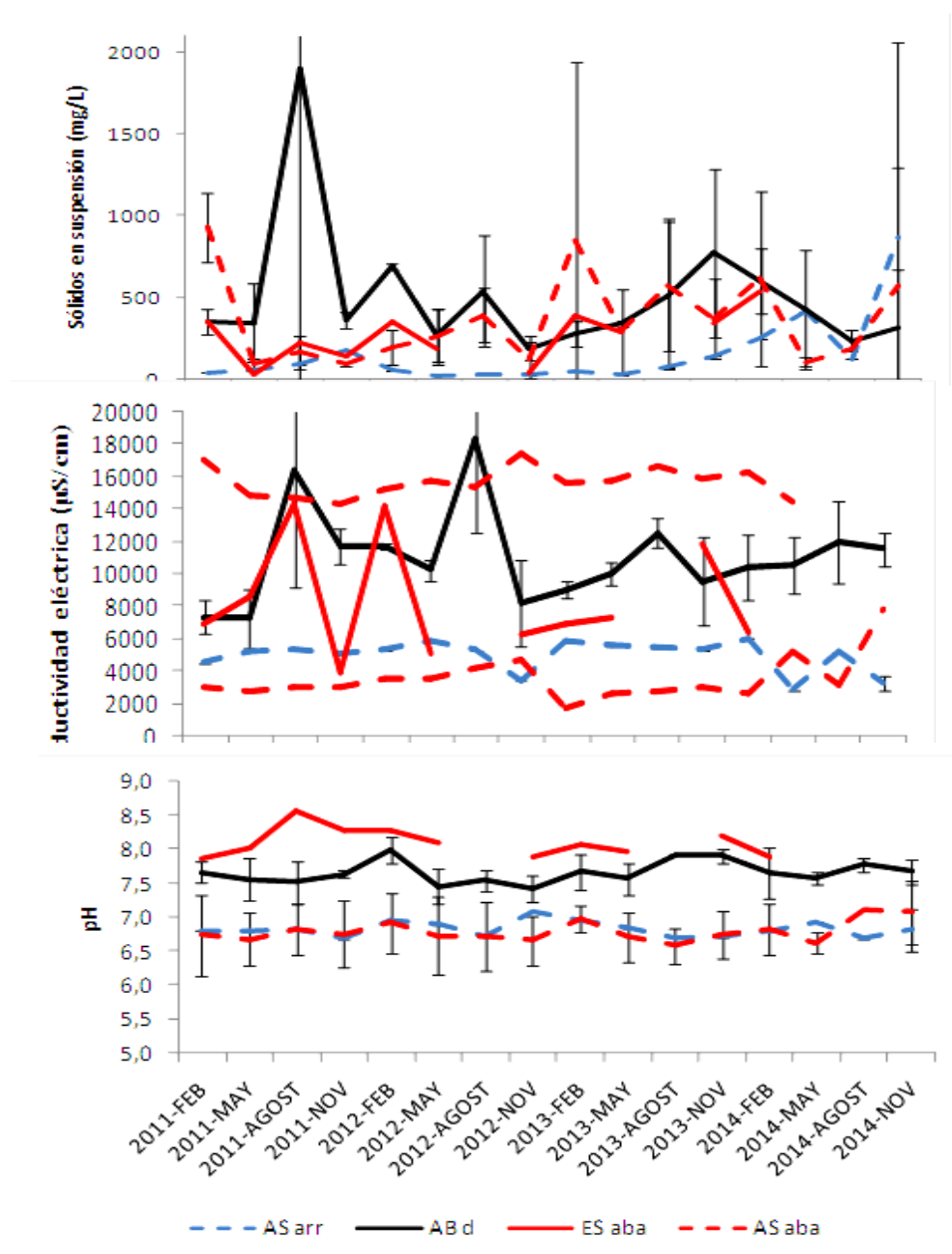


Figura 84. Evolución temporal en los distintos tipos de aguas de los parámetros pH, conductividad eléctrica y sólidos en suspensión, a lo largo del periodo noviembre 2010-nov. 2014. Se muestran, en su caso, los valores medios $\pm$ desviación estándar.

ASarr: aguas subterráneas-lisímetros “aguas arriba” de la instalación; ABd: agua de las balsas de decantación; ESaba: agua de escorrentía superficial-arroyo “aguas debajo de la instalación; ASaba: aguas subterráneas-lisímetros “aguas arriba” de la instalación.

La coincidencia temporal en el lixiviado de las balsas de picos de conductividad eléctrica y sólidos en suspensión en verano y bajadas en los periodos lluviosos se relacionaría con el ciclo hidrológico anual (un factor exógeno) y la correspondiente bajada del volumen de lixiviados por evaporación durante el verano (Kang, K. et al. (2002)). No obstante, también hay que advertir la posible influencia de un factor endógeno: el riego de las pilas de compostaje recirculando lixiviados de las balsas se efectuaba en verano, mientras que este protocolo de manejo no se aplicaba durante el invierno. Así, la recirculación de lixiviados en verano sería también un factor contribuyente a dichos picos observados en verano. Estos efectos perjudiciales de la recirculación de lixiviados han sido estudiados también por otros autores (Rastogi, M. et al. (2014)), lo que lleva a que se desaconsejen. Como se verá más adelante, este efecto de la recirculación de lixiviados sobre la calidad de las aguas se produce también en relación con otros parámetros como las concentraciones de metales pesados.

5.2.3. Dinámica temporal de variables indicadoras de carga orgánica y estado redox en los distintos tipos de aguas.

La Figura 85 muestra los cambios entre fechas de muestreo para los parámetros carbono orgánico total disuelto, demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno.

En relación con el **carbono orgánico total** (COT), las aguas subterráneas fuera de la influencia de la instalación mostraron las cifras más bajas y casi nula variabilidad estacional e inter-anual. Sin embargo, este parámetro sí alcanza en las balsas máximos anuales muy elevados en agosto (de hasta más de 5000 mg/L), consistentemente entre los años 2010 a 2013, y en mayo en el año 2014. Por tanto, al igual que lo ya comentado para la CE y SS, el patrón de variación temporal con máximos estivales y mínimos en el periodo intra-anual lluvioso vuelve a repetirse para el COT. Las aguas del entorno “aguas abajo” de las instalaciones (arroyo y piezómetros) muestran cifras de COT algo más elevadas que las situadas “aguas arriba”, pero en todo caso inferiores a 500 mg/L durante prácticamente toda la ventana temporal analizada.

Respecto a la **demanda biológica de oxígeno** (DBO₅), también aparece un patrón temporal más o menos regular, al menos en el caso del agua de las balsas. Los valores absolutos se mantienen consistentemente muy o bastante por encima de los del resto de tipos de aguas. Estos valores, excepto en agosto de 2011, se mantienen en niveles por encima de 500 mg/L, propios de aguas muy contaminadas, aunque no se llega en ningún momento al umbral de 3000 mg/L definido para la clasificación como aguas extremadamente contaminadas (Sawyer C. et al. (2003)). Además, se registran, en las balsas de lixiviados, los mínimos de DBO₅ en la estación de verano (meses de cercanos a Agosto) y máximos en invierno (meses cercanos a Febrero). Es, por tanto, un patrón inverso al observado para los parámetros CE, COT y metales pesados (véase éstos últimos más adelante). La DBO proporciona una medida aproximada de la materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales (Sawyer, C. et al. (2003)). La concurrencia de valores elevados de COT (en principio, un recurso para la actividad microbiana), pero bajos de DBO₅ (escaso potencial para utilizar dicho recurso), indica que la actividad de degradación microbiana en las balsas estaría inhibida durante los estiajes debido a efectos tóxicos sobre la misma de un exceso de acumulación de solutos y metales pesados, entre otros. Por otro lado, se aprecia una cierta asociación entre la oscilación temporal de la DBO en las balsas, y el correspondiente patrón que muestran las aguas tomadas en posiciones “aguas abajo” de la instalación, denotando de nuevo el efecto de aquéllas sobre el entorno. Para el piezómetro “aguas arriba”, los niveles de DBO son muy bajos, y prácticamente siempre inferiores al umbral de 50 mg/L, indicando ausencia de contaminación en estas aguas.

Como cabía esperar, las balsas de lixiviados mostraron, durante todo el periodo 2010-2014 estudiado, cifras de **demanda química de oxígeno** muy superiores a los del resto de tipos de aguas. Sin embargo, interesantemente, los máximos anuales corresponden ahora con los muestreos de agosto excepto en el 2014 (justo el patrón inverso al descrito para la DBO). Esta circunstancia se pone de manifiesto en los valores del índice DBO/DQO que se muestran en la Tabla 65.

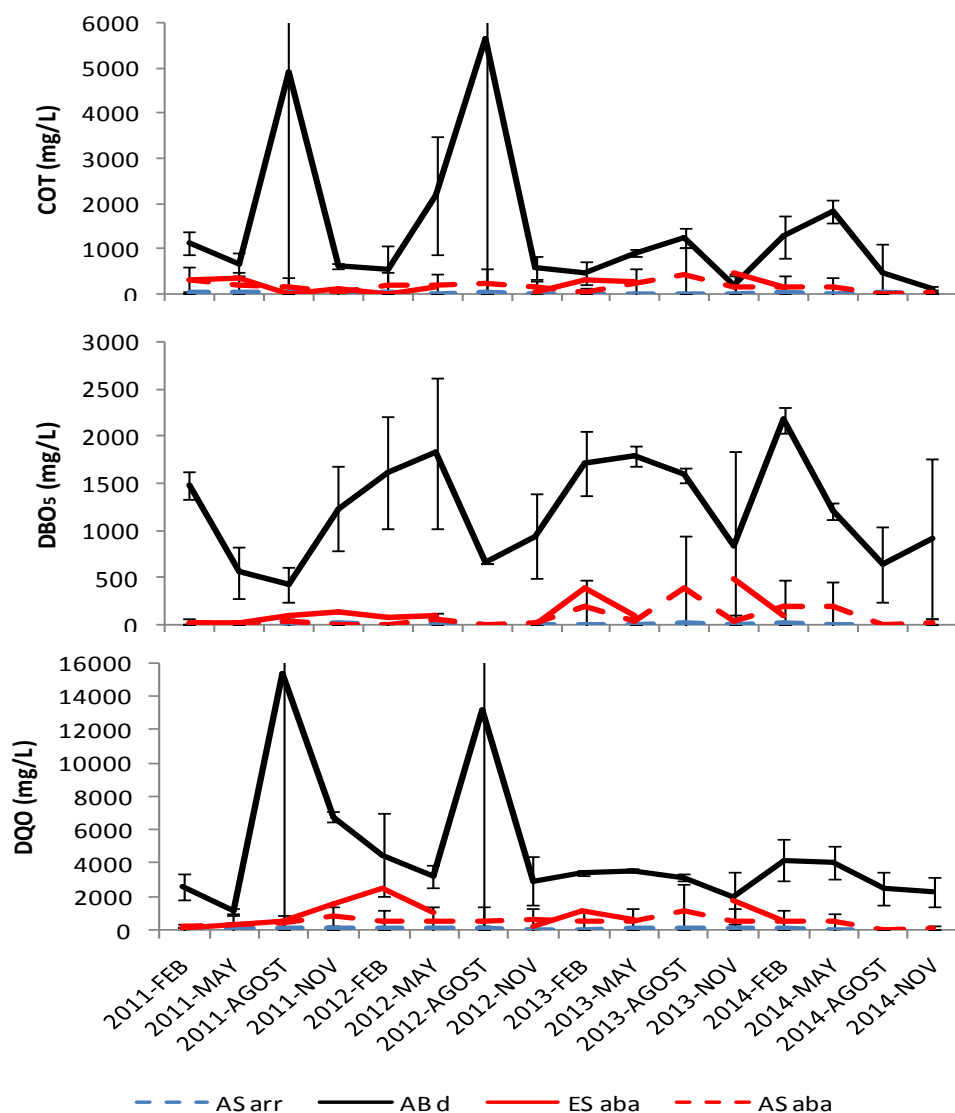


Figura 85. Evolución temporal en los distintos tipos de aguas de los parámetros concentración de carbono orgánico disuelto-COT, demanda biológica de oxígeno-DBO₅ y demanda química de oxígeno-DQO, a lo largo del periodo noviembre 2010-noviembre 2014.

Se muestran, en su caso, los valores medios $\pm$ desviación estándar.

ASarr: aguas subterráneas-lisímetros “aguas arriba” de la instalación; ABd: agua de las balsas de decantación; ESaba: agua de escorrentía superficial-arroyo “aguas debajo de la instalación”; ASaba: aguas subterráneas-lisímetros “aguas arriba” de la instalación.

Valores de la relación DBO₅/DQO > 0,5 son típicos de vertidos de naturaleza urbana, o clasificables como urbanos, y por tanto más biodegradables (más biodegradabilidad conforme esa relación sea mayor; Golterman, H.L. et al. (1980)). Este rango de valores sólo apareció, salvo una excepción, en el agua de las balsas, y dentro de ellas casi siempre (excepto en agosto

2013) en los meses de estaciones húmedas (Tabla 65). Esto es consistente con lo expresado más arriba: aunque los niveles de COT en las balsas tienden a ser menores en invierno, su biodegradabilidad sería mayor en estos periodos en los que la concentración de solutos y tóxicos como los metales pesados son inferiores. Por el contrario, en verano, aunque los niveles de COT son muy elevados, su biodegradabilidad bajaría debido a los citados efectos tóxicos de concentración o al uso de riegos con lixiviados, en tanto que, asociado a esos elevados niveles de COT, la DQO se hace máxima. Este tipo de correspondencia entre los patrones de variación temporal del índice DBO/DQO y el régimen termopluviométrico ha sido también observado por otros autores (Bernabeu, A. (2010)).

En relación con los otros tipos de aguas, el patrón de variación estacional e interanual de la DQO fue cualitativamente muy similar al comentado para la DQO. Las relaciones consistentemente bajas, excepto algunas excepciones, de la relación DBO/DQO en las aguas subterráneas y superficiales del entorno sugiere una escasa biodegradabilidad de la carga orgánica en las mismas. En este caso, dicha circunstancia estaría más ligada al carácter refractario de dicha materia orgánica, que a efectos importantes de toxicidad sobre la actividad de degradación microbiana en estas aguas, cuyos niveles de contaminantes no son en general continuamente elevados (ver apartado 5.1.). Por tanto, el carácter refractario a la descomposición que, según el índice DBO/DQO, parecen exhibir las aguas externas al entorno de la instalación sería debido a que la fracción más biodegradable se consumiría rápidamente por los microorganismos en dichos medios, quedando en las aguas (y por tanto, resultando en la analítica) sólo la fracción más difícil de descomponer biológicamente.

Tabla 65. Evolución temporal de la relación DBO₅/DQO en los distintos tipos de agua.

Se han marcado en rojo los valores DBO/DQO < 0.2, indicadores de difícil biodegradabilidad de la carga orgánica en lixiviados y aguas; en azul, los valores DBO/DQO > 0.4, indicadores de medianamente fácil biodegradabilidad (Salazar, L. et al. (2009))

Fecha	Posición de muestreo de aguas			
	ASarr	ABd	ESaba	ASaba
2011-FEB	0.049	0.572	0.247	0.166
2011-MAY	0.110	0.495	0.055	0.046
2011-AGOST	0.037	0.028	0.193	0.087
2011-NOV	0.160	0.181	0.086	0.005
2012-FEB	0.038	0.358	0.035	0.025
2012-MAY	0.117	0.561	0.092	0.101
2012-AGOST	0.048	0.050	-	0.007
2012-NOV	0.267	0.316	0.021	0.024
2013-FEB	0.051	0.502	0.351	0.401
2013-MAY	0.089	0.498	0.143	0.076
2013-AGOST	0.316	0.507	-	0.334
2013-NOV	0.107	0.422	0.268	0.084
2014-FEB	0.174	0.516	0.189	0.393
2014-MAY	0.267	0.297	-	0.397
2014-AGOST	0.073	0.255	-	0.089
2014-NOV	0.363	0.398	0.019	0.276
Media:	0.14	0.37	0.14	0.16

5.2.4. Dinámica temporal de variables indicadoras de carga de nutrientes en los distintos tipos de aguas.

La Figura 86 muestra los cambios entre fechas de muestreo para los parámetros nitrógeno-Kjeldahl, amonio, nitrato y fósforo.

Con respecto al **nitrógeno Kjeldahl**, los valores para las aguas subterráneas se mantienen prácticamente por debajo de los 100 g/L durante todo el periodo estudiado. No obstante, en el caso de las que están fuera de influencia de la instalación, los valores absolutos son sensiblemente inferiores, así como el grado de variación estacional e inter-anual, respecto a los registrados en las muestras de lisímetros “aguas abajo”. Este patrón se repite tanto para el **amonio** como para el **fósforo**. Todo ello, de nuevo, sugiere un efecto eutrofizante del vertedero sobre las aguas del entorno (Mindy S. (2007)).

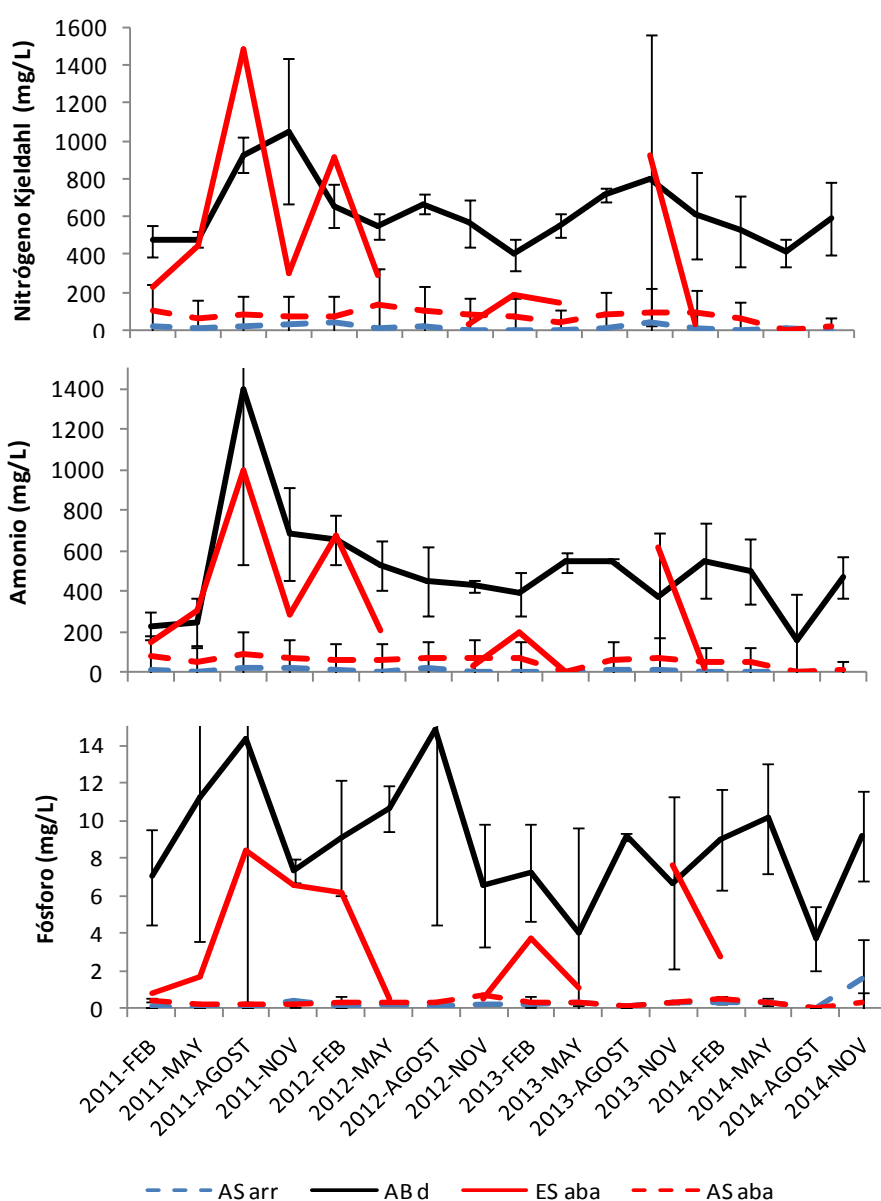


Figura 86. Evolución temporal en los distintos tipos de aguas de las concentraciones de nitrógeno- Kjeldahl, amonio, nitrato y fósforo, a lo largo del periodo noviembre 2010- noviembre 2014.

Se muestran, en su caso, los valores medios $\pm$ desviación estándar.

ASarr: aguas subterráneas-lisímetros “aguas arriba” de la instalación; ABd: agua de las balsas de decantación; ESaba: agua de escorrentía superficial-arroyo “aguas debajo de la instalación; Asaba: aguas subterráneas-lisímetros “aguas arriba” de la instalación.

Es aún más destacable el caso de las aguas del arroyo, que presentan valores muy elevados de concentración de nitrógeno total, particularmente en 2011-2012, puntualmente incluso por encima de los niveles observados en las balsas, y en noviembre 2013. El patrón temporal del parámetro nitrógeno-Kjeldahl en la escorrentía superficial del entorno “aguas abajo” de la instalación concuerda fielmente con los correspondiente al amonio y el fósforo.

Por su lado, las analíticas del agua de las balsas arrojan valores de esos tres parámetros generalmente por encima de los de las aguas del entorno, y de nuevo una concordancia de patrón temporal elevada con las aguas potencialmente influenciadas por los lixiviados de la instalación, y para los tres parámetros. Así, hay momentos de elevadas concentraciones en los tres parámetros tanto en las aguas de las balsas como en las tomadas “aguas abajo” (e.g., agosto 2011). El pico para fósforo que presentan las analíticas de las balsas en agosto 2012 y 2013, y mayo 2014, no aparece en la serie temporal de las aguas del arroyo porque en esas fechas el arroyo estaba seco. Este tipo de patrones de correlación y gradación de valores absolutos entre la carga de nutrientes bio-esenciales de los efluentes de focos contaminantes y el medio acuático del entorno receptor es típico en los procesos de eutrofización (Smith et al. (1999)).

5.2.5. Dinámica temporal de compuestos oxidados y reducidos de azufre en los distintos tipos de aguas.

La Figura 87 muestra los cambios entre fechas de muestreo para los parámetros concentraciones de sulfato y de sulfuros.

En el caso de los **sulfatos**, sus niveles son considerables (500-1500 mg/L) en las muestras de lisímetros “aguas arriba”. Ello puede deberse a la disolución de yesos del material litológico del entorno (Chapelle, F.J. (1993)), consistente en materiales margosos con intercalaciones de yesos. Como era de esperar, las concentraciones de **sulfuros** son muy bajas y estables durante todo el periodo considerado en esta posición.

En las balsas de lixiviados, las concentraciones de sulfatos fueron continuamente bajas durante más de la mitad del periodo analizado, sin un patrón claro de variación estacional, hasta Mayo de 2013, en que parece un pico de concentración de más de 500 mg/L, a partir del cual los valores descienden pero manteniendo niveles más altos que en periodo anterior. Es destacable que dicho pico de sulfatos coincide temporalmente con el registro de niveles máximos absolutos de sulfuros, lo que sugiere una activación de la actividad de microorganismos oxidantes del azufre en las balsas (Subtil, E. et al. (2012)), asociada al incremento de concentración de su sustrato metabólico que se aprecia en dicha fecha.

A este respecto, es también interesante señalar que, en los muestreos siguientes a Mayo 2013 se produce una subida importante, pero con retardo temporal respecto a lo descrito para las balsas, en los niveles de sulfato “aguas abajo”, tanto en las muestras de los lisímetros (agosto-noviembre 2013 y Febrero 2014), como en el agua del arroyo (Nov. 2013 y Feb 2014; no hay datos para agosto 2013 y Mayo 2014 por estar seco el arroyo). No obstante, esa relación no es tan clara durante la primera mitad del periodo de muestreo 2011-2014. Entre Febrero de 2011 y Agosto de 2012, los niveles de sulfatos fueron también elevados en las muestras “aguas

abajo”, especialmente para el caso de aguas subterráneas, pero los niveles de sulfuros no fueron tan elevados como durante la segunda mitad del periodo de estudio, aunque sí aparecieron picos de entidad intercalados con momentos de baja concentración.

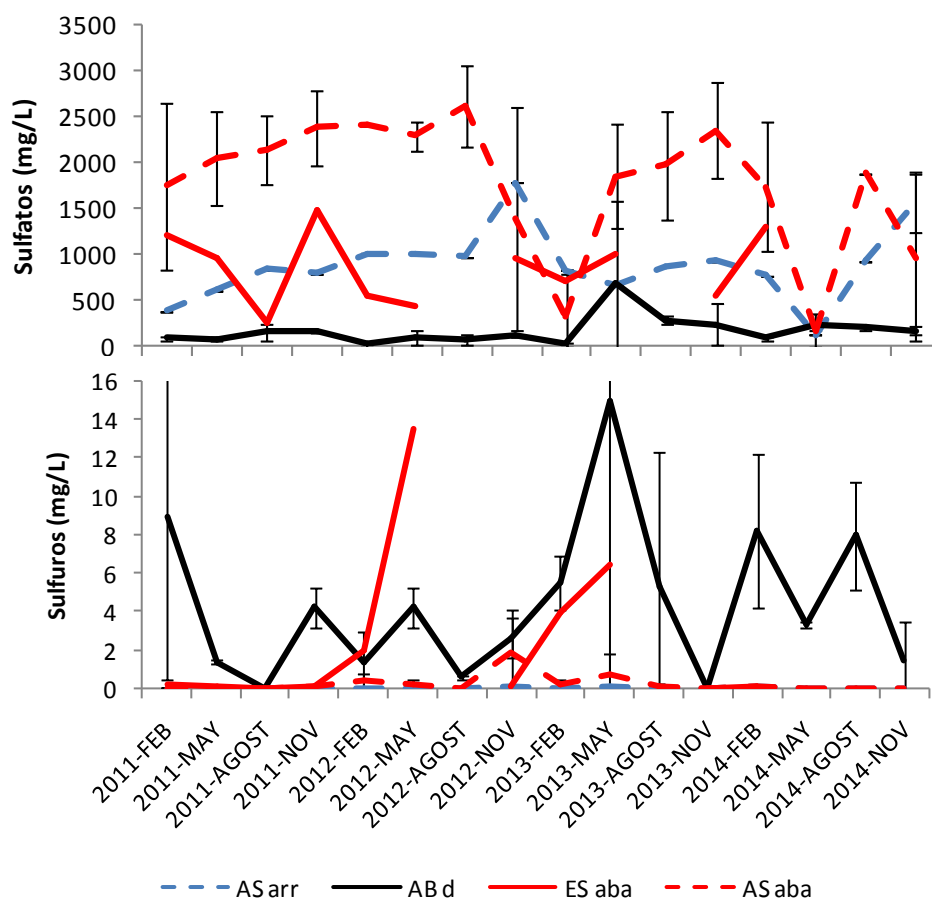


Figura 87. Evolución temporal en los distintos tipos de aguas de las concentraciones de sulfatos y sulfuros, a lo largo del periodo noviembre 2010-noviembre 2014.

Se muestran, en su caso, los valores medios $\pm$ desviación estándar.

ASarr: aguas subterráneas-lisímetros “aguas arriba” de la instalación; ABd: agua de las balsas de decantación; ESaba: agua de escorrentía superficial-arroyo “aguas debajo de la instalación; ASaba: aguas subterráneas-lisímetros “aguas arriba” de la instalación

5.2.6. Dinámica temporal de la concentración de metales pesados en los distintos tipos de aguas.

La Figura 88 muestra los cambios entre fechas de muestreo para los parámetros arsénico, cromo y níquel.

Para el caso del **arsénico**, hay una correspondencia fiel entre el patrón temporal para el agua de las balsas y el correspondiente al agua del arroyo, lo que representa un indicio fuerte respecto a la influencia de aquéllas como fuente contaminante para el entorno de la instalación. De nuevo, los picos de concentración en las balsas, y por consiguiente en el arroyo, se presentan en los veranos (2011, 2012 y 2013). Esta relación refleja la elevada movilidad ambiental del arsénico, cuyas sales en forma de As^{3+} y As^{5+} y compuestos orgánicos son solubles (Tchounwou, P.B. et al. (2012). Dicha movilidad tiene, por ejemplo, importantes

repercusiones sobre la estructura y la funcionalidad de las comunidades ecológicas de microorganismos del suelo en áreas contaminadas, como se ha puesto de manifiesto en sucesos catastróficos como el vertido de lodos tóxicos piríticos de las minas de Aznalcollar (Hinojosa, M.B. et al. (2005 y 2010)).

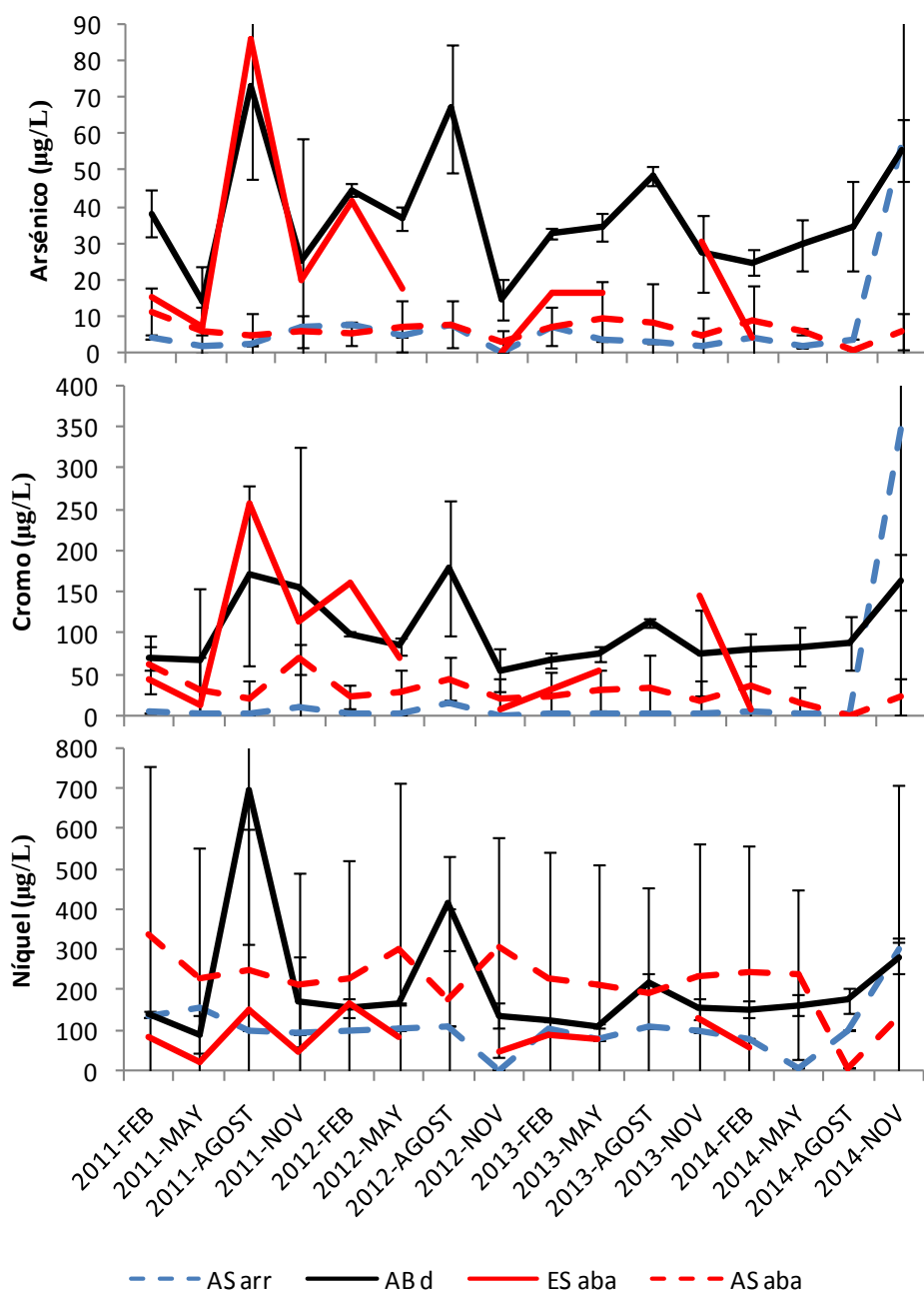


Figura 88. Evolución temporal en los distintos tipos de aguas de las concentraciones de arsénico, cromo y níquel, a lo largo del periodo noviembre 2010-noviembre 2014.

Se muestran, en su caso, los valores medios±desviación estándar.

ASarr: aguas subterráneas-lisímetros “aguas arriba” de la instalación; ABd: agua de las balsas de decantación; ESaba: agua de escorrentía superficial-arroyo “aguas debajo de la instalación”; ASaba: aguas subterráneas-lisímetros “aguas arriba” de la instalación

Por su lado, las concentraciones de arsénico en las aguas subterráneas también muestran entre sí un patrón de variabilidad temporal muy parecido, pero manteniendo niveles bajos y parecidos, que raramente exceden los 10 µg/L, indicando que este tipo de contaminación no parece alcanzar a las aguas subterráneas (a diferencia de lo reseñado para las aguas superficiales). La excepción la constituye, como también ocurre para el resto de metales pesados tratados en esta sección, el muestreo de Noviembre 2014, en el que las concentraciones en los lisímetros “aguas arriba” fueron más elevadas que en aquéllos localizados “aguas abajo” (esto de nuevo pone de manifiesto que tal muestreo presenta un comportamiento muy anómalo e incoherente, lo que justificará su exclusión de los tratamientos estadísticos multivariantes que se exponen en un apartado siguiente).

Para el **cromo** se repite el tipo de patrones de covariación temporal de sus concentraciones entre las aguas de las balsas y del arroyo, y entre los dos tipos de aguas subterráneas, así como la anomalía que constituye el muestreo de lisímetros “aguas arriba” de Noviembre 2014.

Respecto al **níquel**, los patrones de covariación temporal no son tan claros y existe una elevada dispersión de las cifras en torno a los valores medios. En todo caso, se mantiene el esquema de concentraciones generalmente mayores en el agua de las balsas, pero con excepciones en que éstas son superadas por las aguas subterráneas “aguas abajo”; y de concentraciones inferiores y sin una variación estacional consistente en los lisímetros “aguas arriba”, aunque en este caso con un comportamiento similar al mostrado por las aguas de escorrentía, lo que podría estar relacionado con un comportamiento menos diferencial del níquel, en relación al que muestran cromo y arsénico, en su especiación en medios líquidos y porosos (González, I. et al. (2008)).

5.3. Análisis estadístico de la serie temporal del quimismo de las aguas.

5.3.1. Correlaciones entre variables.

La Tabla 66 muestra los valores del índice de correlación de Spearman entre todos los pares posibles de combinaciones entre las variables consideradas en el programa de vigilancia ambiental de la calidad de las aguas. De las 406 correlaciones posibles entre pares de las variables, un 44.8 % fueron significativas para $\alpha=0,05$. Los valores de correlación oscilaron desde cifras cercanas a cero, hasta cifras por encima de 0,9.

De entre las variables que en conjunto mostraron los valores más pequeños de correlación con el resto destaca el caso de los fenoles, cuyos valores de correlación fueron siempre inferiores a $\pm 0,15$ y en ningún caso significativos. El cianuro también mostro niveles muy bajos de correlación con el resto, y sólo significativos con la DBO₅ y la concentración de nitrógeno. Los aceites fueron también una variable que entra dentro de este grupo de variable poco correlacionadas con el resto (aunque si mostró significación con algunos metales pesados, las concentraciones de nitrógeno y fósforo y el pH. Los coliformes totales y fecales sólo mostraron correlaciones significativas entre ellos mismos, y con el pH (éstas entre $r= 0,25$ y $0,30$), siendo todas ellas de carácter positivo. Asimismo, el cloro sólo se correlacionó, como cabía esperar con la conductividad eléctrica ($r=0,83$), y con el níquel ($r=0,81$).

Por otra parte, los distintos metales pesados tendieron a mostrar correlaciones positivas y elevadas entre ellos, generalmente por encima de $r=0,6$, y en algunos casos más elevadas aún (la más elevada, de $r= 0,93$ entre el cadmio y el zinc; entre el cobre y el zinc, $r= 0,90$; entre el cromo y el arsénico, $r= 0,871$; entre el cobre y el cadmio, $r=0,786$). El mercurio mostró correlaciones relativamente bajas con el resto de metales, aunque algunas de ellas alcanzaron la significación estadística. Estos patrones de correlación son comunes en contaminantes y eventos de polución multi-metálica (Sawyer, C. et al. (2003)). Respecto a las variables de

control o condiciones ambientales que influyen sobre la movilidad y especiación de los metales pesados, el pH mostró correlaciones positivas y relativamente elevadas sólo con el arsénico ($r=0,41$), y negativas con el níquel ($r=-0,42$). Si consideramos la conductividad eléctrica, las correlaciones con los metales pesados fueron de magnitud media a media-baja, y siempre positivas y significativas ($r=0,5$ con el As; $0,36$ con Cr y Zn; $0,35$ con Cd; y $0,25$ con Cu). Sólo en el caso del plomo no existió correlación con la fuerza iónica del medio. Por último, en relación con indicadores de condiciones redox y de demanda de oxígeno, las correlaciones del parámetro DQO fueron positivas (mayor concentración de metales bajo condiciones con elevado potencial reductor; Tchounwou, P. B. et al. (2012)) y significativas, excepto para el cobre y el mercurio, destacando los casos de el Cd ($r=0,84$) y el Zn ($r=0,86$). Estas correlaciones entre ambiente reductor y metales pesados también se ponen de manifiesto en correlaciones elevadas y positivas entre éstos y el parámetro COT.

En relación con variables indicadoras del estado trófico y carga de nutrientes, el COT mostró el mayor grado de correlación positiva con el fósforo ($r=0,73$) y el amonio ($r=0,55$). Sin embargo, su correlación con el nitrógeno total fue inferior ($r=0,38$), y de carácter negativo con el nitrato ($r=-0,18$). Por otro lado, las concentraciones de amonio y nitrato estuvieron inversamente correlacionadas y de modo significativo ($r=-0,35$), y las del amonio y el nitrógeno directa- y muy fuertemente correlacionada ($r=0,87$). Finalmente, el fósforo mostró una fuerte asociación positiva con el amonio ($R=0,80$) y el nitrógeno total ($r=0,74$). Estos patrones de correlación indican: (i) que no siempre que hay elevada carga orgánica, ésta tiene el mismo grado de biodegradabilidad atendiendo al criterio de relación C/N (menor correlación entre COT y NT, que con el amonio y el fósforo), (ii) que amonificación y nitrificación son procesos acoplados (poco amonio significa mucho nitrato porque aquél se ha nitrificado), y (iii) que los niveles de P están asociados a carga orgánica y no a otro tipo de fuente.

Tabla 66. Correlaciones múltiples (índice de Spearman) entre las variables incluidas en el programa de vigilancia ambiental del quimismo de los lixiviados embalsados en la instalación y de las aguas subterráneas y superficiales de su entorno. Las cifras situadas por encima de la diagonal son los coeficientes de correlación. Las cifras por debajo de la diagonal, los valores de probabilidad conforme a la hipótesis nula. Se han marcado en rojo los valores de probabilidad inferiores a un nivel de significación $\alpha=0.05$ (correlación significativa entre las dos variables de que se trate).

	AcG	NH ₄ ⁺	As	Cd	COT	CN	Cl ⁻	Cu	Cr	DBO ₅	DQO	Fen	F ⁻	PT	Fe	Hg	Ni	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NT	Pb	SS	SO ₄ ²⁻	S ²⁻	Zn	Co _h	Co _s	pH	CE
AcG		0,184	0,278	0,103	0,087	-0,034	0,037	0,251	0,342	0,119	0,121	0,076	-0,114	0,275	0,164	0,266	0,069	-0,190	0,061	0,251	0,188	0,157	-0,102	0,035	0,189	0,010	0,175	0,254	0,128
NH ₄ ⁺	0,072		0,701	0,502	0,551	0,185	0,291	0,442	0,463	0,581	0,721	0,027	-0,462	0,799	-0,121	0,125	0,247	-0,354	0,041	0,868	0,074	0,457	-0,446	0,268	0,603	0,094	0,051	0,490	0,562
As	0,006	0,000		0,514	0,530	0,105	0,240	0,626	0,871	0,464	0,590	0,030	-0,435	0,721	0,374	0,242	0,395	-0,347	0,060	0,672	0,522	0,463	-0,383	0,244	0,672	0,054	0,026	0,416	0,500
Cd	0,318	0,000	0,000		0,819	-0,044	0,207	0,786	0,418	0,039	0,837	-0,007	-0,110	0,620	0,136	0,198	0,390	-0,134	-0,076	0,234	0,443	0,662	-0,171	-0,087	0,925	0,031	-0,006	0,052	0,345
COT	0,397	0,000	0,000	0,000		0,020	0,285	0,612	0,346	0,279	0,927	0,052	-0,254	0,733	-0,004	0,206	0,352	-0,177	0,016	0,376	0,234	0,494	-0,236	0,106	0,823	0,038	-0,007	0,118	0,505
CN	0,742	0,070	0,306	0,667	0,849		-0,102	-0,043	0,066	0,251	0,085	0,026	-0,130	0,189	-0,065	-0,005	-0,049	-0,131	0,004	0,385	-0,051	-0,019	-0,179	0,017	-0,008	-0,026	-0,027	0,150	0,042
Cl ⁻	0,717	0,004	0,018	0,042	0,005	0,321		0,090	0,181	0,112	0,289	0,057	-0,107	0,165	0,044	0,212	0,806	-0,369	0,010	0,235	-0,006	0,225	0,220	-0,026	0,154	-0,054	-0,084	-0,305	0,829
Cu	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,676	0,381		0,689	0,103	0,631	-0,012	-0,165	0,592	0,514	0,145	0,399	-0,155	-0,064	0,214	0,707	0,694	-0,146	0,019	0,902	0,034	-0,008	0,027	0,247
Cr	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,518	0,075	0,000		0,242	0,405	0,004	-0,324	0,514	0,677	0,232	0,441	-0,295	-0,019	0,462	0,750	0,473	-0,147	0,108	0,586	0,030	0,076	0,215	0,361
DBO ₅	0,246	0,000	0,000	0,704	0,006	0,013	0,274	0,317	0,017		0,385	0,049	-0,405	0,624	-0,146	0,154	0,018	-0,339	0,164	0,632	-0,061	0,132	-0,512	0,567	0,190	-0,010	-0,048	0,445	0,339
DQO	0,239	0,000	0,000	0,000	0,000	0,409	0,004	0,000	0,000	0,000		0,051	-0,311	0,788	-0,032	0,193	0,355	-0,224	0,011	0,518	0,225	0,573	-0,303	0,154	0,863	0,061	0,024	0,206	0,546
Fen	0,458	0,794	0,773	0,943	0,614	0,798	0,578	0,906	0,967	0,637	0,622		-0,030	-0,003	0,001	0,150	-0,026	-0,059	0,003	0,040	0,009	-0,034	0,121	0,118	0,024	-0,050	-0,045	-0,056	0,059
F ⁻	0,265	0,000	0,000	0,284	0,012	0,205	0,299	0,107	0,001	0,000	0,002	0,773		-0,485	0,032	-0,194	-0,099	0,145	-0,053	-0,511	0,024	-0,021	0,129	-0,237	-0,223	-0,090	-0,128	-0,349	-0,333
PT	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,064	0,106	0,000	0,000	0,000	0,000	0,981	0,000		-0,069	0,207	0,178	-0,337	0,085	0,741	0,157	0,416	-0,549	0,204	0,712	0,064	0,074	0,500	0,478
Fe	0,109	0,239	0,000	0,184	0,967	0,525	0,666	0,000	0,000	0,154	0,754	0,994	0,759	0,505		0,140	0,437	0,022	-0,067	-0,144	0,841	0,331	0,276	-0,108	0,266	-0,056	-0,042	-0,295	0,059
Hg	0,008	0,223	0,017	0,052	0,043	0,964	0,037	0,156	0,022	0,133	0,059	0,141	0,058	0,042	0,173		0,281	-0,184	-0,072	0,128	0,123	0,081	0,073	0,007	0,190	-0,050	0,040	-0,004	0,249
Ni	0,502	0,015	0,000	0,000	0,000	0,633	0,000	0,000	0,000	0,859	0,000	0,803	0,333	0,082	0,000	0,005		-0,279	-0,055	0,137	0,358	0,470	0,303	-0,081	0,387	-0,072	-0,089	-0,416	0,784
NO ₃ ⁻	0,063	0,000	0,001	0,192	0,084	0,202	0,000	0,130	0,003	0,001	0,028	0,568	0,158	0,001	0,829	0,071	0,006		-0,022	-0,391	-0,075	-0,208	0,210	-0,218	-0,164	-0,101	-0,085	-0,224	-0,347
NO ₂ ⁻	0,555	0,694	0,563	0,458	0,876	0,970	0,922	0,536	0,852	0,109	0,915	0,973	0,607	0,406	0,517	0,481	0,590	0,828		0,065	-0,063	-0,028	-0,136	0,060	-0,039	-0,036	-0,050	0,203	0,055
NT	0,013	0,000	0,000	0,021	0,000	0,000	0,021	0,035	0,000	0,000	0,000	0,697	0,000	0,000	0,158	0,211	0,181	0,000	0,528		-0,028	0,212	-0,497	0,329	0,336	0,062	0,032	0,606	0,556
Pb	0,065	0,473	0,000	0,000	0,021	0,619	0,956	0,000	0,000	0,552	0,027	0,928	0,813	0,124	0,000	0,230	0,000	0,464	0,538	0,784		0,468	0,048	-0,085	0,539	-0,025	-0,025	-0,122	0,021
SS	0,126	0,000	0,000	0,000	0,000	0,852	0,027	0,000	0,000	0,197	0,000	0,745	0,835	0,000	0,001	0,433	0,000	0,041	0,783	0,037	0,000		-0,079	-0,034	0,698	0,026	-0,040	0,046	0,345
SO ₄ ²⁻	0,324	0,000	0,000	0,096	0,020	0,082	0,031	0,156	0,154	0,000	0,003	0,242	0,212	0,000	0,007	0,479	0,003	0,041	0,185	0,000	0,645	0,443		-0,261	-0,240	-0,086	0,022	-0,610	0,023
S ²⁻	0,732	0,008	0,016	0,399	0,302	0,867	0,799	0,851	0,294	0,000	0,132	0,251	0,019	0,045	0,292	0,946	0,433	0,032	0,557	0,001	0,407	0,740	0,010		0,052	0,215	0,065	0,328	0,131
Zn	0,063	0,000	0,000	0,000	0,000	0,935	0,133	0,000	0,000	0,062	0,000	0,812	0,028	0,000	0,009	0,063	0,000	0,109	0,705	0,001	0,000	0,000	0,019	0,613		0,065	0,034	0,132	0,359
Co _h	0,920	0,359	0,599	0,761	0,715	0,802	0,600	0,738	0,769	0,921	0,552	0,630	0,381	0,535	0,590	0,628	0,485	0,324	0,724	0,546	0,805	0,798	0,406	0,035	0,530		0,373	0,313	-0,025
Co _s	0,087	0,621	0,804	0,953	0,943	0,790	0,415	0,939	0,460	0,640	0,816	0,660	0,210	0,469	0,682	0,694	0,389	0,408	0,628	0,756	0,810	0,698	0,829	0,528	0,743	0,000		0,267	-0,095
pH	0,012	0,000	0,000	0,615	0,252	0,142	0,002	0,790	0,035	0,000	0,043	0,584	0,001	0,000	0,003	0,972	0,000	0,028	0,047	0,000	0,236	0,658	0,000	0,001	0,199	0,002	0,008		-0,026
CE	0,210	0,000	0,000	0,001	0,000	0,682	0,000	0,015	0,000	0,001	0,000	0,566	0,001	0,000	0,565	0,014	0,000	0,001	0,591	0,000	0,841	0,001	0,827	0,201	0,000	0,806	0,354	0,804	

5.3.2. Efecto de distintas fuentes de variación sobre el quimismo de las aguas.

5.3.2.1. Efectos de factores exógenos (variabilidad climática estacional e inter-anual).

A continuación se estudian, mediante técnicas de Análisis de la Varianza, los efectos que sobre el quimismo de las aguas tienen las siguientes fuentes de variación: la posición de muestreo (tipo de agua), estación del año en la fecha de muestreo (invierno, primavera, verano y otoño), y la anualidad del programa de monitorización (2011, 2012, 2013 y 2014).

La Tabla 67 muestra los resultados del ANOVA para cada una de los principales parámetros analíticos estudiados.

Tabla 67. Resultados del ANOVA para el test de efectos del “tipo de agua” y la “estación del año” sobre el quimismo de las aguas monitorizadas con el programa de vigilancia ambiental.

Se muestran los valores del estadístico F (que orienta sobre la magnitud del efecto), y los valores de probabilidad conforme a la hipótesis nula (en cursiva; los valores marcados en rojo denotan efectos significativos para $\alpha=0.05$). “T.A.*E.” se refiere a los efectos interactivos entre el tipo de agua y la estación del año.

Fuentes de variación	Tipo Agua		Estación del Año		T.A.*E.	
	F	p	F	p	F	p
pH	5.1	0.002	1.6	0.187	1.3	0.266
CE	13.7	0.000	5.9	0.001	1.6	0.137
SS	5.1	0.002	1.6	0.187	1.3	0.266
COT	11.3	0.000	2.3	0.086	2.3	0.019
NT	97.7	0.000	23.1	0.000	18.9	0.000
NH₄⁺	49.7	0.000	12.0	0.000	6.7	0.000
NO₃⁻	13.0	0.000	5.7	0.001	4.1	0.000
PT	71.2	0.000	3.7	0.013	2.7	0.008
SO₄₂₋	58.8	0.000	1.7	0.175	3.0	0.003
S²⁻	15.2	0.000	4.9	0.003	2.4	0.016
Fe	2.2	0.093	0.7	0.559	1.0	0.478
As	46.1	0.000	22.8	0.000	13.2	0.000
Cr	12.8	0.000	6.6	0.000	4.6	0.000
Ni	5.4	0.002	0.9	0.434	0.7	0.680
DBO₅	121.0	0.000	3.8	0.012	4.1	0.000
DQO	17.7	0.000	1.7	0.177	1.7	0.101

El tipo de agua tiene efectos significativos sobre todas los parámetros considerados, excepto para el caso del hierro. Para los casos del COT y el sulfuro, la influencia sobre los mismo del tipo de agua depende de la estación del año de que se trate, como indica la significación de los respectivos efectos interactivos. Con diferencia, el tipo de agua influye más que la estación de año en que se realizó el muestreo sobre la variabilidad observada en todos los analitos (valores de F superiores siempre en el caso del tipo de agua, en comparación con el valor homólogo para la estación del año). No obstante, la variación estacional intra-anual también muestra un efecto importante sobre el quimismo de las aguas, de modo que su influencia fue significativa sobre una de las variables control (conductividad eléctrica), todas las indicadores de carga de

nutrientes (nitrógeno, amonio, nitrato, fósforo), excepto el COT que está cerca de la significación ($p=0,086$), sobre los metales As y Cr, y sobre la DBO. Este resultado enfatiza la importancia de la variabilidad climática estacional, tan propia de los ambientes mediterráneos, para el control ambiental de efluentes y la calidad de las aguas (Guzmán-Colis et al. (2011)).

En la Tabla 68 se muestran los resultados del ANOVA para el caso de los efectos del tipo de agua y la anualidad del programa de monitorización. A diferencia del periodo estacional intra-anual en que ocurre el muestreo del agua, los diferentes años no tuvieron efectos significativos sobre ninguno de los parámetros considerados. Como ya se apuntó en el apartado 5.2.1, aunque hubo diferencias climáticas entre unos años y otros (por ejemplo, el año hidrológico 2011-12 fue muy seco), estas variaciones son en todo caso de menor entidad que las intra-anales y no se manifestaron en efectos diferenciales sobre el quimismo de las aguas.

Tabla 68. Resultados del ANOVA para el test de efectos del “tipo de agua” y la “anualidad” sobre el quimismo de las aguas (ver leyenda de la Tabla anterior para más detalles).

Fuentes de variación	Tipo Agua		Año		T.A. *Año	
	F	p	F	p	F	p
pH	162.4	0.000	0.4	0.749	0.7	0.707
CE	10.9	0.000	0.5	0.677	0.2	0.998
SS	4.9	0.003	1.0	0.379	1.0	0.455
COT	9.8	0.000	0.6	0.588	0.8	0.587
NT	32.6	0.000	0.8	0.522	0.3	0.970
NH₄⁺	28.3	0.000	1.0	0.399	0.4	0.936
NO₃⁻	9.9	0.000	1.0	0.414	1.2	0.289
PT	58.3	0.000	0.3	0.795	0.8	0.591
SO₄₂₋	58.5	0.000	1.2	0.300	3.1	0.002
S²⁻	12.9	0.000	1.0	0.402	1.2	0.286
Fe	2.3	0.079	1.1	0.344	1.6	0.117
As	17.7	0.000	0.0	0.986	0.3	0.967
Cr	8.8	0.000	0.2	0.901	0.8	0.604
Ni	5.1	0.002	0.1	0.962	0.3	0.980
DBO₅	96.4	0.000	2.6	0.054	0.9	0.557
DQO	16.2	0.000	0.7	0.529	0.8	0.662

5.3.2.2. Efecto de factores endógenos (entradas de materiales a las pilas de compostaje)

Para evaluar si diferencias en el tiempo respecto a la cantidad de residuos sólidos urbanos que entran al proceso de compostaje, y las correspondientes a la adición de lodos EDAR, explican las variaciones temporales observadas en el quimismo de las aguas, se aplicaron técnicas de regresión múltiple. Los datos empleados como predictores (cantidades de RSU y de lodos EDAR), su fuente y procesamiento se especificaron en el apartado 5.2 del Capítulo II de esta Memoria.

Como predictor del quimismo de las aguas, en lugar de utilizar cada una de los parámetros analíticos de modo individual, lo que representaría un análisis muy parcial, parámetro por parámetro, de las influencias de los citados factores endógenos, se emplearon las coordenadas

de cada tipo de agua y fecha de muestreo sobre los tres primeros ejes de un análisis de componentes principales (ACP) efectuado sobre aquéllos. Una explicación más detallada sobre el significado de dichas coordenadas se presenta en el apartado siguiente. Por ahora, baste con indicar que esos tres primeros componentes principales constituyen variables o indicadores compuestos (combinaciones lineales de las variables originales -pH, CE, SS, COT...-) y no correlacionados de los tres mayores gradientes de variación que presenta el registro sobre el quimismo de las aguas. Es decir, pueden interpretarse como tres indicadores complejos de la calidad del agua que posibilitan sumarizar el conjunto de los datos, sin que se pierda información relevante, empleando sólo tres variables, en lugar del elevado número de analitos medidos.

La Tabla 69 muestra los resultados de dichos análisis de regresión múltiple (este análisis no se llevó a cabo para las aguas de los lisímetros “aguas arriba” de la instalación, para las que no se espera influencia de los factores endógenos considerados).

Tabla 69. Resultados del análisis de regresión entre el quimismo de las aguas y las entradas de residuos sólidos urbanos y de lodos EDAR al proceso de compostaje.

El quimismo de las aguas se representa a través de tres indicadores complejos de calidad de las aguas (los tres primeros ejes, CP1, CP2 y CP3, del análisis de componentes principales efectuado sobre el conjunto de parámetros analíticos individuales; ver 5.3.2.3). Las ecuaciones de regresión siguen el modelo $CP_i = b_0 + \text{LodoEDAR} + \text{R.S.U.}$. Valores de probabilidad inferiores a 0.05, marcados en rojo, indican que el correspondiente término de la ecuación es un predictor significativo del quimismo de las aguas (también se han marcado en verde los efectos marginalmente significativos). Los valores de R^2_{ajustada} multiplicado por 100 representan el % de la variabilidad en el quimismo de las aguas que está explicado por la correspondiente ecuación de regresión.

Tipo de Agua	Quimismo de las aguas	b_0		Lodo EDAR		R.S.U.		R^2_{ajustada}
		Coef.	Prob.	Coef.	Prob.	Coef.	Prob.	
Balsa _{vieja}	CP1	-5.13	0.163	-0.006	0.332	0.0005	0.186	0.099
	CP2	-0.55	0.749	-0.001	0.788	0.0002	0.295	-
	CP3	-1.03	0.752	-0.002	0.734	0.0002	0.559	-
Balsa _{nueva}	CP1	-12.17	0.264	-0.005	0.796	0.0010	0.352	-
	CP2	-5.18	0.596	-0.013	0.445	0.0007	0.500	-
	CP3	-0.90	0.818	-0.001	0.865	0.0002	0.615	-
Arroyo	CP1	-13.22	0.070	-0.021	0.093	0.0016	0.039	0.373
	CP2	1.25	0.463	0.008	0.011	-0.0001	0.583	0.368
	CP3	-9.95	0.065	-0.010	0.266	0.0010	0.061	0.247
Lisímetros _{abajo}	CP1	0.11	0.946	0.002	0.536	0.0002	0.314	-
	CP2	1.29	0.630	-0.001	0.807	-0.0003	0.242	-
	CP3	2.11	0.193	-0.001	0.667	-0.0002	0.149	0.029

Los análisis efectuados indican que las variaciones temporales en las cantidades de entrada de R.S.U., y de lodos de EDAR, al proceso de compostaje no explican la evolución, a lo largo del periodo estudiado, del quimismo de las aguas de las balsas de lixiviados ni de los lisímetros localizados “aguas bajo” de la instalación.

No obstante, para el caso de las aguas de escorrentía superficial “aguas debajo de la instalación (arroyo) sí aparece un efecto significativo de las variaciones en la recepción de R.S.U. (y marginalmente significativo para los lodos) sobre su indicador de calidad del agua CP1. Este indicador refleja de modo globalizado las características de condiciones (pH, CE, SS), estado trófico (nutrientes), contaminación metálica (As y Cr) y demandas de oxígeno (DBO y DQO) de las aguas, y explica por sí solo casi un 50 % de la variabilidad del conjunto de datos

(serie de parámetros analíticos, diferentes tipos de aguas y fechas de muestreo). Por otro lado, también para el caso del arroyo, la cantidades entrantes de lodos EDAR tienen un efecto significativo sobre el indicador complejo de calidad del agua CP2. Así, este factor endógeno explica un 36,8% de los cambios temporales en el valor de dicho indicador. Estos resultados apuntan a la oportunidad de evaluar los protocolos de actuación de la planta de compostaje, y ponen de manifiesto la vulnerabilidad de la hidrología superficial del entorno frente a prácticas de reutilización de lodos y cambios en los volúmenes de compostaje (Rathod, M. et al. (2013)).

5.3.3. Resumen de la información sobre el quimismo de las aguas. Análisis multivariante de ordenación.

Al objeto de resumir el conjunto de la información expuesta en el apartado 5.3, se procedió a aplicar un Análisis multivariante de Componentes Principales (ACP) a la base de datos del programa de vigilancia ambiental. El empleo de métodos estadísticos exploratorios multivariantes para la evaluación de efectos estacionales y contaminantes sobre la calidad de las aguas está teniendo auge en las últimas décadas (Vega, M. et al. (1994)). Los datos correspondientes al muestreo de Noviembre 2014 se excluyeron del análisis, dado que presentan anomalías difíciles de explicar, como se ha ido comentando repetidamente en apartados anteriores. Por otro lado, también se excluyeron algunos de los parámetros analíticos, conservando los principales (pH, CE, SS, COT, NT, NH_4^+ , NO_3^- , PT, SO_4^{2-} , S^{2-} , Fe, As, Cr, Ni, DBO_5 y DQO). Como “inputs” se emplearon las medias de cada combinación de analito, tipo de agua y fecha de muestreo.

La Tabla 70 muestra los resultados del ACP correspondientes a los valores propios. Estos indican que con sólo las tres variables complejas CP1, CP2 y CP3 (que son combinaciones lineales con los 16 parámetros analíticos originales) es posible abarcar prácticamente $\frac{3}{4}$ de la variabilidad de los datos. Sólo el CP1 explica un 46,7% de la varianza; el CVP2, un 18,7 %; y el CP3, un 9,2 %. Tales resultados indican que el ACP tuvo una elevada potencia para sumarizar el conjunto de la información.

Tabla 70. Valores propios y % de varianza explicada por los Componentes Principales (CPi) resultantes del análisis multivariante ACP aplicado sobre los datos de quimismo de las aguas.

	Valor propio	Varianza explicada (%)	
		Individual	Acumulada
CP1	7.476	46.73	46.73
CP2	2.987	18.67	65.40
CP3	1.473	9.21	74.60
CP4	0.880	5.50	80.10
CP5	0.850	5.31	85.41
CP6	0.502	3.14	88.55
CP7	0.473	2.96	91.51
CP8	0.373	2.33	93.84
CP9	0.307	1.92	95.76
CP10	0.217	1.36	97.11
CP11	0.166	1.04	98.15
CP12	0.095	0.59	98.74
CP13	0.075	0.47	99.21
CP14	0.062	0.39	99.60
CP15	0.043	0.27	99.87
CP16	0.020	0.13	100.00

Para entender el significado de los indicadores complejos obtenidos a través de análisis ACP conviene estudiar el modo en que las variables originales (parámetros analíticos individuales) se proyectan sobre el espacio cartesiano definido por aquéllos. En la Figura 89 se muestran tales proyecciones (véase también la Tabla 71, con las coordenadas de cada parámetro analítico sobre cada uno de los nuevos ejes CP1, CP2 y CP3).

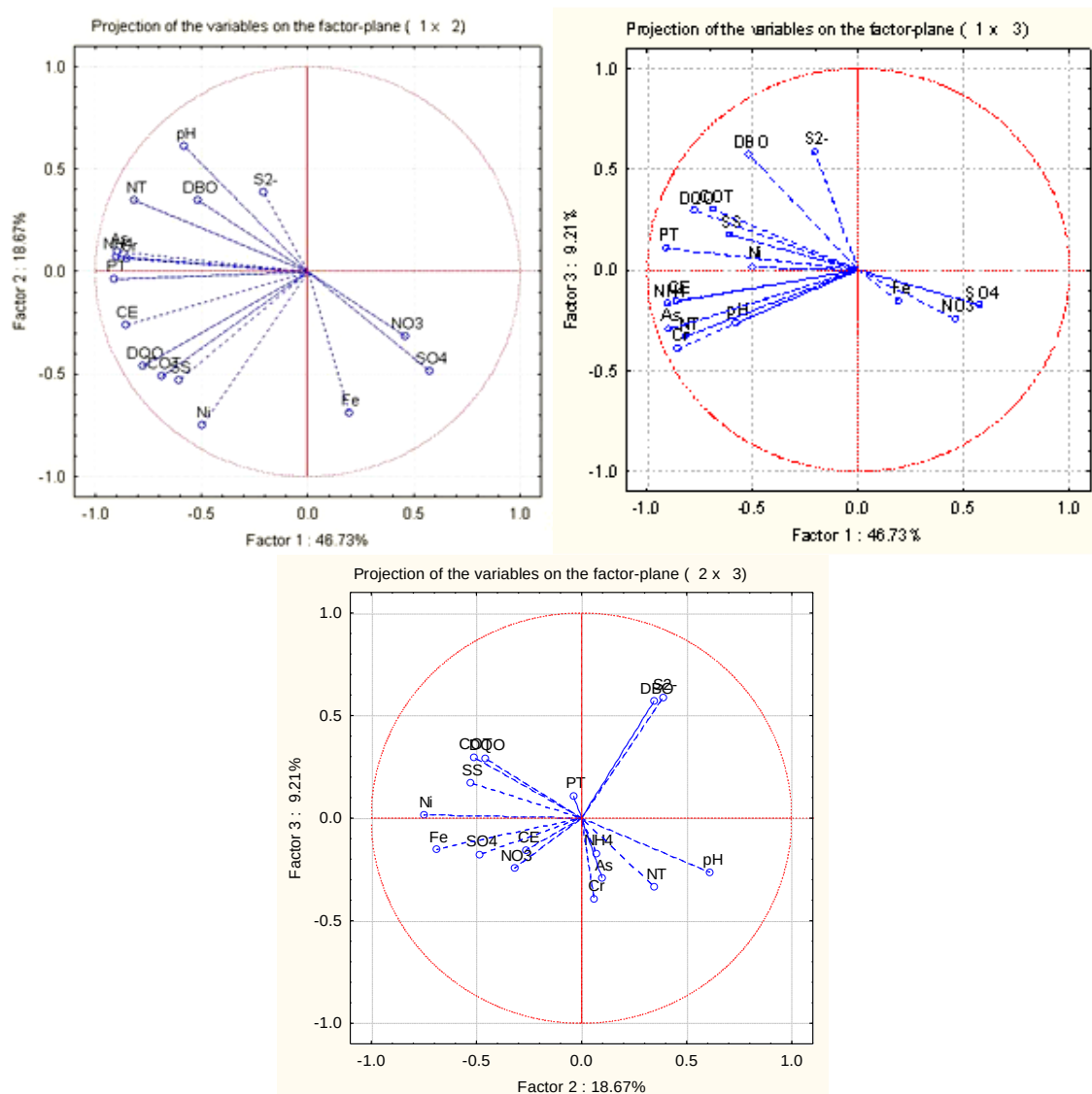


Figura 89. Proyección de los parámetros analíticos considerados sobre los Componentes Principales CP1, CP2 y CP3.

De izquierda a derecha, y de arriba abajo, los ejes de abscisas y de ordenadas corresponden a CP1 y CP2, CP1 y CP3, y CP2 y CP3, respectivamente. Los ángulos de los vectores de los parámetros analíticos con cada eje CPi denotan su grado de correlación con el mismo. Las longitudes de los vectores indican el peso de los analitos sobre el tipo de información que recogen los Componentes Principales.

Los parámetros amonio, fósforo y arsénico muestran una elevada correlación negativa y peso sobre el CP1. Asimismo, nitrógeno total, conductividad, DQO y SS muestran correlaciones también negativas e y un peso importantes (véase la Tabla 71). Por otro lado, sulfato y nitrato tienen una cierta correlación positiva con este eje CP1. A su vez, hierro y sulfuros están poco correlacionados con el CP1, pero sí lo están con el CP2 (positivamente el Fe, y negativamente el sulfuro). En este eje CP2, los parámetros SS, COT, Fe y Ni tienen pesos importantes y se

proyectan hacia la parte negativa. Por el contrario, el pH lo hace hacia la parte positiva. Finalmente, para el CP3, prácticamente sólo el sulfuro y la DBO tienen influencia importante y positiva con el CP3.

De este modo, si una muestra de un determinado tipo de agua y fecha presenta valores elevados de pH, CE, SS, COT, NT, NH₄, PT, As, Cr y DQO, se proyectará hacia la parte muy negativa del CP1. Si tuviera un valor elevado de pH, pero bajo de SS, COT, SO₄, Fe, Ni y DQO, se proyectaría hacia la derecha del CP2. Y si sus valores fueran elevados para el sulfuro y la DBO se proyectaría hacia la zona positiva del CP3. Puede por tanto interpretarse el CP1 como un indicador general de grado de contaminación tanto por toxicidad metálica como por enriquecimiento de nutrientes y eutrofia. El CP2 con situaciones de acidificación del agua, incremento del potencial reductor, y aumento de los niveles de SS, COT, Fe y Ni. Y por último, el CP3 como un indicador de condiciones de subida de la demanda biológica de oxígeno y concentraciones de sulfuros.

Tabla 71. Coordenadas de los parámetros analíticos considerados sobre los tres primeros Componentes Principales. Se marcan en azul las coordenadas que una proyección hacia la parte muy negativa del CPi de que se trate; en verde, los casos de proyección positiva.

	CP1	CP2	CP3
pH	-0.580	0.612	-0.262
CE	-0.858	-0.262	-0.154
SS	-0.607	-0.530	0.173
COT	-0.684	-0.513	0.299
NT	-0.816	0.347	-0.333
NH ₄	-0.902	0.071	-0.170
NO ₃	0.463	-0.319	-0.245
PT	-0.908	-0.038	0.108
SO ₄	0.574	-0.484	-0.176
S ₂ -	-0.207	0.388	0.586
Fe	0.195	-0.690	-0.153
As	-0.894	0.097	-0.291
Cr	-0.853	0.062	-0.391
Ni	-0.497	-0.752	0.015
DBO	-0.516	0.348	0.572
DQO	-0.774	-0.459	0.294

Una vez analizado el tipo de gradiente que representan los Componentes Principales, pasaremos a estudiar cómo se ordenan, en función de ellos (CP1 y CP2) los distintos tipos de aguas, y el modo en que la estación del año afecta a su quimismo (Figura 90).

En la Figura 90-gráfica (A) se aprecia que, globalmente, las muestras de agua subterránea tomadas “aguas arriba” de la instalación son las menos contaminadas; se proyectan hacia la parte muy positiva del CP1. En términos de grado de contaminación global, su quimismo se aleja del de las aguas de la balsa nueva en unas 6 unidades de desviaciones típicas. Las muestras de ésta balsa son la que exhiben un mayor grado de contaminación, proyectándose muy hacia la parte negativa del CP1. La influencia contaminante de las instalaciones sobre las aguas del entorno de posiciones “aguas abajo” se refleja en el hecho de que éstas, y en particular el arroyo, se acercan, en su proyección sobre el CP1, a la zona que ocupan las aguas

de las balsas. La segregación que se observa en la gráfica (A) entre la balsa de lixiviados nueva y la vieja responde al patrón de cambios en los parámetros químicos que los lixiviados experimentan con la edad del depósito, tal como se comentaron en el Capítulo I (Tablas 49 y 50), revisando las aportaciones de Tchobanoglous, G. et al.(1996) y Renou et al. (2008).

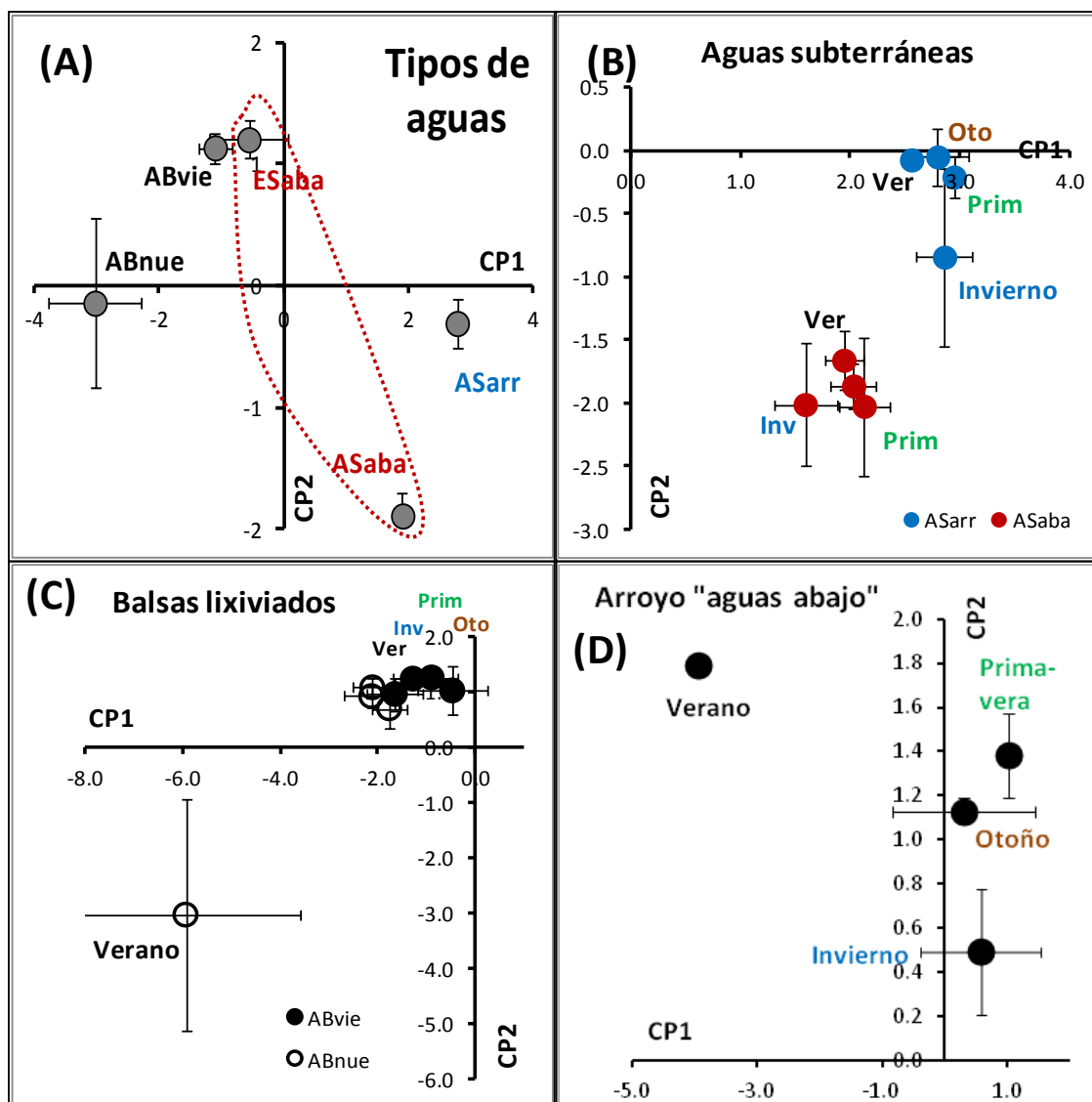


Figura 90. Proyección de los distintos tipos de aguas (A), y de las diferentes estaciones del año para los casos de las aguas subterráneas (B), las balsas de lixiviados (C) y el arroyo (D), sobre el espacio definido por los Componentes Principales CP1 y CP2.

Gráficas (A)/(B)/(C): ASarr y ASaba, aguas subterráneas "aguas arriba" y "aguas abajo" de la instalación, respectivamente; ABvie y ABnue, balsas de lixiviados vieja y nueva, respectivamente; ESaba: aguas de escorrentía superficial-arroyo "aguas abajo" e la instalación.

Para las aguas subterráneas, la diferencia clara de quimismo entre las muestreadas "aguas arriba" o "aguas abajo" del vertedero se refleja en la segregación que muestran los respectivos puntos en la gráfica (B). Las segundas muestran un grado de contaminación globalmente mayor que las primeras, como se deriva de su proyección más hacia la izquierda del CP1. Por otro lado, su proyección hacia la zona más negativa del CP2 indica situaciones de acidificación del agua, incremento del potencial reductor, y aumento de los niveles de SS, COT, Fe y Ni, que no se dan en las aguas subterráneas por encima de la instalación. En todo caso, en ambas

posiciones, las aguas subterráneas exhiben un bajo grado de variabilidad estacional intra-anual, comparado con el resto de los tipos de aguas.

Para las balsas de lixiviados (gráfica (C), se aprecia una mayor carga contaminante en el caso de la balsa nueva (proyección más a la izquierda el CP1). Además, la segregación muy a la izquierda que muestra la situación de verano en esta balsa corrobora globalmente lo comentado en apartados anteriores, particularizado para analitos concretos, en relación con los efectos de concentración y aumento de toxicidad por la evaporación estival y la práctica de riego recirculando lixiviados.

Finalmente, el agua del arroyo es, de entre las aguas del entorno de la instalación, la que globalmente presenta mayor variabilidad estacional (gran dispersión de los puntos correspondientes al invierno, primavera, verano y otoño en la gráfica (D)). Así mismo, las aguas del arroyo generalmente aparecen más contaminadas en verano, y menos en el periodo húmedo.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES.

Una vez analizados y evaluados todos los parámetros relativos a la evolución de los elementos del compostaje, tanto físicos como químicos; los lixiviados; la climatología; y el posicionamiento espacial de las muestras; se realizan las siguientes conclusiones:

1. En la actualidad, aún no se ha desarrollado plenamente una concienciación del reciclaje y, por tanto, de la separación de residuos en origen.
2. La planta de tratamiento, en relación al proceso de compostaje, mantenía un buen control del proceso de compostaje, anotando en su registros el momento de los volteos, riegos de lixiviados, etc. Asimismo, con carácter trimestral, realizan un análisis de los lixiviados generados y acumulados en las balsas.
3. Con respecto a los diferentes modelos teóricos expuestos en el capítulo 1, se comprueba de forma empírica que la evolución de temperatura y humedad durante el proceso de compostaje coinciden con dichos modelos.
4. La evolución observada del pH del compost en elaboración, a lo largo del proceso de compostaje, hacia un estado alcalino o neutro, lo hace utilizable como compost para aplicación de enmiendas y fertilización en suelos agrícolas.
5. Se ha observado que la conductividad eléctrica tiende a disminuir con el paso del tiempo durante el proceso de compostaje. Por tanto, no se producen acumulación de sales a lo largo del proceso de compostaje, pese al riego con lixiviados, por lo que este compost de residuos domésticos/municipales, es usable como abono en suelos agrícolas.
6. El parámetro relativo a los nutrientes del compost (relación C/N), indica unos valores por debajo de 20, por lo que sería apto como fertilizante por lo establecido en el RD 506/2013.
7. Las fluctuaciones observadas durante la evolución de los elementos minerales analizados durante el proceso del compostaje, son debidas a la composición de los residuos de origen del compost, la estación del año, la climatología y las características de los lixiviados con los que eran regadas las pilas. Así mismo, se comprueba de forma empírica que la alteración de condiciones climáticas afectan a la evolución de los elementos minerales, puesto que se observó de forma continuada que la evolución en una zona de sol y sombra era diferente con respecto a otras zonas con una insolación más continua.
8. La composición mineral del afino obtenido, presenta las características necesarias que lo define como fuente de nutrición mineralógica esencial para el ciclo de cualquier cultivo agrícola.
9. Los diferentes análisis realizados, establecen que el compost estudiado se clasificaría como clase B, según el RD 506/2013, debido a su contenido en metales pesados.
10. Las características analizadas en los lixiviados, establecen la importancia de su recuperación, ya que disponen de altas concentraciones de elementos minerales, cuyo contenido no influye en el proceso de compostaje.

11. Tras los estudios estadísticos realizados sobre los registros abalíticos del programa de vigilancia ambiental, se concluye lo siguiente:
- a. Se confirma que hay un aumento en las concentraciones de ciertos elementos o parámetros químicos si comparamos las aguas subterráneas "aguas arriba" de la instalación, antes de entrar en contacto con los residuos de la planta de tratamiento, con sus homólogas "aguas abajo". Esto confirma una cierta influencia contaminante de la instalación sobre su entorno, respecto a varios parámetros como son el NT, COT, metales pesados, etc.
 - b. Las aguas de balsa se hallan altamente contaminadas, como pone de manifiesto, entre otros parámetros, los elevados valores observados de DBO₅, especialmente para el caso de los lixiviados más jóvenes (balsa "nueva").
 - c. Hay diversos factores que pueden afectar al quimismo de dichas aguas, además del proceso de lixiviación de los residuos del vertedero, como el caso del anidamiento de aves en las pilas de compostaje (que parece reflejarse en los valores de coliformes presentes en las aguas del arroyo), el efecto de la climatología local sobre las concentraciones de metales y algunos nutrientes (acumulación estival), etc.
 - d. Con respecto a la climatología, se ha comprobado que las variaciones de concentraciones de ciertos elementos muestran correspondencias con las variaciones de temperatura y precipitaciones intra-anales.
 - e. En general, se ha comprobado que un aumento de temperaturas junto con escasas precipitaciones, situación característica de un clima mediterráneo durante el verano, aumenta la conductividad eléctrica y la DQO, así como las concentraciones de carbono, nitrógeno, fósforo, amonio, y metales pesados en las balsas de lixiviados y las aguas de escorrentía. Sin embargo, como ya se ha comentado en varias ocasiones, el utilizar este mismo lixiviado para regar las pilas de compostaje, puede influir en estas concentraciones, al disminuir el volumen de la balsa. El efecto contrario ocurre para la DBO₅ durante esta estación, pudiendo deberse a la inhibición de los microorganismos por el exceso de metales pesados.
 - f. Se comprueba que al adicción de lodos de EDAR y la variación de la materia prima de los residuos utilizados para el compost, no afectan al quimismo de las aguas de balsa, aunque sí a las aguas de escorrentía.
12. Aunque se ha demostrado la influencia exógena de la climatología con respecto al quimismo de los lixiviados, no se ha podido estudiar el efecto que tiene el usar a dichos lixiviados para el riego de las pilas de compostaje con respecto a las concentraciones de sus parámetros, por lo que podría establecerse una futura línea de investigación por este camino.
13. Como otra futura línea de investigación, sería interesante, el estudio de los lixiviados y su relación con la climatología en un ambiente controlado de laboratorio.

CAPÍTULO V. BIBLIOGRAFÍA

Libros, tesis y artículos.

"Estudio de mejora de la gestión de la fracción vegetal en Cataluña". (2006). Ent
envioremment and management.

Abbas, A. A., Jingsong, G., Ping, L. Z., Ya, P. Y., Al-Rekabi, W. S. (2009) "Review on landfill
leachate treatments". AJAS (ISSN: 1546-9239) 6 (4): 672-684.

Addiscott, T.M., Whitmore, A.P., Powlson, D.S. (1991). "Farming, fertilizers and the nitrate
problem". C.A.B. International. Wallingford-UK.

Alcaide Tur, A. (2012). "Residuos sólidos urbanos. Una consecuencia de la vida". Trabajo
para la obtención del GRADUADO UNIVERSITARIO SENIOR. Universitat Jaume I. Valencia.
Pág. 2-5.

Alcántara Valero, A.F. (1993). "Gestión de los residuos sólidos agrícolas. II Máster en
Gestión Medio Ambiental". Programa 1994-1996, Málaga, Volumen 5, pág. 7-56.

Álvarez, J.M^a. (2013). " Manual de Compostaje para Agricultura Ecológica". Junta de
Andalucía, Conserjería de Agricultura y Pesca.

Álvarez, L., Puig, I. (2006). "La fiscalidad de los residuos comerciales". Revista Residuos 94,
p. 22-29. Nov - Dic 2006.

ARC (2007). "Programa de Gestió de Residus Municipals de Catalunya 2007-2012"
(PROGREMIC). Agència de Residus de Catalunya.

Assmuth, T., Kalevi, K. (1992). "Concentrations and toxicological significance of trace
organic compounds in municipal solid waste landfill gas". Chemosphere 24 (9): 1207–1221.

Atchley, S.T., Clark, J.B. (1979). "Variability of temperature, pH and moisture in an aerobic
composting process". Appl. Environ. Microbiol. 12: 1040-1044.

Avanzini de Rojas, J.M., Llamas Labella, J.M., Casero, I., Otero León, F., Fuentes Romero,
J.A., Soria Tonda, J.M., Moreno Cayuela, F., Soria Carreras, J., Romero Tornero, J.M.,
Hervás Ramírez, L., Blázquez, M.A., Ranea Palma, A., Martínez Escriche, F., Bernal
Márquez, F.J., Hierro Guilmain, J. (2003). "Los residuos urbanos y asimilables". Capítulo 1.
Conserjería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

Avilez López, L.S. (2009). "Modelo para el manejo de desechos sólidos de origen doméstico
generados en la acequia con el propósito de evitar la contaminación en el río
Chamelecón". Universidad pedagógica nacional Francisco Morazán. San Pedro Sula. Pág.
26-28.

Baldasano Recio, J.M. (1992). "La gestión de los residuos sólidos urbanos e industriales en
España". Residuos, Año II, 8: pág. 15-23.

- Barrena Gómez, R. (2006). "Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso". Univertat Autònoma de Barcelona. Pág. 18-20.
- Bauer, M.J., Hermann, R., Martin, A., Zellmann, H. (1998). "Chemodynamics transport behaviour and treatment of phthalic acid esters in municipal landfill leachate". *Water Science and Technology*. 38, 185-192.
- Bengston, G.W., Cornette, J.J. (1973). "Disposal of composted municipal waste in a plantation of young slash pine. Effects on soil and trees". *J. Environ Qual*. 2: 441-444.
- Bernabeu A., Cabrera M., Pino A.L., Groppelli E. (2010) Evolución de la calidad de los líquidos lixiviados y contaminación de las napas durante la vida útil del relleno sanitario de la ciudad de Santa Fé. *Ciencia y Tecnología* 10: 53-64
- Berti, W.R., Jacobs, L.W. (1996). "Chemistry and phytotoxicity of soil trace elements from repeated sewage sludge applications". *J. Environ. Qual*. 25: 1025-1032.
- Cabrera, F., Moreno, F., Nacci, S., De Aranbarri, P. (1987). "Utilization of wastes from olive and sugar beet processing industries in fertirrigation". *Proc. 4th Int. CIEC Symp. Braunschweig*: 475-483.
- Carreira J.A., F.X. Niell, K. Lajtha. 1994. Soil-nitrogen availability and nitrification in Mediterranean shrublands of varying fire history and successional stage. *Biogeochemistry* 26(3): 189-209.
- Carreras, N. (2010). "Curso Introducción a la gestión de residuos".
- Cesco, S., Römheld, V., Varanini, Z., Pinton, R. (2000). "Solubilization of iron by water extractable humic substances". *J. Plant Nutr. Soil Sci*. 2000.
- Chapelle, F.H. (1993). *Ground-water microbiology and geochemistry*: John Wiley and Sons, Inc., New York, 424 p.
- Chen, Y., Liu, C., Nie, J., Wu, S., Wang, D. (2014). "Removal of COD & decolorizing from landfill leachate by Fenton's reagent advanced oxidation". *Clean Technologies and Environmental Policy* 16 (1): 189-193.
- Christensen, T. H., Kjeldsen, P., Bjerg, P. L., Jensen, D. L., Christensen, J. B., Baun, A., Albrechtsen, H., Heron, G. (2001). "Biogeochemistry of landfill leachate plumes". *Applied Geochemistry* 16 (7-8): 659 – 718.
- Columela, L.J.M. (1988). "De los trabajos de campo". Edición a cargo de Antonio Holgado Redondo. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Ed. Siglo XXI de España, Madrid, 339p. de Díaz, M.J., 1999.
- Comando Suluda, A. (2006). "Optimización del compostaje de residuos sólidos urbanos en proceso de serie anaerobio-aerobio". Universidad politécnica de Madrid. Pág. 17-19.

Corbitt, R. (2003). "Manual de referencia de la ingeniería ambiental". Mc Graw Hill. New York.

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.

Curiel-Esparza, J., Cantó-Perelló, J. (2012). "Understanding the major drivers for implementation of municipal sustainable policies in underground space". *International Journal of Sustainable Development and World Ecology* 19 (6): 506–514.

Dass, P., Tamke, G. R., Stoffel, C. M. (1977). "Leachate production at sanitary landfill sites". *Journal of the Environmental Engineering Division-ASCE* 103 (6): 981-988.

Datta P.S., Deb D.L., Tyagi S.K. (1996). Stable isotope (O^{18}) investigations on the processes controlling fluoride contamination of groundwater. *J Contam Hydrol* 24: 85-96.

De Bertoldi, M.; Vallini, G., Pera, A. (1985). "Technological Aspects of composting including Modelling and Microbiology". En: J.K.R. Gasser (Ed.). *Composting of Agricultural and other wastes*, pp: 27-40. Elsevier Applied Science Publishers, Bruselas.

De la Rosa, J., Pérez, R., Sánchez, A.M. Sánchez-Rodas, D.A., Fernández, J.C., Querol, X. (2015). "Evolución Química de Lixiviados y Caracterización del Bandeo Rítmico de los Residuos en Depósitos de Fosfoyesos". *Revista de la sociedad española de mineralogía*. Macla nº 20. julio 15.

De Vleeschauwer, D., Verdonk, O., Van Assche, C. (1981). "Phytotoxicity of refuse compost". *Biocycle* 22:44-46.

Díaz Burgos, M.A. (1990). "Compostaje de lodos residuales. Aplicación agronómica y criterios de madurez". Universidad Autónoma de Madrid.

Duggan, J. (1973). "Utilization of municipal refuse compost. I. Field scale compost demonstration". *Compost Sci.* 14: 1.

El-Fadel, M. (2002). "Temporal variation of leachate quality from presorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content". *Waste management* 22 (3):269 -282.

EPA. 1994. *Water Quality Standards Handbook: 2nd Edition*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, USA.

Fernández, J.E., Moreno, F., Hernández, J.M., Murillo, J.M. (1987). "Influencia del aporte continuado de residuos sólidos urbanos sobre propiedades físicas del suelo". *Proc. 7º Cong. Nac. de Química de la ANQUE*. Vol I, Sevilla: 195-199.

Ferreiro Chao, A., Martínez Martínez, J., Martínez Merino, M. y M. del Campo, G. (1991). "Inventario de residuos industriales". En *II jornada COTEC sobre Medio Ambiente-Madrid*. Pág 80–142.

- Folke, C. (2013). "Respetar los límites del planeta y recuperar la conexión con la biosfera". En Worldwatch Institute, *The State of the World 2013: Is Sustainability Still Possible?* New York: W.W. Norton. Capítulo 2.
- Gallardo-Lara, F., Nogales, R. (1987). "Effect application of town refuse compost on the soil-plant system: a review". *Biological Wastes*. 19:35-62.
- García Izquierdo, C. (1990). "Estudio del compostaje de residuos orgánicos. Valoración agrícola". Universidad de Murcia.
- Gauch H. G. Jr. (1982). "Multivariate Analysis in Community Ecology". *Cambridge*, UK: Cambridge University Press, 1982.
- Glysson, E.A. (2003). "Residuos sólidos". Capítulo 8. McGraw Hill.
- Godden, B., Mareschal, M., Gigliotti, G., Businelli, G., Benetti, A. (1987). "Effects of manure compost on soil microbiological properties". En *Compost: Production, Quality and Use* (Eds. De Bertoldi, M., Ferandi, M.P., L'Hermite, Zucconi, F.). Elsevier Applied Science Publisher, Londres, Reino Unido: 473-478.
- Golterman H.L., R. S. Clymo, M. A. M. Ohnstadt (1980) *Methods for Physical and Chemical Analysis of Freshwaters*. International Review of Hydrobiology 65, 169 pp.
- Golueke, C.G., Díaz, L.F. (1987). "Composting and the limiting factors principle". *Biocycle* April: 22-25.
- González, I.; López, M.; Romero, A.; Fernández- Caliani, J.C.; Aparicio, P. & Galán E. (2008): Influencia de la composición mineralógica sobre la movilidad de elementos traza en suelos agrícolas afectados por explotaciones mineras de la Faja Pirítica Ibérica. *Geotemas* 10: 977-980.
- Grima, A., Masanas, M., Nohales, G., Vila, M. (2012). "Análisis de las estrategias nacionales de prevención de residuos". *BCNecología*.
- Grima, A., Masanas, M., Nohales, G., Vila, M., Amlinger, F., Puig, I., Jofra, M., Giró, F., Muñoz, J., Moreno, J., Soliva, M. (2013). "Gestión de biorresiduos de competencia municipal". Pág. 1-129.
- Gupta, S. K., Singh, G. (2007). "Assessment of the efficiency & economic viability of various methods of treatment of sanitary landfill leachate". *Environmental Monitoring and Assessment* 135 (1-3): 107-117.
- Guoliang, Z., Lei, Q., Qin, M., Zheng, F., Dexin, W. (2013). "Aerobic SBR/reverse osmosis system enhanced by Fenton oxidation for advanced treatment of old municipal landfill leachate". *Bioresource Technology* 142: 261-268.
- Guzmán-Colis, G., Thalasso, F., Ramírez-López, E.M., Rodríguez-Narciso, S., Guerrero-Barrera, A.L., Avelar-González, F.J. (2011). "Evaluación Espacio-Temporal De La Calidad Del Agua Del Río San Pedro En El Estado De Aguascalientes, México".

- Harada, Y., Inoko, A. (1980). "The measurement of the cation-exchange capacity and degree of compost for the estimation of the degree of maturity". *Soil Sci. Plant Nutr.* 26, 1: 127-134.
- Harlem Brundtland, G. (1987). "El informe Brundtland". Comisión Mundial del Ambiente y el Desarrollo (Tokio (Japón)).
- Haug, R. (1993). "The practical handbook of compost engineering". Lewis Publishers, Nueva York.
- Hernández, M.A. (1991). "Gestión administrativa y empresarial de residuos. Economía". En: *Residuos Urbanos e Industriales. II jornada COTEC sobre Medio Ambiente*. Madrid Pág.143–165.
- Heyer, K. U., Stegmann, R. (2005). "Landfill Systems, Sanitary Landfilling of solid wastes, and long-term problems with leachate, in environmental biotechnology: concepts and applications" (eds H.-J. Jördening and J. Winter), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, FRG. DOI: 10.1002/3527604286.ch15.
- Hinojosa M.B., R. García-Ruiz & J.A. Carreira. 2010. Utilizing Microbial Community Structure and Function to Evaluate the Health of Heavy Metal Polluted Soils. En: Sheramet, I. & A. Varma (eds.), *Soils Heavy Metals, Soil Biology Series*, Vol. 19, chapter 9, pp. 185-224. Springer-Verlag.
- Hinojosa, MB; **Carreira, JA**; Garcia-Ruiz, R; R.P. Dick. **2005**. Microbial response to heavy metal-polluted soils: Community analysis from phospholipid-linked fatty acids and ester-linked fatty acids extracts. *Journal of Environmental Quality* 34 (5): 1789-1800.
- Howard, A. (1931). "The Waste Products of Agriculture". Steve Solomon and Col Choat.
- Huerta, O. (2010). "Dinàmica dels metalls pesants i dels nutrients minerals en el compostatge de residus sòlids municipals". Universitat Politècnica de Catalunya, Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia.
- Huerta, O., López M., Soliva M., Zaloña M.(2010 b). "Compostatge de residus municipals: control del procés, rendiment i qualitat del producte". Agència de Residus de Catalunya, Barcelona, 2010.,328 pp.
- Huerta, O., Martínez X., Gallart M., Soliva M. López M. (2010). "El uso del compost de residuos sólidos municipales como enmienda orgánica: aportaciones de diferentes componentes según origen". Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia (DEAB), Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
- Huret, F. (1985). "Valorisation agricole des composts d'origine urbaine". P.H.M. Revue Horticole 262: 25-32.

- Ianotti, D.A., Grebus, M.E., Toth, B.L., Madden, L.V., Hoitink, H.A.J. (1994). "Oxygen respirometry to assess Stability and maturity of composted municipal solid waste". *J. Environm. Qual.* 23,6:1177-1183.
- Iglesias, E., Pérez, V. (1992). "Relationships between organic carbon and total organic matter in municipal solid wastes and city refuse compost". *Bioresource Technology* 41: 265-272.
- Iglesias, E., Pérez, V. (1992). "Determination of maturity indices for city refuse compost". *Agr. Ecosyst. Environ* 38: 331-343.
- Inbar, Y., Chen, Y., Hadar, Y., Hoitink, H.A.J. (1990). "New approaches to compost maturity". *Biocycle* 31: 64-68.
- Janos, P., Herzogová, I., Rejnek, J., Hodslavská, J. (2004). "Assessment of heavy metals leachability from metallo-organic sorbent-iron humate-with the aid of sequential extraction test". *Talanta*; 62: 497-501.
- Järup L. (2003) Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin* 68: 167–182.
- Jensen, D.L., Christensen, T.H. (1999). "Colloidal and dissolved metals in leachate from four Danish landfills". *Water Research* 33: 2139-2147.
- Jensen, D.L., Ledin, A., Christensen, T.H. (1999). "Speciation of heavy metals in landfill-leachate polluted groundwater". *Water Research* 33 (11): 2642-2650.
- Jeong, Y., & Kim, J. (2001). A new method for conservation of nitrogen in aerobic composting processes *Bioresource Technology*, 79 (2), 129-133 DOI: 10.1016/S0960-8524(01)00062-1.
- Jiménez, E.I., García, V.P. (1989). "Evaluation of city refuse compost maturity: a review". *Biol waste* 27: 115-142.
- Jorstad, L. B., Jankowski, J., Acworth, R. I. (2004). "Analysis of the distribution of inorganic constituents in a landfill leachate-contaminated aquifer Astrolabe Park, Sydney, Australia". *Environmental Geology* 46 (2): 263-272.
- Junta de Andalucía, Conserjería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, publicación "Datos básicos 2014", "IMA 2015".
- Kang, K.; Shin, H.S.; Park, H. (2002). "Characterization of humic substances present in landfill leachates with different landfill ages and its implications". *Water Res.* 36:4023-4032.
- Kayhanian, M., Tchobanoglous, G. (1992). "Computations of C/N ratios for various organic fractions". *Biocycle* 33:58-60.
- Khalid Iqbal, M.; Shafiq, T.; Hussain, A.; Ahmed, K. (2010). Effect of enrichment on chemical properties of MSW compost. *BioresourceTechnology* 101 (2010) 5969–5977. Ed. ELSEVIER.

Kiely, G. (1999). "Ingeniería ambiental. Fundamentos. Entornos. Tecnologías y sistemas de gestión". McGraw-Hill, Madrid.

Kjeldsen, P., Barlaz, M. A., Rooker, A. P., Baun, A., Ledin, A., Christensen, T. H. (2002). "Present & long-term composition of MSW landfill leachate: a review". *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 32 (4): 297–336.

Kumar, S. (2011). "Composting of municipal solid waste". *Journal Critical Reviews in Biotechnology*, Volume 31, pág. 112-136.

Kurniawan, T.A., Lo, W., Chan, G. (2005). "Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate". *Journal of Hazardous Materials* 129 (1-3): 80 – 100.

Kwasniewska, J., Nałęcz-Jawecki, G., Skrzypczak, A., Płaza, G.A., Matejczyk, M., (2012). "An assessment of the genotoxic effects of landfill leachates using bacterial and plant tests". *Ecotoxicology and Environmental Safety* 75: 55-62.

Lasaridi, K.E., Stentiford, E.I. (1996). "Respirometric techniques in contest of compost stability assesment: Principle and practice". En "The science of composting". (Eds De Bertoldi M, Sequi P, Lemmes B, Papi T) Blackie Academic & Profesional, Londres, Vol I: 247-285.

Li, G., Wang, W., Du, Q. (2010). "Applicability of nanofiltration for the advanced treatment of landfill leachate". *Journal of Applied Polymer Science* 116 (4): 2343–2347.

López, M., Soliva, M., Martínez-Farré, F.X., Bonmatí, A., Huerta, O. (2010 a). "An assessment of the characteristics of yard trimmings and recirculated yard trimmings used in biowaste composting". *Bioresource Technology*, 101(4): 1399-1405.

López, M., Soliva, M., Martínez-Farré, F.X., Fernández, M., Huerta, O. (2010b). "Evaluation of MSW organic fraction for composting: Separate collection or mechanical sorting". *Resources, Conservation and Recycling*, 54 (4): 222-228.

Lossin, R.D. (1971). "Compost studies. Part 3. Disposing of animal wastes measurement of the chemical oxigen demand of composting". *Compost Sci.* 12: 31-32.

Lutfi, M. (2003). "Investigación relativa a la minimización de lixiviados de vertederos y su depuración". Tesis doctoral. Unviersidad Politécnica de Madrid.

Madrid Díaz, F. (2012). "Caracterización y utilización del compost de residuos sólidos urbanos de la planta de Villarrasa (Huelva).

Margalef, R. (1998) *Ecología*. Ed. Omega, Barcelona. 589 pp.

Marmolejo, L.F.; Oviedo, E. R.; Jaimes, J. C.; Torres, P. (2010). "Influencia de la separación en la fuente sobre el compostaje de residuos sólidos municipales". *Agronomía Colombiana*; Bogota 28.2 (2010): 319-328.

- Mata, J. (2002). "Digestió anaeròbica de residus sòlids urbans". Estudis i Mongrafies. Nº 22. Servei de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona, 134 pp.
- Mathur, S.P., Johnson, W.M. (1987). "Tissue-culture and suckling mouse test of toxigenicity in peat-based composts of fish and crab wastes". Biol. Agr. Hort. 4: 235-242.
- Mathur, S.P., Owen, G., Dinel, H., Schnitzer, M. (1993). Determination of compost biomaturity I. Literature review. Biol. Agric. Hortic. 10:65-85.
- Mbagwu, J.S.C. (1992). "Improving the production of a degraded ultisol in Nigeria with organic and inorganic amendments. Changes in physical". Bioresour. Technol. 42: 167-175.
- McGregor, S.T., Miller, F.C., Psarianos, K.M., Finstein, S. (1981). "Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature". Appl. Environ. Microbiol. 41: 1321-1330.
- McKinley, V.L., Vestal, J.R., Eralp, A.E. (1985). "Microbial activity in composting (I). Biocycle September: 39-43.
- Meadows, D.H.; Meadows, D.L.; Randers, J. (2004). "Los límites del crecimiento: 30 años después". Galaxia Gutenberg.
- Meadows, D.H.; Meadows, D.L.; Randers, J. (2012). "Los límites del crecimiento: 40 años después". TAURUS.
- Meadows, D.H.; Meadows, D.L.; Randers, J.; Behrens, W. (1972). "Los límites del crecimiento: informe al Club de Roma sobre el predicamento de la Humanidad".
- Miller, F.C., McGregor, S.T., Psarianos, K.M., Cirello, J., Finstein, M.S. (1982). "Direction of ventilation in composting wastewater sludge. Ed.: J. Water Pollut. Control Fed. Vol 54(1): 111-113.
- Mindy, S. (2007) Eutrophication: An Overview of Status, Trends, Policies, and Strategies. World Resources Institute.
- Mindy, S. (2007). "Eutrophication: An Overview of Status, Trends, Policies, and Strategies". World Resources Institute.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2009). "Manual de Compostaje". V.A. Impresores, S.A.
- Moreno, J., Moral, R. Bueno, P., Díaz, M.J., Cabrera, F. (2008). "Compostaje". Capítulo 4. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa, 2007.
- Muniruzzaman, M., & Rolle, M. (2015). Impact of multicomponent ionic transport on pH fronts propagation in saturated porous media. Water Resources Research, 51(8), 6739-6755

Murillo, J.M., Cabrera, F., López, R., Martín-Olmedo, P. (1995). Testing low-quality urban compost for agriculture: germination and seedling performance of plants. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 54: 127-135.

Murillo, J.M., Hernández, J.M., Barroso, M., Gómez, E. (1989). "Successive applications of composted municipal refuse. II. Effect on selected soil characteristics". *Agr. Med.* 119: 236-245.

Murphy, T. J. (2004). "A comparative evaluation of liquid infiltration methods for bioreactor landfills". Environmental Science Graduate School of The Ohio State University.

Nogales, R., Gallardo Lara, F. (1984). "Criterios para la determinación del grado de madurez de los compost de basura urbana". *Actas II Congreso Nacional Recuperación de Recursos de los Residuos*, Soria: 941-951.

Nogales, R., Gallardo Lara, F., Delgado, M. (1982). "Aspectos físico-químicos y microbiológicos del compostaje de basuras urbanas". *An. Edafol. Agrobiol.* 41: 1159-1174.

Nolan, B.T., Ruddy, B.C., Hitt, K.J., Helsel, D.R. (1997). "Risk of nitrate in groundwaters of the United States. A national perspective". *Environ. Sci. Technol.* 31, 8: 2229-2236.

Nota de prensa del INE nº 1004 de 28 de noviembre 2016.

Nota de prensa del INE nº 866 de 7 de octubre de 2014.

Novo, M. (2006). "El desarrollo sostenible. Su dimensión ambiental y educativa", UNESCO - Pearson Educación S.A., Madrid.

Obuli, P., Karthikeyan, M., Swati, R., Nagendran Kurian, J. (2007). "Performance of bioreactor landfill with waste mined from a dumpsite". *Environ Monit Assess.*

Ortega, E., Nogales, R., Delgado, M. (1981). "Modificación de la porosidad de un suelo por la adición de un compost de basura urbana". *An. Edafol. Agrobiol.* 40: 1735-1747.

Ortero León, F., Fuentes Romero, J.A. (2003). "Los residuos de origen doméstico, sistemas para la gestión". Capítulos IV y V. Pág 126-173.

Paxéux, N. (2000). "Organic compounds in municipal landfill leachate". *Water Science and Technology.* 42, 323-333.

Pérez, C., Manzano, S. y Soliva, M. (1995). "Estudio de las variaciones de temperatura y de nivel de oxígeno durante el compostaje de residuos sólidos urbanos". *Riegos y Drenajes XXI.*, (81), 26-32.

Pérez, C., Manzano, S., Soliva, M. (1999). "Compostaje conjunto de la fracción orgánica de residuos municipales (FORM) y residuos vegetales: Influencia sobre los desprendimientos de CO₂ y NH₃". *Residuos*, 46.

- Pesavento, M., Alberti, G., Biesuz, R. (2009). "Analytical methods for determination of free metal ion concentration, labile species fraction and metal complexation capacity of environmental waters: a review". *Anal Chim. Acta*; 631: 129-41.
- Pitkänen T., Karinen P., Miettinen I.T., Lettojärvi H., Heikkilä A., Maunula R. y Cols. (2011) Microbial Contamination of Groundwater at Small Community Water Supplies in Finland. *Ambio* 40: 377–390.
- Pocknee, S., Summer, M.E. (1997). "Cation and nitrogen contents of organic matter determine its soil liming potential". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 86-92.
- Poincelot, R.P. (1975). "A scientific examination of the principles and practices of composting". *Compost Sci. Summer*: 24-31.
- Pressel, F., Bidlingmaier, D. (1981). "Analyzing decay rate of compost". *Biocycle* 22,5: 50-51.
- Proietti, P., Calisti, R., Gigliotti, G. Nasini, L., Regni, L., Marchini, A. (2016). "Compositing optimization: Integrating cost analysis with the physical-chemical properties of materials to be composted". *Journal of Cleaner Production* 137 (2016) 1086-1099.
- Rabajczyk A, Namieśnik J. (2014) Speciation of iron in the aquatic environment. *Water Environ Res.* 86:741-58.
- Randall G.W., Mulla D.J. (2001) Nitrate Nitrogen in Surface Waters as Influenced by Climatic Conditions and Agricultural Practices. *Journal of Environmental Quality* 30:337-344
- Rassamee, V., Sattayatewa, C., Pagilla, K. and Chandran, K. (2011). Effect of oxic and anoxic conditions on nitrous oxide emissions from nitrification and denitrification processes. *Biotechnology and Bioengineering.*, 108: 2036–2045
- Rastogi, M., Hooda, R., Nandal, M.(2014). "Review on anaerobic treatment of municipal solid waste with leachate recirculation". *International journal of plant, animal and environmental sciences* volume-4, Issue-4, Oct-Dec-2014.
- Rastogi, M., Hooda, R., Nandal, M.(2014). "Review on anaerobic treatment of municipal solid waste with leachate recirculation". *International journal of plant, animal and environmental sciences* volume-4, Issue-4, Oct-Dec-2014.
- Rathod, M., Mishra, H., Karmakar, S.(2013). "Leachate Characterization and Assessment of Water Pollution near Municipal Solid Waste Landfill Site". *International Journal of Chemical and Physical Sciences IJCPS* Vol. 2, Special Issue - March 2013 ISSN:2319-6602
- Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan F., Moulin, P. (2008) "Landfill leachate treatment: review & opportunity". *Journal of Hazardous Materials* 150 (3): 468–493.
- Reyes, M. (2015). "Lixiviados en plantas de residuos. Una contribución para la selección del proceso de tratamiento". Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.

- Rodríguez García, R., Nieves Gómez, N., Zarauza Cabrerizo, P., Benítez Rodríguez, A.M., Equipo de IMAGINA, Educación y Ocio, S.L. (2013). "Conserjería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Guías Didácticas de Educación Ambiental. Educación Ambiental, Residuos y Reciclaje". J. De Haro Artes Gráficas, S.L. Madrid. Pág. 4-33.
- Sacha, M. (2013). "Caracterización físico-química y microbiológica de un proceso de tratamiento de lixiviados de vertedero". Universidad de Oviedo.
- Sahai, H., Agee M.I. (2000). "The Analysis of Variance: Fixed, Random and Mixed Models". Springer Science+Business multimedia, LLC.
- Salazar Gámez, L., Saavedra Antolínez, I.M. (2009). "Tratamiento de lixiviados, casos prácticos en diferentes temperaturas". II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos Barranquilla, 24 y 25 de septiembre de 2009.
- Sawyer, C. And Mc Carty, P. And Parkin, G. (2003). "Chemistry For Environmental Engineering And Science". McGraw & Hill, Boston, USA. 752 pp.
- Sawyer, C. And Mc Carty, P. And Parkin, G. 2003 Chemistry For Environmental Engineering And Science. McGraw & Hill, Boston, USA. 752 pp.
- Schmidt, J.P. (1997). "Understanding phytotoxicity thresholds for trace elements in land-applied sewage sludge". J. Environ Qual. 26:4-10.
- Senesi, N. (1989). "Composted materials of organic fertilizer". The Sci. Total Environ. 81/82: 521-542.
- Shumman, G.L., Soares, H., Holden, C.M., Switzenbaum, M.S. (1993). "Relationship of traditional parameters of compost stability to turfgrass quality". Environ. Technol. 14, 3: 257- 263.
- Sistema Municipal de Indicadores de Sostenibilidad, emitido por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Madrid, 25 de noviembre de 2010).
- Slack, R. J., Gronow, J. R., Voulvoulis, N. (2005). "Household hazardous waste in municipal landfills: contaminants in leachate". Science of the Total Environment 337 (1-3): 119-137.
- Smith, V. H.; Tilman, G. D.; Nekola, J. C. (1999). "Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems". *Environmental pollution*: 100: 179–196.
- Smith, V. H.; Tilman, G. D.; Nekola, J. C. (1999). Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental pollution*: 100: 179–196.
- Sokal, R., Rohlf, F.J. (2012). "Biometry : the principles and practice of statistics in biological research", 4th edition. W.H. Freeman & Co, New Yor, USA.
- Soliva, M. (2001a). "Compostatge i gestió de residus orgànics". Estudis i Monografies, 21. Servei de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona, 111 pp.

Soliva, M., Huerta, O., López, M., (2004). "Informe proyecto de caracterización y tipificación de la calidad del compost producido en España". ESAB-Instituto Geológico y Minero de España.

Soliva, M., Manzano, S., Giró, F. (1993). "Nitrogen loss during composting". *Compost Sci. Util.* 1(4): 23-26.

Spagni, S., Marsili-Libelli, Lavagnolo, M. C. (2008). "Optimization of sanitary landfill leachate treatment in a sequencing batch reactor". *Water Science & Technology* 58 (2): 337-343.

Spohn, E. (1978). "Of compost maturity". *Compost Sci.* 19: 13-17.

Statom, R. A., Thyne, G. D., McCray, J. E. (2004). "Temporal changes in leachate chemistry of a municipal solid waste landfill cell in Florida, USA". *Environmental Geology* 45 (7): 891-1042.

Stegmann, R., Heyer, K. U., Cossu, R. (2005). "Leachate treatment. Proceedings Sardinia 2005, Tenth International Waste Management & Landfill Symposium. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy". 3 - 7 October 2005. 2005 by CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Italy.

Stevenson, F.J. (ED) (1985). "Cycles of soil. Carbon, Nitrogen, Phosphorous, Sulphur, Micronutrients". John Wiley and Sons, New York.

Subtil, E.L., Cassini, S.T.A., Gonçalves, R.F. (2012) Sulfate and dissolved sulfide variation under low COD/Sulfate ratio in up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) treating domestic wastewater. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 7: 130-139.

Sugahara, K., Inoko, A. (1981). "Comparison analysis of humus and characterization of humic acid obtained from city refuse compost". *Soil Sci. Plant Nutr.* 27: 213-224.

Tansel, B., Londono, V., Kumar, P., Sizerici, B. (2010). "Closed Landfills as Power Parks: Technical and Economic Feasibility of Solar Energy Harvesting at Florida's Closed Landfills". Hinkley Center for Solid and Hazardous Waste Management. Gainesville, Florida, Estados Unidos, 209 pp.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. (1997). "Gestión integral de residuos sólidos, vol. I", Madrid: Ed. Mc Graw Hill.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.A. (1994). "Gestión Integral de Residuos Sólidos". McGraw-Hill

Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., Sutton, D. J. (2012). "Heavy Metals Toxicity and the Environment". En: Andreas L (ed.), *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology-Volume 3: Environmental Toxicology; Serie "Experientia Supplementum"* vol 101, pp 133-164. Springer, Basilea, Suiza.

- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., Sutton, D. J. (2012). Heavy Metals Toxicity and the Environment. En: Andreas L (ed.), Molecular, Clinical and Environmental Toxicology-Volume 3: Environmental Toxicology; Serie "Experientia Supplementum" vol 101, pp 133-164. Springer, Basilea, Suiza.
- Thostrup, P. (1988). "Evaluation of composting systems". En Compost Process in Waste Management. Ed. Bidlingmaier W, Hermite PL. Proceeding of a Workshop held at the Monastery of Neresheim. Bruselas: 151-178.
- Toufexi, E., Tsarpali, V., Efthimiou, I., Vidali, M. S., Vlastos, D., Dailianis, S. (2013). "Environmental and human risk assessment of landfill leachate: An integrated approach with the use of cytotoxic and genotoxic stress indices in mussel and human cells". Journal of Hazardous Materials 260: 593 -601.
- Van Assche, C., Uyttebroeck, P. (1982). "Demand, supply and application possibilities of domestic waste compost in agriculture and horticulture". Agric. Wastes 4: 203-212.
- Van Praagh, M., Heerenklage J., Smidt, E., Modin, H., Stegmann, R., Persson, K. M. (2009). "Potential emissions from two mechanically–biologically pretreated (MBT) wastes". Waste Management 29 (2): 859-868.
- VanLoon G.W., Duffy S.J. (2005) Environmental Chemistry: A global perspective, Third Edition. Oxford University Press, Oxford, UK. 560 pp.
- Vázquez-Roncero, A., Janer del Valle, C., Janer del Valle, M.C., (1973) Determinación de polifenoles totales del aceite de oliva. Grasas y Aceites 22: 350-355.
- Vega, M., Pardo, R., Barrado, E., Cebrián L. (1994) Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. Water Research 32: 3581-3592
- Warman, P.R., Burnham, J.C., Eaton, L.J. (2009). "Effects of repeated applications of municipal solid waste compost and fertilizers to three lowbush blueberry fields". Scientia Horticulturae, 2009.
- Warman, P.R., Rodd, A.V., Hicklenton, P. (2009). "The effect of MSW compost and fertilizer on extractable soil elements and the growth of winter squash in Nova Scotia". Agriculture, Ecosystems & Environment, 2009.
- Weng, L.P., Temminghoff, E.J.M., Lofts, S., Tipping, E., Van Riemsdijk, W.H. (2002). "Complexation with dissolved organic matter and solubility control of heavy metals in a sandy soil". Environ Sci Technol; 36: 4.804-10.
- White, J.K., Beaven, R.P., Powrie W., Knox, K. (2010). "Leachate recirculation in a landfill: Some insights obtained from the development of a simple 1-D model". Waste Management.
- Wilson, G.B., Dalmat, D. (1986). "Measuring compost stability". Biocycle 27,7: 34-37.

Yang, W., Zhang, K. N., Chen, Y. G., Zhou, X. Z., Jin, F. X. (2013). "Prediction on contaminant migration in aquifer of fractured granite substrata of landfill". Journal of Central South University [2095-2899] 20 (11): 3193-3201.

Yanyu, W., Shaoqi, Z., Dongyu, C., Rong, Z., Huosheng, L., Yiming, L. (2011). "Transformation of metals speciation in a combined landfill leachate treatment". Science of the Total Environment.

Zucconi, F., de Bertoldi, M. (1987). "Specifications for solid waste compost". Biocycle 28, (5): 56-61.

Normativa

Decisión de la Comisión, de 18 de diciembre de 2014, por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE, sobre la lista de residuos, de conformidad con la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (DOUE núm. 370/2014).

Decisión de la Comisión, de 3 de mayo de 2000, que sustituye a la Decisión 94/3/CE por la que se establece una lista de residuos de conformidad con la letra a) del artículo 1 de la Directiva 75/442/CEE del Consejo relativa a los residuos y a la Decisión 94/904/CE del Consejo por la que se establece una lista de residuos peligrosos en virtud del apartado 4 del artículo 1 de la Directiva 91/689/CEE del Consejo relativa a los residuos peligrosos (DOUE núm. 226/2000).

Decreto 73/2012 de 22 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de Residuos de Andalucía. (BOJA núm. 81/2012).

Directiva 1999/31/CE del Consejo de 26 de abril de 1999 relativa al vertido de residuos (DOUE núm. 182/1999).

Directiva 2000/76/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 4 de diciembre de 2000 relativa a la incineración de residuos (DOUE núm. L332/2000) (DEROGADA).

Directiva 2006/66/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de septiembre de 2006, relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores y por la que se deroga la Directiva 91/157/CEE (DOUE 266/2006).

Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de septiembre de 2007 por la que se crea un marco para la homologación de los vehículos de motor y de los remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos (DOUE núm. 263/2007).

Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas (DOUE 312/2008).

Directiva 2013/56/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de noviembre de 2013, por la que se modifica la Directiva 2006/66/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores, por lo que respecta a la puesta en el mercado de pilas y acumuladores portátiles que contengan cadmio, destinados a utilizarse en herramientas eléctricas inalámbricas, y de pilas botón con un bajo contenido de mercurio, y se deroga la Decisión 2009/603/CE de la Comisión (DOUE 329/2009).

Directiva del Consejo, de 18 de marzo de 1991, por la que se modifica la Directiva 75/442/CEE relativa a los residuos (DOUE núm. 78/1991).

Directiva 75/442/CEE del Consejo, de 15 de julio de 1975, relativa a los residuos (DOUE núm. L194)(DEROGADA).

Directiva 96/59/CE del Consejo de 16 de septiembre de 1996 relativa a la eliminación de los policlorobifenilos y de los policloroterfenilos (PCB/PCT) (DOUE L243/1996).

Ley 7/2009, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental (BOJA núm. 143/2009).

Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos (BOE núm. 96/1998) (DEROGADA).

Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases (BOE núm. 99/1997).

Ley 11/2012, de 19 de diciembre, de medidas urgentes en materia de medio ambiente (BOE 305/2012).

Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos (BOE núm. 120/1986)(DEROGADA).

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

Ley 25/1964, de 29 de abril, sobre energía nuclear (BOE núm. 107/1964).

Ley 29/2006, de 26 de julio, de garantías y uso racional de los medicamentos y productos sanitarios (BOE núm. 178/2006).

Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera (BOE núm. 275/2007).

Ley 42/1975, de 19 de noviembre, sobre desechos y residuos sólidos urbanos (BOE núm. 280/1975) (DEROGADA).

Ley 5/2013, de 11 de junio, por la que se modifican la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación y la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados (BOE núm. 140/2013).

Ley 7/2007, de 9 de julio de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental (BOE núm. 190/2007).

NTP 1054, elaborada por el Instituto Nacional de de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) en 2015.

Orden de 14 de julio de 1988 sobre productos fertilizantes y afines (BOE núm. 191/1988) (DEROGADA).

Orden de 14 de junio de 1991 sobre productos fertilizantes y afines (BOE núm. 146/1991) (DEROGADO).

Orden de 28 de mayo de 1998 sobre fertilizantes y afines (BOE núm. 131/1998)(DEROGADO).

Orden AAA/661/2013, de 18 de abril, por la que se modifican los anexos I, II y III del Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero (BOE núm. 97/2013).

Orden AAA/699/2016, de 9 de mayo, por la que se modifica la operación R1 del anexo II de la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. (BOE núm. 115/2016).

Real Decreto 102/2014, de 21 de febrero, para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos (BOE núm. 58/2014).

Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición (BOE núm. 38/2008).

Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos (BOE núm. 37/2008).

Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (BOE núm. 45/2015).

Real Decreto 1304/2009, de 31 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante el depósito en vertedero (BOE núm. 185/2009).

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

Real Decreto 1619/2005, de 30 de diciembre, sobre la gestión de neumáticos fuera de uso (BOE núm. 2/2006).

Real Decreto 180/2015, de 13 de marzo, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado (BOE núm. 83/2015).

Real Decreto 20/2017, de 20 de enero, sobre los vehículos al final de su vida útil (BOE núm. 18/2017).

Real Decreto 219/2013, de 22 de marzo, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos (BOE núm. 71/2013).

Real Decreto 367/2010, de 26 de marzo, de modificación de diversos reglamentos del área de medio ambiente para su adaptación a la Ley 17/2009, de 23 de noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio, y a la Ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la Ley de libre acceso a actividades de servicios y su ejercicio (BOE núm. 75/2010).

Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre fertilizantes (BOE núm. 164/2013).

Real Decreto 653/2003, de 30 de mayo, sobre incineración de residuos (BOE núm. 142/2003)(DEROGADA).

Real Decreto 710/2015, de 24 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos (BOE núm. 177/2015).

Real Decreto 72/1988, de 5 de febrero, sobre fertilizantes y afines (BOE núm. 32/1988) (DEROGADO).

Real Decreto 782/1998, de 30 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases (BOE núm. 104/1998).

Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación (BOE núm. 251/2013).

Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes (BOE núm. 171/2005) (DEROGADO).

Real Decreto 943/2010, de 23 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos (BOE núm. 189/2010).

Real Decreto Legislativo 1163/86, de 13 de junio, por el que se modifica la Ley 42/1975, de 19 de noviembre, sobre desechos y residuos sólidos urbanos. (BOE núm. 149/1986)(DEROGADA).

Real Decreto-Ley 17/2012, de 4 de mayo, de medidas urgentes en materia de medio ambiente (BOE núm. 108/2012).

Real Orden del 11 de abril de 1860, Establecimientos peligrosos e insalubres dentro de las poblaciones (DEROGADA).

Reglamento (UE) n.º 678/2011 de la Comisión, de 14 de julio de 2011, que sustituye el anexo II y modifica los anexos IV, IX y XI de la Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se crea un marco para la homologación de los vehículos de motor y de los remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos (Directiva marco) (DOUE L185/2011).

Reglamento (CE) n.º 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (DOUE L353/2008).

Reglamento (UE) n.º 1357/2014 de la Comisión, de 18 de diciembre de 2014, por el que se sustituye el anexo III de la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre los residuos y por la que se derogan Determinadas Directivas (DOUE L365/2014).

Reglamento (CE) n.º 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos, se modifica la Directiva 1999/45/CE y se derogan el Reglamento (CEE) n.º 793/93 del Consejo y el Reglamento (CE) n.º 1488/94 de la Comisión así como la Directiva 76/769/CEE del Consejo y las Directivas 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE y 2000/21/CE de la Comisión (DOUE 396/2006).

Reglamento (CE) n.º 440/2008 de la Comisión, de 30 de mayo de 2008, por el que se establecen métodos de ensayo de acuerdo con el Reglamento (CE) n.º 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH) (DOUE núm. 142/2008).

Resolución de 16 de noviembre de 2015, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 6 de noviembre de 2015, por el que se aprueba el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022 (BOE núm. 297/2015).

Resolución de 20 de enero de 2009, de la Secretaría de Estado de Cambio Climático, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba el Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008-2015 (PNIR) (BOE núm. 49/2009).

Webgrafía

http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/relacion_carbono_nitrogeno.asp

<http://ec.europa.eu/eurostat>

[http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/File:Waste_generation_by_economic_activities_and_households,_2012_\(thousand_tonnes\)_YB15.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/File:Waste_generation_by_economic_activities_and_households,_2012_(thousand_tonnes)_YB15.png)

http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Waste_statistics/es

<http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=tsdpc240&language=en>

<http://tierrabaldia.com.mx/noticia/734/disposicion-final-de-residuos-solidos-en-rellenos-sanitarios/>

http://www.abc.es/sociedad/abci-incendio-vertedero-sesena-mas-grande-registrado-europa-201605131932_noticia.html

http://www.eustat.eus/estadisticas/idioma_c/tema_283/opt_1/tipo_1/ti_Estadistica_de_residuos_solidos_urbanos/temas.html#axzz3fDutmOne

<http://www.ine.es/>

http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176844&menu=ultiDatos&idp=1254735976612

https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/ria/servlet/FrontController?action=Static&url=coordenadas.jsp&c_provincia=23&c_estacion=15

<http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/indsoc/indicadores/81.htm>

http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/rediam/productos/Publicaciones/datos_basicos_2014/datosbasicos2014html/index.html#26/z

<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc2/visorEstadisticas/es.juntadeandalucia.cma.VisorEstadisticas/index.html>

http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam/menuitem.04dc44281e5d53cf8ca78ca731525ea0/?vgnnextoid=ef80403a67841510VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=64899dde67bbf310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnnextfmt=rediam&lr=lang_es

<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/vem/?c=Menu/sel>

<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/vem/?c=Tabla/indicador/821>

<http://www.lavozdegalicia.es/fotos/2011/09/09/01101315564218013689904.htm#>

<http://www.mapama.gob.es/es/>

<http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/informacion-ambiental/indicadores-ambientales/indicadores-ambientales-perfil-ambiental-de-espana/perfil-ambiental-de-espana2009/default.aspx>

<http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/2015/default.aspx?parte=2&capitulo=08>

<http://www.Monografías.Com>

CAPÍTULO VI. APORTACIONES CIENTÍFICAS.

Comunicaciones a congresos

Título:

Estudio de la evolución y características del compost obtenido a partir de Residuos Sólidos Urbanos, y de sus lixiviados generados.

Autores:

Rafael Pacheco Reyes; Juan R. Jódar Quesada; Natividad Ramos Martos; José A. Carreira de la Fuente y Antonia Fernández Hernández.

Congreso:

12º Congreso Nacional de Medio Ambiente. (CONAMA, 2014).

Lugar y fecha de celebración:

Madrid, (España), 24 al 27 de noviembre, 2014

Título:

"Quality Assessment of Compost Prepared with municipal solid waste".

Autores:

Juan R. Jódar Quesada; Antonia Fernández-Hernández; Natividad Ramos Martos; José A. Carreira de La Fuente y, Rafael Pacheco Reyes.

Congreso:

6th Euchems Chemistry Congress.

Lugar y fecha de celebración:

Sevilla, (España), 11 al 15 de septiembre, 2016

Título:

Alternativa medioambiental y valor añadido del compost de residuos sólidos urbanos.

Autores:

Juan Ramón Jódar Quesada; Natividad Ramos Martos, José A. Carreira de La Fuente y Antonia Fernández- Hernández.

Congreso:

XXI Reunión de la Sociedad Española de Química Analítica, (SEQA).

Lugar y fecha de celebración:

Valencia, (España), 5 al 7 de septiembre de 2017

Título:

Variabilidad de las características físico-químicas de pilas de compost de residuos sólidos urbanos.

Autores:

Juan Ramón Jódar Quesada; Natividad Ramos Martos, José A. Carreira de La Fuente y Antonia Fernández- Hernández.

Congreso:

XXI Reunión de la Sociedad Española de Química Analítica, (SEQA).

Lugar y fecha de celebración:

Valencia, (España), 5 al 7 de septiembre de 2017

Estudio de la evolución y características del compost obtenido a partir de Residuos Sólidos Urbanos, y de sus lixiviados generados

Autor: Rafael Pacheco Reyes
Universidad de Jaén

Otros autores: Juan R. Jódar Quesada (Universidad de Jaén); Natividad Ramos Martos (Universidad de Jaén); José A. Carreira de la Fuente (Universidad de Jaén); Antonia Fernández Hernández (Centro IFAPA Venta del Llano)

Tipo: Comunicación técnica panel
Temática: Tecnología e innovación

Documentos asociados: Doc. Panel

Resumen:

En los últimos años, se viene detectando la existencia de un empobrecimiento de la materia orgánica de los suelos agrícolas, que puede ser debido a los cultivos intensivos a que se someten las tierras, pero también a una escasa aportación de fertilizantes orgánicos.

Por otra parte, es un hecho a considerar, que el contenido en materia orgánica de los suelos de las zonas que presentan clima mediterráneo, en general, es muy reducido, pudiendo atribuirse al largo periodo cálido y seco del verano, que impide la existencia de vegetación permanente que aporte restos orgánicos, o a la oxidación de los existentes.

Además, la ausencia de cubierta vegetal en determinados cultivos, está provocando en los suelos, su lavado, erosión y pérdida en épocas de lluvia, disminución de la humedad retenida, etc., agresiones que se deben controlar y evitar. En este sentido, la aplicación agrícola de residuos orgánicos, es una vía de recuperación de los suelos y una fuente de nutrientes esenciales para las plantas, por lo que es necesario incrementar y mejorar el uso de fertilizantes de naturaleza orgánica, para frenar y prevenir la erosión de aquellos, restaurando su capacidad productiva hasta fines óptimos.

Un procedimiento de gestión de los residuos sólidos urbanos, es la valorización por compostaje de la fracción no susceptible de rechazo. Pues se trata de una fuente de materia orgánica, que la sociedad no se puede permitir desaprovechar, y el compost obtenido, es un fertilizante orgánico que puede mejorar los suelos de cultivo a bajo coste, pues presenta diversas características. Así, en agricultura intensiva, aporta carbono y sustancias húmicas que permiten rehabilitar las tierras empobrecidas, resulta idóneo para ser utilizado como enmienda o como acondicionador de tierras con niveles de materia orgánica baja, para cultivos sin suelo es un sustrato combinándolo con turba, aumenta la capacidad de retención hídrica del terreno, mejora el crecimiento de plantas, y recupera la actividad biológica de las tierras de labor.

El proyecto que se está llevando a cabo, tiene como objetivos: estudiar la evolución de la composición y características físico-químicas, de las pilas de residuos orgánicos, preparadas a partir de la separación, selección y molienda de los mismos, en una planta de tratamiento de R.S.U., a lo largo de las etapas de evolución, formación y maduración del compost, que ha sido obtenido mediante el procedimiento de pilas dinámicas, así como, aplicar distintas alternativas para la depuración de los lixiviados generados durante el proceso.

Quality Assessment of Compost Prepared with municipal solid waste.

J. R. Jodar^a, A. Fernández- Hernández^b, N. Ramos^aJ. A. Carreira^c, R. Pacheco^d

^aAnalytical Chemistry Research Group of the University of Jaén, (FQM 323). Campus Las Lagunillas, A2, 23071 Jaén (Spain)

^bAndalusian Institute of Research and Training on Agriculture, Fisheries, Agrifood and Organic Production(IFAPA), Centre Venta del Llano, 23620 Mengibar, Jaen (Spain)

^c Forest Ecology and Dynamics of Landscape. Research Group of the University of Jaén, (RNM 296). Campus Las Lagunillas, A2, 23071 Jaén (Spain)

^dBioprocess Research Group of the University of Jaén, (TEP-138). Campus Las Lagunillas, A2, 23071 Jaén(Spain)

Keywords: composting, mineral element, municipal solid waste

Abstract

Formerly, the disposal of waste resulting from human activities did not pose a serious environmental problem because the population was small and the amount of land available for assimilation was great. However, with the development of modern societies in which raw consumerism and the culture of "throwaway" is on the agenda, the problem of urban solid waste is becoming ever greater. One way that helps maintain the sustainability of agro-ecosystems land is the application of compost from municipal solid waste as fertilizer, because you can recover the nutrients contained in them, minimizing the negative impact on the environment. Composting as a method for preparing organic fertilizers and amendments is economically and ecologically sound and may well represent an acceptable solution for disposing of municipal solid waste, at the same time increasing its value. In the present work, we studied the quality compost made from municipal solid waste on the content of mineral nutrients (K, Ca, Mg, Na, Zn, Mn, Cu, Fe). The objective was to evaluate the changes in mineral nutrients concentrations during the composting process. The compost was prepared in a pilot-plant using the turning-pile system. Temperature and moisture were used as monitoring parameters to follow the composting progress, which underwent the typical trend of municipal solid waste composting mixtures. The results showed a similar evolution on the content of mineral nutrients of the mixture of municipal solid waste and the mature compost showed a large and balanced concentration of them. So, the use of compost of municipal solid waste represents an important tool for fertilization requirements for its use in agriculture.

Open Engineering
Quality assessment of compost prepared with municipal solid waste
 –Manuscript Draft–

Manuscript Number:	OPENENG-D-17-00008R1
Full Title:	Quality assessment of compost prepared with municipal solid waste
Article Type:	Review Article
Keywords:	composting, mineral element, waste management.
Corresponding Author:	Antonia Fernández-Hernández, Ph.D. Universidad de Jaén Jaén, Química Analítica SPAIN
Corresponding Author Secondary Information:	
Corresponding Author's Institution:	Universidad de Jaén
Corresponding Author's Secondary Institution:	
First Author:	Juan Ramón Jodar
First Author Secondary Information:	
Order of Authors:	Juan Ramón Jodar
	Antonia Fernández-Hernández, Ph.D.
	Natividad Ramos, Ph. D.
	Jose A. Carreira, Ph. D.
	Rafael Pacheco, Ph. D.
Order of Authors Secondary Information:	
Abstract:	One way that helps maintain the sustainability of agro-ecosystems land is the application of compost from municipal solid waste as fertilizer, because you can recover the nutrients contained in them, minimizing the negative impact on the environment. Composting as a method for preparing organic fertilizers and amendments is economically and ecologically sound and may well represent an acceptable solution for disposing of municipal solid waste. In the present work, we studied the quality compost made from municipal solid waste on the content of mineral nutrients: potassium, calcium, magnesium, sodium, zinc, manganese, copper, iron, nickel, chromium and lead. The objective was to evaluate the changes in mineral nutrients concentrations during the composting process. The compost was prepared in a pilot-plant using the turning-pile system. Temperature was used as monitoring parameters to follow the composting progress, which underwent the typical trend of municipal solid waste composting mixtures. The results showed a similar evolution on the content of mineral nutrients of the mixture of municipal solid waste and the mature compost showed a large and balanced concentration of them. So, the use of compost of municipal solid waste represents an important tool for fertilization requirements for its use in agriculture.

QUALITY ASSESSMENT OF COMPOST PREPARED WITH MUNICIPAL SOLID WASTE.

J. R. Jodar^a, N. Ramos^a, J. A. Carreira^c, R. Pacheco^d, A. Fernández- Hernández^{*b}

^aAnalytical Chemistry Research Group of the University of Jaén, (FQM 323). Campus Las Lagunillas, A2, 23071 Jaén (Spain). nramos@ujaen.es

^bAndalusian Institute of Research and Training on Agriculture, Fisheries, Agrifood and Organic Production (IFAPA), Centre Venta del Llano, 23620 Mengibar, Jaen (Spain). afernandezhernandez1972@gmail.com

^c Forest Ecology and Dynamics of Landscape. Research Group of the University of Jaén, (RNM 296). Campus Las Lagunillas, A2, 23071 Jaén (Spain). jafuente@ujaen.es

^dBioprocess Research Group of the University of Jaén, (TEP-138). Campus Las Lagunillas, A2, 23071 Jaén (Spain). rpacheco@ujaen.es

* Corresponding author. Antonia Fernández Hernández, (Jaén), Spain. Tel.: +34649183370. E-mail address: afernandezhernandez1972@gmail.com

ABSTRACT

Formerly, the disposal of waste resulting from human activities did not pose a serious environmental problem because the population was small and the amount of land available for assimilation was great. However, with the development of modern societies in which raw consumerism and the culture of "throwaway" is on the agenda, the problem of urban solid waste is becoming ever greater. One way that helps maintain the sustainability of agro-ecosystems land is the application of compost from municipal solid waste as fertilizer, because you can recover the nutrients contained in them, minimizing the negative impact on the environment. Composting as a method for preparing organic fertilizers and amendments is economically and ecologically sound and may well represent an acceptable solution for disposing of municipal solid waste, at the same time increasing its value. In the present work, we studied the quality compost made from municipal solid waste on the content of mineral nutrients (K, Ca, Mg, Na, Zn, Mn, Cu, Fe, Ni, Cr and Pb). The objective was to evaluate the changes in mineral nutrients concentrations during the composting process. The compost was prepared in a pilot-plant using the turning-pile system. Temperature was used as monitoring parameters to follow the composting progress, which underwent the typical trend of municipal solid waste composting mixtures. The results showed a similar evolution on the content of mineral nutrients of the mixture of municipal solid waste and the mature compost showed a large and balanced concentration of them. So, the use of compost of municipal solid waste represents an important tool for fertilization requirements for its use in agriculture.

Keywords: composting, mineral element, municipal solid waste

1. Introduction

Formerly, the disposal of waste resulting from human activities did not pose a serious environmental problem because the population was small and the amount of land available for assimilation was great. However, with the development of modern societies in which raw consumerism and the culture of "throwaway" is on the agenda, the problem of urban solid waste is becoming ever greater.

The production of compost has long been the object of great interest to researchers, since compost may be used as a fertilizer or as a material for producing plant nursery substrates. From an economic point of view, composting can therefore bring reductions in the cost of disposing of organic residues, as well as providing an income, by virtue of compost being used as a substitute for other materials (chemical fertilizers and peat) that may be quite expensive. In addition, composting can have a strong ecological environmental value, allowing organic by-products to be subtracted from the disposal cycle and put back into the production cycle, enhancing it and closing the organic carbon cycle, while also being a tool for the economic and social sustainability of production activities in rural areas (Scarpato et al., 2013; Simeone et al., 2015), also in accordance with the European strategy "Horizon 2020 for rural sustainable development.

The last report of The World Bank estimates that the current worldwide average generation rate of Municipal Solid Waste (MSW) per capita in urban areas corresponds to approximately 1.2 kg per person per day and that by 2025 this will likely increase to 1.42 kg/person/day, reaching 2.2 billion tons of waste per year on a global scale (Hoorweg et al., 2012; Leal Filho et al., 2015). In accordance with the last trend of environmental policies, composting is a valuable way of waste treatment that contributes to reduce organic waste destined to landfill disposal or incineration. Home and community composting have proven to be a sustainable strategy for food waste management that can reduce costs and environmental impact due to collecting, transport and treatment of MSW (Barrena et al., 2014; Proietti et al., 2016). One way that helps maintain the sustainability of agro-ecosystems land is the application of compost from municipal solid waste as fertilizer, because you can recover the nutrients contained in them, minimizing the negative impact on the environment. (Jara- Samaniego et al., 2016).

Composting process provides a valuable material improving physical and chemical properties of soil. The quality of the obtained compost depends to a great extent on the kind of material subjected to stabilisation. Composting is a low temperature bio-oxi-dative process of organic matter transformation and belongs to important trends in recycling organic and mineral components of wastes (Baran et al., 2009).

Composting as a method for preparing organic fertilizers and amendments is economically and ecologically sound and may well represent an acceptable solution for disposing of municipal solid waste, at the same time increasing its value (Dansó et al., 2006; Akran et al., 2009; Mary et al., 2010; Nigussie et al., 2015).

In the case of municipal wastes this method is extremely advantageous since it eliminates their sanitary-epidemiological hazard and reduces the organic content of landfills. Among other advantages of the method, there are its availability, easy exploitation and the possibility of obtaining soil amendment improving its fertility (Pagans et al., 2006; Manczarski, 2009; Zhao et al., 2013).

However, a decisive criterion for the usefulness of the product is its quality (Jędrzak et al., 2005). The product obtained as a result of composting municipal waste and sewage sludge is rich in humus and macro and microelements (Jasiewicz et al., 2010). The only problem is the increase in heavy metal content (Miaomiao et al., 2009; Gondek et al., 2012). High concentration of heavy metals in obtained product may exclude the possibility of their use in agriculture (Jasiewicz et al., 2010), especially those produced from municipal waste (Castaldi et al., 2006; Sądej and Namiotko, 2010).

In the present work, we studied the quality compost made from municipal solid waste on the content of mineral nutrients (K, Ca, Mg, Na, Zn, Mn, Cu, Fe, Ni, Cr and Pb). The objective was to evaluate the changes in mineral nutrients concentrations during the composting process. The compost was prepared in a pilot-plant using the turning-pile system. Temperature and moisture were used as monitoring parameters to follow the composting progress, which underwent the typical trend of municipal solid waste composting mixtures. The results showed a similar evolution on the content of mineral nutrients of the mixture of municipal solid waste and the mature compost showed a large and balanced concentration of them. So, the use of compost of municipal solid waste represents an important tool for fertilization requirements for its use in agriculture.

2. Material and methods

2.1. Compost production

Three different composting piles were prepared by mixing municipal solid wastes (MSW) with selective separation of metals. All these wastes are produced locally in the population in the surrounding area. The efficient recycling of these wastes contributes to a sustainable agricultural production system in the society. These composts were prepared during two consecutive years using the same dry weight proportions of the following starting mixtures (to achieve an initial C/N of 30).

Composts were prepared in a pilot-plant using the turning-pile system in trapezoidal piles (10 m length, 2 m width on the base and 3 m height) containing approximately 450 Tm each pile. The piles were turned every ten days during the bio-oxidative phase (approximately 12 weeks, from July to September) and the mixtures were then allowed to mature over a period of one month. Temperature and moisture were used as monitoring parameters to follow the composting progress. Urban waste water and water from sewage treatment plants were added during turning to keep the moisture levels in the range between 40 and 60%.

2.2. Analytical methods for samples

The moisture of the composting samples was determined after drying at 105°C for 12 h. The pH and electrical conductivity (EC) values were determined in the aqueous extract (1:10, w:v) (Gómez-Muñoz et al., 2013; Toscano et al., 2013).

The following elements were analyzed: K, Ca, Mg, Na, Zn, Mn, Cu, Fe, Ni, Cr and Pb. The analyses of the mineral elements was carried out according to the procedure described by Fernández-Hernández et al. (2010) with some modifications. The samples were burned in a muffle furnace at 450°C for 12 h and the ashes were dissolved in concentrate HNO₃, taking it to a final volume of 50 mL with 2% HNO₃ (v/v). The concentrations of the eleven elements studied (K, Ca, Mg, Na, Zn, Mn, Cu, Fe, Ni, Cr and Pb.) were measured by using an Agilent model 7500A ICP-MS instrument equipped with an octapole collision cell and autosampler.

2.3. Statistical analyses

The experimental data, $n=9$, were subjected to a one-way analysis of variance (ANOVA) and mean separations were performed by the least significant difference (LSD) at the level of significance of $P < 0.05$, by using the Statistix 8 program for Windows.

3. Results

3.1. Compost characterization.

As shown in Fig. 1 the composting pile temperature went through three typical phases (heating, thermophilic and cooling phase) and ranged from 32°C to 72°C during the entire period of composting. These results indicating quick establishment of microbial activity in the composting pile. These results indicates that the municipal solid waste might enhanced composting process by providing easily available carbon for microorganism that they require optimum carbon and nitrogen for their growth.

All the composting processes took place simultaneously, lasting the bio-oxidative phase 52 days. At this point, the piles maintained during 15 days a difference of less than 10°C between their average temperature and the ambient temperature. Greater intensity of the thermophilic phase, mainly reflected in the exothermic accumulation, although the maximum temperature did not vary appreciably, since the unsuitable materials exercised some structuring effect. As it has been reported in other studies lignocellulosic wastes in composting mixtures (Serramiá et al., 2010), the characteristics of these materials could inhibit the microbial attack, slowing down the degradation of the mixture during composting.

Composts prepared for the present study showed a relatively high content in mineral elements (Table 1) making them suitable for their use as organic fertilizer on agriculture. The mineral composition of composts is highly dependent not only on the composition of the raw materials itself but also on other external factors such as the rate and composition of the municipal solid waste used in the starting mixtures.

3.2. Mineral composition of the municipal solid waste compost samples.

According to the results in Figure 2, potassium and sodium were available in the samples of municipal solid waste compost in large quantities, with an average value of 95.70 ± 9.47 and 63.12 ± 4.41 mg/kg on a dry matter basis, respectively. The data show the same trend during the composting process with a significant increase in potassium and sodium from the compost during the initial stage of it. But it decline sharply at the end of the composting for both mineral elements.

Calcium is generally one of the major elements in municipal solid waste compost. The average value obtained in the samples studied was 46.40 ± 4.62 mg/kg on a dry matter basis (Figure 2). The lowest value of calcium was found in compost samples from initial stages, while the highest ones were detected in mature compost samples. According to the results shown in Figure 2 the concentrations of magnesium in the samples of municipal solid waste compost ranged from 26.79 ± 4.87 mg/kg to 76.20 ± 7.96 mg/kg on a dry matter basis in mature sample. Calcium and magnesium content in compost samples during the composting process showed the same trend (Figure 2).

The changes in water-soluble metals (Fe, Cu, Zn and Mn) during the municipal solid waste composting process, expressed in $\mu\text{g/kg}$, are presented in Figure 3. The amount of these metals in the compost shows a significant difference in their results at the end of the composting. The concentration of Fe, Cu, Zn and Mn were increased in the compost at the maximum values of 40000, 1100, 3300 and 1000 $\mu\text{g/kg}$, respectively.

Figure 4 shows the average concentration for Pb, Cr and Ni obtained for the mature compost samples collected. Lead is one of the heavy metals found in the highest proportions in the samples of municipal solid waste compost. As shown in Figure 4 the average value for lead concentration was of $107.22 \pm 7.93 \mu\text{g/kg}$. According to the results in Figure 4, the chromium content in the municipal solid waste compost samples had as mean value for the samples studied $211.25 \pm 28.53 \mu\text{g/kg}$ on a dry matter basis, lower than them reported by Hernandez et al. (2015). From the results shown in Figure 4, it may be seen that Ni concentrations were generally low in all the samples, all the values meeting the requirement of quality B: 90 mg/kg (BOE, 2013). The mean value for all the samples of municipal solid waste compost was $74.04 \pm 11.51 \mu\text{g/kg}$ on a dry matter basis. This value was lower than between those found by other authors like Hernandez et al. (2015).

4. Discussion

Composting as a method for preparing organic fertilizers and amendments is economically and ecologically sound and may well represent an acceptable solution for disposing of different wastes. The composts prepared in this experiment showed similar mineral composition and physico-chemical characteristics (Table 1) to than other composts prepared from different agro-industrial by-products which are commonly used as organic fertilizers (Fernández-Hernández et al., 2014) with an important quantity of other plant nutrients such as K, P, Ca, Mg and Fe (Castaldi et al. 2017; Hernandez et al. 2015; Alburquerque et al., 2004). These values are lower than those reported recently by other authors such as Castaldi et al. (2017), Montejó et al. (2015) or Barral et al. (2009) in municipal solid waste compost but these differences may be responsible to the high percentage of impurities in the samples analyzed.

Mineral composition of the municipal solid waste compost samples has a high capacity to supply these mineral elements to plants. Its concentration tends to increase with the degree of maturation (Montejó et al., 2015) than may be due to the weight loss of material during composting process through mineralization of organic fraction (Khalid Iqbal et al., 2010). These results were compared to the Spanish standard requirements related to fertilizer products (BOE, 2013), in which heavy metal concentrations in municipal solid waste compost are restricted. In accordance with this regulation, three kinds of compost (quality A, B and C) can be established as a function of threshold concentration of heavy metals: the lowest level (most restrictive) corresponds to compost of quality A while the most permissive level, which must not be exceeded, is called quality C.

In summary, mature municipal solid waste compost shown with quality enough to be used as fertilizer or agricultural substrate by their content in micro and macronutrients.

Acknowledgements

We acknowledge support provided by research group PAIDI RNM-296 and project MINECO CGL2013-48843-C2-1-R. Technical and human support provided by CICT of Universidad de Jaén (UJA, MINECO, Junta de Andalucía, FEDER) is gratefully acknowledged.

References

- Akram M., Akram M., Ahmad N., Janick F., Tuller M., 2009. Economical and environmental implications of solid waste compost applications to agricultural fields in Punjab, Pakistan. *Waste Management* 29, 2437–2445.
- Albuquerque, J.A., González, J., García, D., Cegarra, J., 2004. Agrochemical characterisation of ‘alperujo’, a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Bioresour. Technol.* 91, 195–200.
- Baran S., Wójcikowska-Kapusta A., Żukowska G., Bik M. 2009. Changes of the phosphorus, potassium and magnesium content in compost of different maturity. *Advances of Agricultural Sciences Problem Issues* 537, 25–31.
- Barral, M.T., Paradelo, R., Moldes, A.B., Domínguez, M., Díaz-Fierros, F. 2009. Utilization of MSWcompost for organic matter conservation in agricultural soils of NW Spain. *Resources, Conservation and Recycling* 53, 529–534
- Barrena, R., Font, X., Gabarrell, X., Sánchez, A., 2014. Home composting versus industrial composting: influence of composting system on compost quality with focus on compost stability. *Waste Manage.* 34, 1109–1116.
- BOE, 2013. RD 506/2013 sobre productos fertilizantes. *Bol. Of. Estado* 10 julio 2013 164, 51119-51207. Available on line: <http://www.boe.es/boe/dias/2013/07/10/pdfs/BOE-A-2013-7540.pdf>.
- Castaldi P., Santona L., Melis P. 2006. Evolution of heavy metals mobility during municipal solid waste composting. *Frasenius Environmental Bulletin* 15 (9b), 1133-1140. Retrieved February 21, 2012, from Parlar Scientific Publications database on the World Wide Web <http://www.psp-parlar.de>.
- Castaldi, P.; Demurtas, D.; Silvetti, M.; Deiana, S.; Garau, G. 2017. Interaction of the water soluble fraction of MSW-composts with Pb(II) and Cu(II) ions. *Journal of Environmental Management* 192, 39-47
- Danso, G., Drechsel, P., Fialor, S., Giordano, M., 2006. Estimating the demand for municipal waste compost via farmers’ willingness-to-pay in Ghana. *Waste Manage.* 26 (12), 1400–1409.
- Fernández-Hernández, A., Mateos, R., García-Mesa, J.A., Beltrán Maza, G., Fernández-Escobar, R., 2010. Determination of mineral elements in fresh olive fruits by flame atomic spectrometry. *Span. J. Agric. Res.* 8(4), 1183-1190.
- Fernández-Hernández, A., Roig, A., Serramiá, N., García-Ortiz Civantos, C., Sánchez-Monedero, M.A. 2014. Application of compost of two-phase olive mill waste on olive grove: Effects on soil, olive fruit and olive oil quality. *Waste Management* 34, 1139–1147.

Gómez-Muñoz, B., Hatch, D.J., Bol, R., Garcia-Ruiz, R., 2013. Agrochemical characterization, net N mineralization, and potential N leaching of composted olive-mill pomace currently produced in southern Spain. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 176, 655-664.

Gondek K., Kopeć M. 2012. Content of selected macro and microelements in composted biodegradable municipal waste. *Acta Agrophysica*, 19(3), 527–538 (in Polish).

Hernández, T., García, E., García, C., 2015. A strategy for marginal semiarid degraded soil restoration: a sole addition of compost at a high rate. A five-year field experiment. *Soil Biol. Biochem.* 89, 61-71.

Hoornweg, D., Bhada-Tata, P., 2012. What a waste – a global review of solid waste management. In: The World Bank (Ed.), *Urban Development Series*, vol. 15.

Jara-Samaniego J., Pérez-Murcia M.D., Bustamante M.A., Pérez-Espinosa A., Paredes C., López M., López-Lluch D.B., Gavilanes-Terán I., Moral R. Composting as sustainable strategy for municipal solid waste management in the Chimborazo Region, Ecuador: Suitability of the obtained composts for seedling production. *Journal of Cleaner Production* (2016), doi: 10.1016/j.jclepro.2016.09.178.

Jasiewicz C., Antonkiewicz J., Baran A. 2010. Assessment of the use of municipal and industrial wastes in agriculture. *Polish Journal of Chemical Technology*, 9, 3, 15–19.

Jędrzak A., Haziak K. 2005. The characteristic of biodegradable waste. IV-th International Waste Management Forum, Efficiency of waste management, May/June 2005. Poznań-Licheń Stary, Poland (in Polish), 233–245.

Khalid Iqbal, M., Shafiq, T., Hussain, A.;Ahmed, K. 2010. Effect of enrichment on chemical properties of MSW compost. *Bioresource Technology* 101, 5969–5977

Leal Filho, W, Brandli, L., Moora, H., Kruopien, J., Stenmarck, A., 2015. Benchmarking approaches and methods in the field of urban waste management. *J. Clean. Prod.* (in press). doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.065>.

Manczarski P. 2009. Composting and mechanical biological stabilisation of municipal waste organic fraction. *Prace Instytutu Nafty i Gazu* 164, 107– 116 (in Polish).

Mary, N., Dannie, R., Nancy, K., Kuria, G., Stephen, K., Sammy, C., Will, F., 2010. Recycling of nutrients from organic wastes in Kenya's Capital City. In: Gorden, P., Nancy, K., Diana, L., (Eds.), *African Urban Harvest*, pp. 193–212.

Miaomiao H., Wenhong L., Xingiang L., Donglei W., Guangming T. 2009 . Effect of composting process on phytotoxicity and speciation of copper, zinc and lead in sewage sludge and swine manure. *Waste Management.*, 29 (2), 590–597.

Montejo, C., Costa, C., Márquez, M.C. 2015. Influence of input material and operational performance on the physical and chemical properties of MSW compost. *Journal of Environmental Management* 162, 240-249

Nigussie A., Kuyper T., Neergaard A. 2015. Agricultural waste utilisation strategies and demand for urban waste compost: Evidence from smallholder farmers in Ethiopia. *Waste Management* 44, 82–93.

Pagans E., Barrena R., Font X., Sánchez A. (2006). Ammonia emissions from the composting of different organic wastes. Dependency on process temperature. *Environ. Sci. Technol.* 40, 1534–1542.

Proietti P., Calisti R., Gigliotti G., Nasini L., Regni L., Marchini A. 2016. Composting optimization: Integrating cost analysis with the physical-chemical properties of materials to be composted. *Journal of Cleaner Production* 137 1086-1099

Sądej W., Namiołko A. 2010. Content of zinc in plants fertilized with municipal solid waste and Urban Green waste composts. *J. Elementol.*, 15(4): 679–692.

Scarpato, Debora, Simeone, Mariarosaria, 2013. Euro-Mediterranean integration and competitiveness of the agro-food sector. An empirical analysis in Campania region. *New Medit.* 12 (3), 56 - 64.

Serramiá, N., Sánchez-Monedero, M.A., Fernández-Hernández, A., García-Ortiz Civantos, C., Roig, A., 2010. Contribution of the lignocellulosic fraction of twophase olive-mill wastes to the degradation and humification of the organic matter during composting. *Waste Manage.* 30, 1939–1947.

Simeone, Mariarosaria, Scarpato, Debora, Rotondo, Giacomo, 2015. Consumer attitudes to food labelling: opportunities for firms and implications for policymakers. *Quality-Access Success* 16. S1, 2015.

Toscano, P., Casacchia, T., Diacono, M., Montemurro, F., 2013. Composted olive mill by-products: compost characterization and application on olive orchards. *J. Agro. Svci. Technol.* 15, 627-638.

Zhao S., Shang X., Duo L. 2013 Accumulation and spatial distribution of Cd, Cr, and Pb in mulberry from municipal solid waste compost following application of EDTA and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 20, 967–975.

Table 1. Mineral elements content on dry matter in municipal solid wastes mixtures prepared during the composting.

Mineral Element	Minimum content (µg/Kg)	Maximum content (µg/Kg)
K	65676	157221
Ca	230410	748154
Mg	23953	76208
Na	47829	85689
Zn	364	3148
Mn	208.1	994.3
Cu	136	1144
Fe	3149	40498
Ni	25.78	130.1
Cr	90.63	647.7
Pb	27.78	261.7

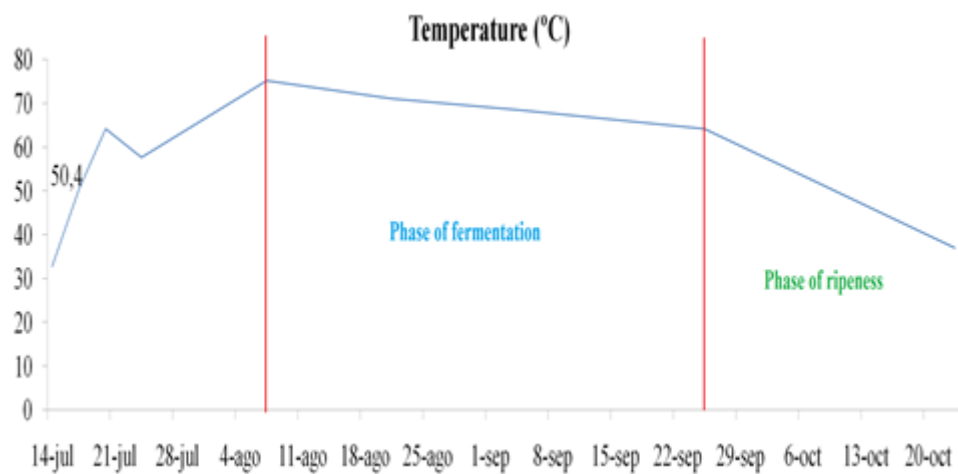


Figure 1. Evolution of temperature during composting process in municipal solid waste (MSW).

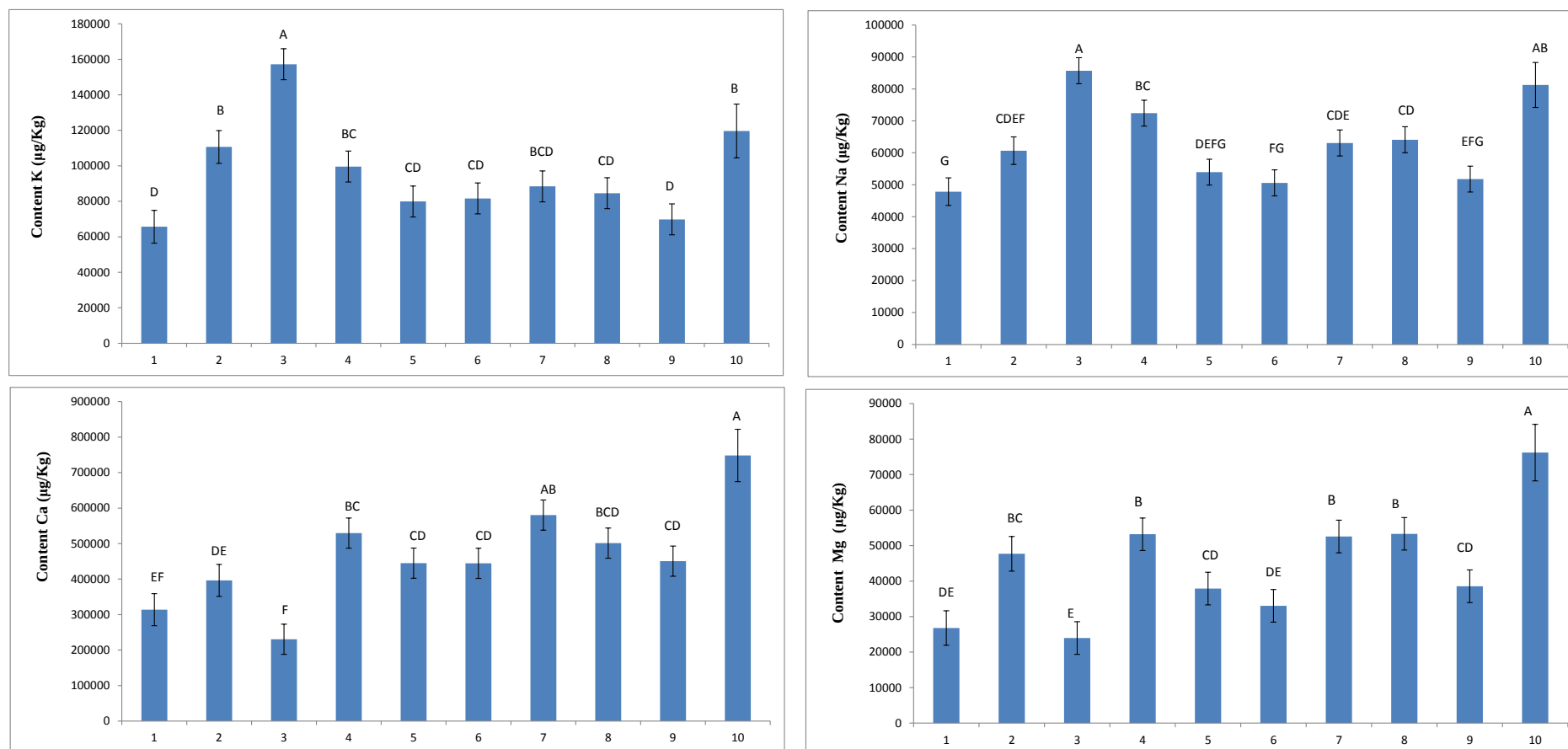


Figure 2. Mineral content evolution during composting process for K, Ca, Mg and Na. Results expressed on dry matter as mean value for n=9. Different letters on the bar indicate significant differences according to LSD test at 5% probability level between date of sample: 1 (14.07.2014), 2 (28.07.2014), 3 (11.08.2014), 4 (18.08.2014), 5 (25.08.2014), 6 (08.09.2014), 7 (15.09.2014), 8 (22.09.2014), 9 (06.10.2014) and 10 (20.10.2014).

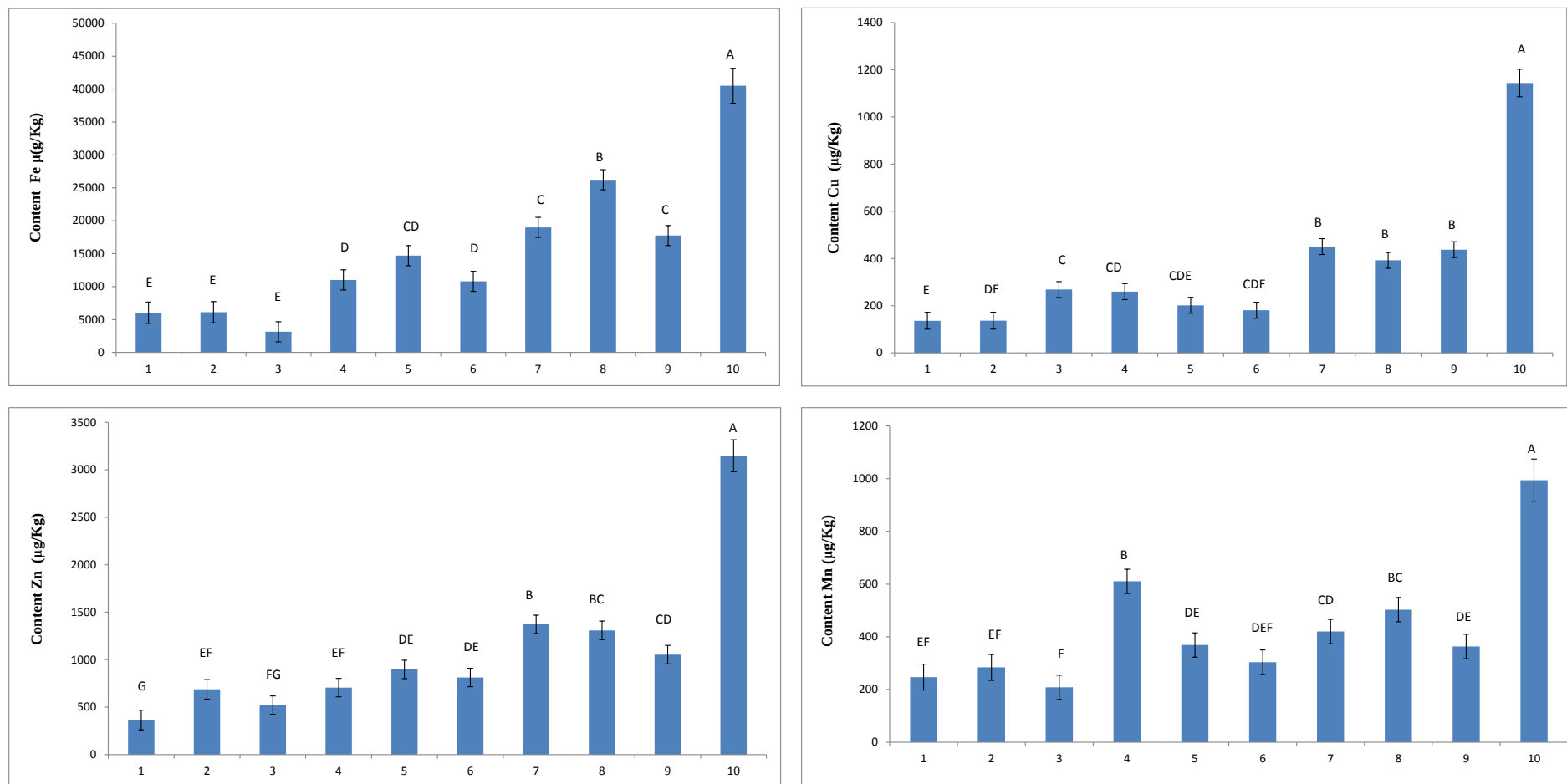


Figure 3. Mineral content evolution during composting process for Fe, Cu, Zn and Mn. Results expressed on dry matter as mean value for n=9. Different letters on the bar indicate significant differences according to LSD test at 5% probability level between date of sample: 1 (14.07.2014), 2 (28.07.2014), 3 (11.08.2014), 4 (18.08.2014), 5 (25.08.2014), 6 (08.09.2014), 7 (15.09.2014), 8 (22.09.2014), 9 (06.10.2014) and 10 (20.10.2014).

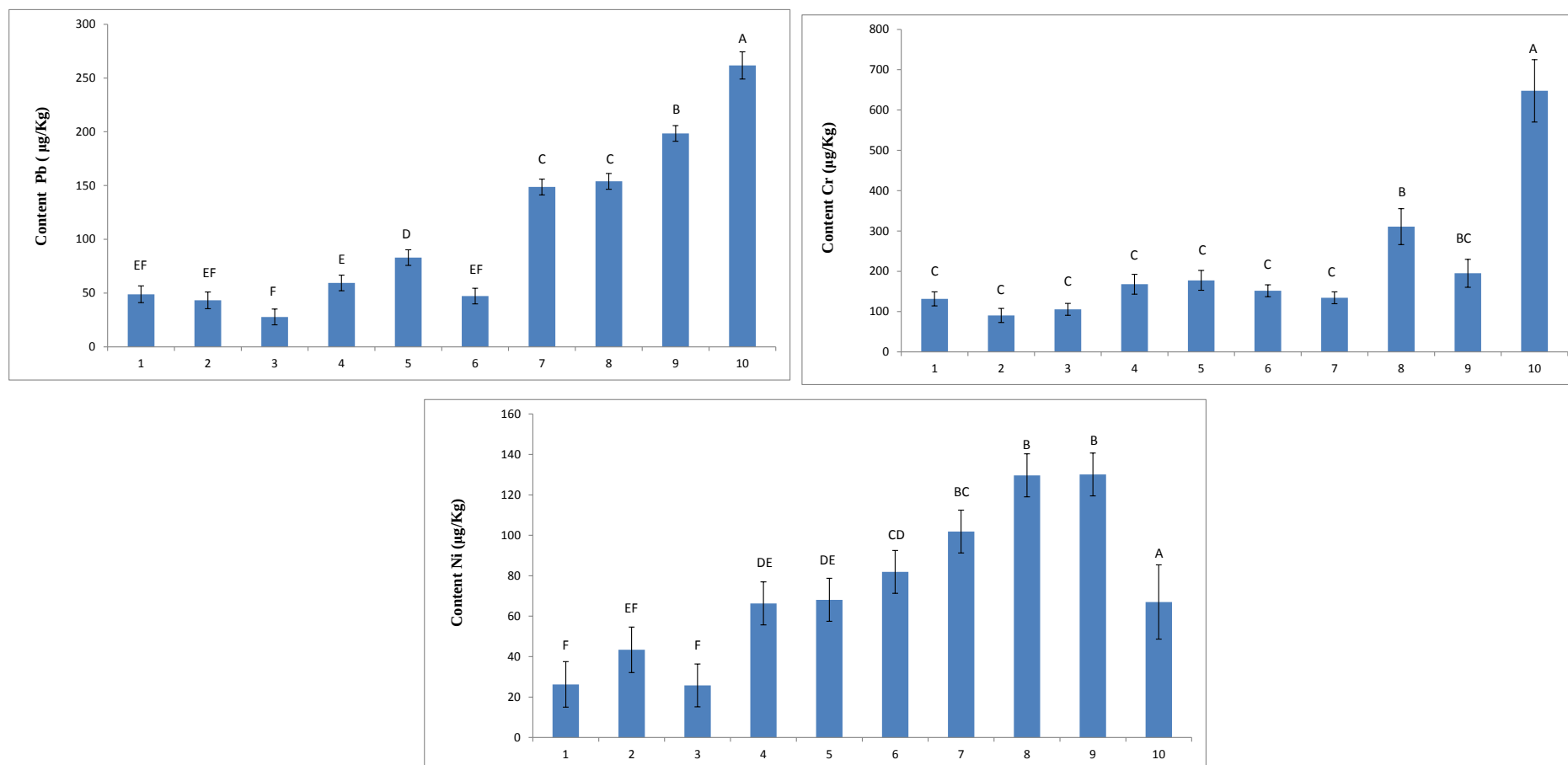


Figure 4. Mineral content evolution during composting process for Pb, Cr and Ni. Results expressed on dry matter as mean value for n=9. Different letters on the bar indicate significant differences according to LSD test at 5% probability level between date of sample: 1 (14.07.2014), 2 (28.07.2014), 3 (11.08.2014), 4 (18.08.2014), 5 (25.08.2014), 6 (08.09.2014), 7 (15.09.2014), 8 (22.09.2014), 9 (06.10.2014) and 10 (20.10.2014).

CAPÍTULO VII. ANEXOS.

ANEXO I: Catálogo Europeo de Residuos (CER). Año 2002.

01 RESIDUOS DE LA PROSPECCION, EXTRACCION DE MINAS Y CANTERAS Y TRATAMIENTOS FISICOS Y QUIMICOS DE MINERALES

01 01 Residuos de la extracción de minerales

01 01 01 Residuos de la extracción de minerales metálicos

01 01 02 Residuos de la extracción de minerales no metálicos

01 03 Residuos de la transformación física y química de minerales metálicos

01 03 04* Estériles que generan ácido procedentes de la transformación de sulfuros

01 03 05* Otros estériles que contienen sustancias peligrosas

01 03 06 Estériles distintos de los mencionados en los códigos 01 03 04 y 01 03 05

01 03 07* Otros residuos que contienen sustancias peligrosas procedentes de la transformación física y química de minerales metálicos

01 03 08 Residuos de polvo y arenilla distintos de los mencionados en el código 01 03 07

01 03 09 Lodos rojos de la producción de alúmina distintos de los mencionados en el código 01 03 07

01 03 99 Residuos no especificados en otra categoría

01 04 Residuos de la transformación física y química de minerales no metálicos

01 04 07* Residuos que contienen sustancias peligrosas procedentes de la transformación física y química de minerales no metálicos

01 04 08 Residuos de grava y rocas trituradas distintos de los mencionados en el código 01 04 07

01 04 09 Residuos de arena y arcillas

01 04 10 Residuos de polvo y arenilla distintos de los mencionados en el código 01 04 07

01 04 11 Residuos de la transformación de potasa y sal gema distintos de los mencionados en el código 01 04 07

01 04 12 Estériles y otros residuos del lavado y limpieza de minerales, distintos de los mencionados en los códigos 01 04 07 y 01 04 11

01 04 13 Residuos del corte y serrado de piedra distintos de los mencionados en el código 01 04 07

01 04 99 Residuos no especificados en otra categoría

01 05 Lodos y otros residuos de perforaciones

01 05 04 Lodos y residuos de perforaciones que contienen agua dulce

01 05 05* Lodos y residuos de perforaciones que contienen hidrocarburos

01 05 06* Lodos y otros residuos de perforaciones que contienen sustancias peligrosas

01 05 07 Lodos y otros residuos de perforaciones que contienen sales de bario distintos de los mencionados en los códigos 01 05 05 y 01 05 06

01 05 08 Lodos y otros residuos de perforaciones que contienen cloruros distintos de los mencionados en los códigos 01 05 05 y 01 05 06

01 05 99 Residuos no especificados en otra categoría

02 RESIDUOS DE LA AGRICULTURA, HORTICULTURA, ACUICULTURA, SILVICULTURA, CAZA Y PESCA; RESIDUOS DE LA PREPARACION Y ELABORACION DE ALIMENTOS

02 01 Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca

02 01 01 Lodos de lavado y limpieza

02 01 02 Residuos de tejidos de animales

02 01 03 Residuos de tejidos de vegetales

02 01 04 Residuos de plásticos (excepto embalajes)

02 01 06 Heces de animales, orina y estiércol (incluida paja podrida) y efluentes recogidos selectivamente y tratados fuera del lugar donde se generan

02 01 07 Residuos de la silvicultura

02 01 08* Residuos agroquímicos que contienen sustancias peligrosas

02 01 09 Residuos agroquímicos distintos de los mencionados en el código 02 01 08

02 01 10 Residuos metálicos

02 01 99 Residuos no especificados en otra categoría

02 02 Residuos de la preparación y elaboración de carne, pescado y otros alimentos de origen animal

02 02 01 Lodos de lavado y limpieza

02 02 02 Residuos de tejidos de animales

02 02 03 Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración

02 02 04 Lodos del tratamiento in situ de efluentes

02 02 99 Residuos no especificados en otra categoría

02 03 Residuos de la preparación y elaboración de frutas, hortalizas, cereales, aceites comestibles, cacao, café, té y tabaco; producción de conservas; producción de levadura y extracto de levadura, preparación y fermentación de melazas

02 03 01 Lodos de lavado, limpieza, pelado, centrifugado y separación

02 03 02 Residuos de conservantes

02 03 03 Residuos de la extracción con disolventes

02 03 04 Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración

02 03 05 Lodos del tratamiento in situ de efluentes

02 03 99 Residuos no especificados en otra categoría

02 04 Residuos de la elaboración de azúcar

02 04 01 Tierra procedente de la limpieza y lavado de la remolacha

02 04 02 Carbonato cálcico fuera de especificación

02 04 03 Lodos del tratamiento in situ de efluentes

02 04 99 Residuos no especificados en otra categoría

02 05 Residuos de la industria de productos lácteos

02 05 01 Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración

02 05 02 Lodos del tratamiento in situ de efluentes

02 05 99 Residuos no especificados en otra categoría

02 06 Residuos de la industria de panadería y pastelería

02 06 01 Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración

02 06 02 Residuos de conservantes

02 06 03 Lodos del tratamiento in situ de efluentes

02 06 99 Residuos no especificados en otra categoría

02 07 Residuos de la producción de bebidas alcohólicas y no alcohólicas (excepto café, té y cacao)

02 07 01 Residuos de lavado, limpieza y reducción mecánica de materias primas

02 07 02 Residuos de la destilación de alcoholes

02 07 03 Residuos del tratamiento químico

02 07 04 Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración

02 07 05 Lodos del tratamiento in situ de efluentes

02 07 99 Residuos no especificados en otra categoría

03 RESIDUOS DE LA TRANSFORMACION DE LA MADERA Y DE LA PRODUCCION DE TABLEROS Y MUEBLES, PASTA DE PAPEL, PAPEL Y CARTON

03 01 Residuos de la transformación de la madera y de la producción de tableros y muebles

03 01 01 Residuos de corteza y corcho

03 01 04* Serrín, virutas, recortes, madera, tableros de partículas y chapas que contienen sustancias peligrosas

03 01 05 Serrín, virutas, recortes, madera, tableros de partículas y chapas distintos de los mencionados en el código 03 01 04

03 01 99 Residuos no especificados en otra categoría

03 02 Residuos de los tratamientos de conservación de la madera

03 02 01* Conservantes de la madera orgánicos no halogenados

03 02 02* Conservantes de la madera organoclorados

03 02 03* Conservantes de la madera organometálicos

03 02 04* Conservantes de la madera inorgánicos

03 02 05* Otros conservantes de la madera que contienen sustancias peligrosas

03 02 99 Conservantes de la madera no especificados en otra categoría

03 03 Residuos de la producción y transformación de pasta de papel, papel y cartón

03 03 01 Residuos de corteza y madera

03 03 02 Lodos de lejías verdes (procedentes de la recuperación de lejías de cocción)

03 03 05 Lodos de destintado procedentes del reciclado de papel

03 03 07 Desechos, separados mecánicamente, de pasta elaborada a partir de residuos de papel y cartón

03 03 08 Residuos procedentes de la clasificación de papel y cartón destinados al reciclado

03 03 09 Residuos de lodos calizos

03 03 10 Desechos de fibras y lodos de fibras, de materiales de carga y de estucado, obtenidos por separación mecánica

03 03 11 Lodos del tratamiento in situ de efluentes, distintos de los especificados en el código 03 03 10

03 03 99 Residuos no especificados en otra categoría

04 RESIDUOS DE LAS INDUSTRIAS DEL CUERO, DE LA PIEL Y TEXTIL

04 01 Residuos de las industrias del cuero y de la piel

04 01 01 Carnazas y serrajes de encalado

04 01 02 Residuos de encalado

04 01 03* Residuos de desengrasado que contienen disolventes sin fase líquida

04 01 04 Residuos líquidos de curtición que contienen cromo

04 01 05 Residuos líquidos de curtición que no contienen cromo

04 01 06 Lodos, en particular los procedentes del tratamiento in situ de efluentes, que contienen cromo

04 01 07 Lodos, en particular los procedentes del tratamiento in situ de efluentes, que no contienen cromo

04 01 08 Residuos del curtido de piel (láminas azules, virutas, recortes, polvo) que contienen cromo

04 01 09 Residuos de confección y acabado

04 01 99 Residuos no especificados en otra categoría

04 02 Residuos de la industria textil

04 02 09 Residuos de materiales compuestos (textiles impregnados, elastómeros, plastómeros)

04 02 10 Materia orgánica de productos naturales (por ejemplo grasa, cera)

04 02 14* Residuos del acabado que contienen disolventes orgánicos

04 02 15 Residuos del acabado distintos de los especificados en el código 04 02 14

04 02 16* Colorantes y pigmentos que contienen sustancias peligrosas

04 02 17 Colorantes y pigmentos distintos de los mencionados en el código 04 02 16

04 02 19* Lodos del tratamiento in situ de efluentes que contienen sustancias peligrosas

04 02 20 Lodos del tratamiento in situ de efluentes, distintos de los mencionados en el código 04 02 19

04 02 21 Residuos de fibras textiles no procesadas

04 02 22 Residuos de fibras textiles procesadas

04 02 99 Residuos no especificados en otra categoría

05 RESIDUOS DEL REFINO DE PETROLEO, PURIFICACION DEL GAS NATURAL Y TRATAMIENTO PIROLITICO DEL CARBON

05 01 Residuos del refino de petróleo

05 01 02* Lodos de desalación

05 01 03* Lodos de fondos de tanques

05 01 04* Lodos de alquil ácido

05 01 05* Derrames de hidrocarburos

05 01 06* Lodos oleosos procedentes de operaciones de mantenimiento de plantas o equipos

05 01 07* Alquitraneos ácidos

05 01 08* Otros alquitraneos

05 01 09* Lodos del tratamiento in situ de efluentes que contienen sustancias peligrosas

05 01 10 Lodos del tratamiento in situ de efluentes, distintos de los mencionados en el código
05 01 09

05 01 11* Residuos procedentes de la limpieza de combustibles con bases

05 01 12* Hidrocarburos que contienen ácidos

05 01 13 Lodos procedentes del agua de alimentación de calderas

05 01 14 Residuos de columnas de refrigeración

05 01 15* Arcillas de filtración usadas

05 01 16 Residuos que contienen azufre procedentes de la desulfuración del petróleo

05 01 17 Betunes

05 01 99 Residuos no especificados en otra categoría

05 06 Residuos del tratamiento pirolítico del carbón

05 06 01* Alquitrans ácidos

05 06 03* Otros alquitrans

05 06 04 Residuos de columnas de refrigeración

05 06 99 Residuos no especificados en otra categoría

05 07 Residuos de la purificación y transporte de gas natural

05 07 01* Residuos que contienen mercurio

05 07 02 Residuos que contienen azufre

05 07 99 Residuos no especificados en otra categoría

06 RESIDUOS DE PROCESOS QUIMICOS INORGANICOS

06 01 Residuos de la fabricación, formulación, distribución y utilización (FFDU) de ácidos

06 01 01* Acido sulfúrico y ácido sulfuroso

06 01 02* Acido clorhídrico

06 01 03* Acido fluorhídrico

06 01 04* Acido fosfórico y ácido fosforoso

06 01 05* Acido nítrico y ácido nitroso

06 01 06* Otros ácidos

06 01 99 Residuos no especificados en otra categoría

06 02 Residuos de la FFDU de bases

06 02 01* Hidróxido cálcico

06 02 03* Hidróxido amónico

06 02 04* Hidróxido potásico e hidróxido sódico

06 02 05* Otras bases

06 02 99 Residuos no especificados en otra categoría

06 03 Residuos de la FFDU de sales y sus soluciones y de óxidos metálicos

06 03 11* Sales sólidas y soluciones que contienen cianuros

06 03 13* Sales sólidas y soluciones que contienen metales pesados

06 03 14 Sales sólidas y soluciones distintas de las mencionadas en los códigos 06 03 11 y 06 03 13

06 03 15* Óxidos metálicos que contienen metales pesados

06 03 16 Óxidos metálicos distintos de los mencionados en el código 06 03 15

06 03 99 Residuos no especificados en otra categoría

06 04 Residuos que contienen metales distintos de los mencionados en el código 06 03

06 04 03* Residuos que contienen arsénico

06 04 04* Residuos que contienen mercurio

06 04 05* Residuos que contienen otros metales pesados

06 04 99 Residuos no especificados en otra categoría

06 05 Lodos del tratamiento in situ de efluentes

06 05 02* Lodos del tratamiento in situ de efluentes que contienen sustancias peligrosas

06 05 03 Lodos del tratamiento in situ de efluentes, distintos de los mencionados en el código 06 05 02

06 06 Residuos de la FFDU de productos químicos que contienen azufre, de procesos químicos del azufre y de procesos de desulfuración

06 06 02* Residuos que contienen sulfuros peligrosos

06 06 03 Residuos que contienen sulfuros distintos de los mencionados en el código 06 06 02

06 06 99 Residuos no especificados en otra categoría

06 07 Residuos de la FFDU de halógenos y de procesos químicos de los halógenos

06 07 01* Residuos de electrólisis que contienen amianto

06 07 02* Carbón activo procedente de la producción de cloro

06 07 03* Lodos de sulfato bórico que contienen mercurio

06 07 04* Soluciones y ácidos, por ejemplo, ácido de contacto

06 07 99 Residuos no especificados en otra categoría

06 08 Residuos de la FFDU del silicio y sus derivados

06 08 02* Residuos que contienen clorosilanos peligrosos

06 08 99 Residuos no especificados en otra categoría

06 09 Residuos de la FFDU de productos químicos que contienen fósforo y procesos químicos del fósforo

06 09 02 Escorias de fósforo

06 09 03* Residuos cálcicos de reacción que contienen o están contaminados con sustancias peligrosas

06 09 04 Residuos cálcicos de reacción distintos de los mencionados en el código 06 09 03

06 09 99 Residuos no especificados en otra categoría

06 10 Residuos de la FFDU de productos químicos que contienen nitrógeno y procesos químicos del nitrógeno y de la fabricación de fertilizantes

06 10 02* Residuos que contienen sustancias peligrosas

06 10 99 Residuos no especificados en otra categoría

06 11 Residuos de la fabricación de pigmentos inorgánicos y opacificantes

06 11 01 Residuos cálcicos de reacción procedentes de la producción de dióxido de titanio

06 11 99 Residuos no especificados en otra categoría

06 13 Residuos de procesos químicos inorgánicos no especificados en otra categoría

06 13 01* Productos fitosanitarios inorgánicos, conservantes de la madera y otros biocidas

06 13 02* Carbón activo usado (excepto la categoría 06 07 02)

06 13 03 Negro de carbón

06 13 04* Residuos procedentes de la transformación del amianto

06 13 05* Hollín

06 13 99 Residuos no especificados en otra categoría

07 RESIDUOS DE PROCESOS QUIMICOS ORGANICOS

07 01 Residuos de la fabricación, formulación, distribución y utilización (FFDU) de productos químicos orgánicos de base

07 01 01* Líquidos de limpieza y licores madre acuosos

07 01 03* Disolventes, líquidos de limpieza y licores madre organohalogenados

07 01 04* Otros disolventes, líquidos de limpieza y licores madre orgánicos

07 01 07* Residuos de reacción y de destilación halogenados

07 01 08* Otros residuos de reacción y de destilación

07 01 09* Tortas de filtración y absorbentes usados halogenados

07 01 10* Otras tortas de filtración y absorbentes usados

07 01 11* Lodos del tratamiento in situ de efluentes que contienen sustancias peligrosas

07 01 12 Lodos del tratamiento in situ de efluentes, distintos de los especificados en el código 07 01 11

07 01 99 Residuos no especificados en otra categoría

07 02 Residuos de la FFDU de plásticos, caucho sintético y fibras artificiales

07 02 01* Líquidos de limpieza y licores madre acuosos

07 02 03* Disolventes, líquidos de limpieza y licores madre organohalogenados

07 02 04* Otros disolventes, líquidos de limpieza y licores madre orgánicos

07 02 07* Residuos de reacción y de destilación halogenados

07 02 08* Otros residuos de reacción y de destilación

07 02 09* Tortas de filtración y absorbentes usados halogenados

07 02 10* Otras tortas de filtración y absorbentes usados

07 02 11* Lodos del tratamiento in situ de efluentes que contienen sustancias peligrosas

07 02 12 Lodos del tratamiento in situ de efluentes, distintos de los especificados en el código 07 02 11

07 02 13 Residuos de plástico

07 02 14* Residuos procedentes de aditivos que contienen sustancias peligrosas

07 02 15 Residuos procedentes de aditivos distintos de los especificados en el código 07 02 14

07 02 16* Residuos que contienen siliconas peligrosas

07 02 17 Residuos que contengan siliconas distintas de las mencionadas en la partida 07 02 16

07 02 99 Residuos no especificados en otra categoría

07 03 Residuos de la FFDU de tintes y pigmentos orgánicos (excepto los del subcapítulo 06 11)

07 03 01* Líquidos de limpieza y licores madre acuosos

07 03 03* Disolventes, líquidos de limpieza y licores madre organohalogenados

07 03 04* Otros disolventes, líquidos de limpieza y licores madre orgánicos

07 03 07* Residuos de reacción y de destilación halogenados

07 03 08* Otros residuos de reacción y de destilación

07 03 09* Tortas de filtración y absorbentes usados halogenados

07 03 10* Otras tortas de filtración y absorbentes usados

07 03 11* Lodos del tratamiento in situ de efluentes que contienen sustancias peligrosas

07 03 12 Lodos del tratamiento in situ de efluentes, distintos de los especificados en el código 07 03 11

07 03 99 Residuos no especificados en otra categoría

07 04 Residuos de la FFDU de productos fitosanitarios orgánicos (excepto los de los códigos 02 01 08 y 02 01 09), de conservantes de la madera (excepto los del subcapítulo 03 02) y de otros biocidas

07 04 01* Líquidos de limpieza y licores madre acuosos

07 04 03* Disolventes, líquidos de limpieza y licores madre organohalogenados

07 04 04* Otros disolventes, líquidos de limpieza y licores madre orgánicos

07 04 07* Residuos de reacción y de destilación halogenados

07 04 08* Otros residuos de reacción y de destilación

07 04 09* Tortas de filtración y absorbentes usados halogenados

07 04 10* Otras tortas de filtración y absorbentes usados

07 04 11* Lodos del tratamiento in situ de efluentes que contienen sustancias peligrosas

07 04 12 Lodos del tratamiento in situ de efluentes, distintos de los especificados en el código 07 04 11

07 04 13* Residuos sólidos que contienen sustancias peligrosas

07 04 99 Residuos no especificados en otra categoría

07 05 Residuos de la FFDU de productos farmacéuticos

07 05 01* Líquidos de limpieza y licores madre acuosos

07 05 03* Disolventes, líquidos de limpieza y licores madre organohalogenados

07 05 04* Otros disolventes, líquidos de limpieza y licores madre orgánicos

07 05 07* Residuos de reacción y de destilación halogenados

07 05 08* Otros residuos de reacción y de destilación

07 05 09* Tortas de filtración y absorbentes usados halogenados

07 05 10* Otras tortas de filtración y absorbentes usados

07 05 11* Lodos del tratamiento in situ de efluentes que contienen sustancias peligrosas

07 05 12 Lodos del tratamiento in situ de efluentes, distintos de los especificados en el código 07 05 11

07 05 13* Residuos sólidos que contienen sustancias peligrosas

07 05 14 Residuos sólidos distintos de los especificados en el código 07 05 13

07 05 99 Residuos no especificados en otra categoría

07 06 Residuos de la FFDU de grasas, jabones, detergentes, desinfectantes y cosméticos

07 06 01* Líquidos de limpieza y licores madre acuosos

07 06 03* Disolventes, líquidos de limpieza y licores madre organohalogenados

07 06 04* Otros disolventes, líquidos de limpieza y licores madre orgánicos

07 06 07* Residuos de reacción y de destilación halogenados

07 06 08* Otros residuos de reacción y de destilación

07 06 09* Tortas de filtración y absorbentes usados halogenados

07 06 10* Otras tortas de filtración y absorbentes usados

07 06 11* Lodos del tratamiento in situ de efluentes que contienen sustancias peligrosas

07 06 12 Lodos del tratamiento in situ de efluentes, distintos de los especificados en el código 07 06 11

07 06 99 Residuos no especificados en otra categoría

07 07 Residuos de la FFDU de productos químicos resultantes de la química fina y productos químicos no especificados en otra categoría

07 07 01* Líquidos de limpieza y licores madre acuosos

07 07 03* Disolventes, líquidos de limpieza y licores madre organohalogenados

07 07 04* Otros disolventes, líquidos de limpieza y licores madre orgánicos

07 07 07* Residuos de reacción y de destilación halogenados

07 07 08* Otros residuos de reacción y de destilación

07 07 09* Tortas de filtración y absorbentes usados halogenados

07 07 10* Otras tortas de filtración y absorbentes usados

07 07 11* Lodos del tratamiento in situ de efluentes que contienen sustancias peligrosas

07 07 12 Lodos del tratamiento in situ de efluentes, distintos de los especificados en el código 07 07 11

07 07 99 Residuos no especificados en otra categoría

08 RESIDUOS DE LA FABRICACION, FORMULACION, DISTRIBUCION Y UTILIZACION (FFDU) DE REVESTIMIENTOS (PINTURAS, BARNICES Y ESMALTES VITREOS), ADHESIVOS, SELLANTES Y TINTAS DE IMPRESIÓN

08 01 Residuos de la FFDU y del decapado o eliminación de pintura y barniz

08 01 11* Residuos de pintura y barniz que contienen disolventes orgánicos u otras sustancias peligrosas

08 01 12 Residuos de pintura y barniz, distintos de los especificados en el código 08 01 11

08 01 13* Lodos de pintura y barniz que contienen disolventes orgánicos u otras sustancias peligrosas

08 01 14 Lodos de pintura y barniz, distintos de los especificados en el código 08 01 13

08 01 15* Lodos acuosos que contienen pintura o barniz con disolventes orgánicos u otras sustancias peligrosas

08 01 16 Lodos acuosos que contienen pintura o barniz, distintos de los especificados en el código 08 01 15

08 01 17* Residuos del decapado o eliminación de pintura y barniz que contienen disolventes orgánicos u otras sustancias peligrosas

08 01 18 Residuos del decapado o eliminación de pintura y barniz, distintos de los especificados en el código 08 01 17

08 01 19* Suspensiones acuosas que contienen pintura o barniz con disolventes orgánicos u otras sustancias peligrosas

08 01 20 Suspensiones acuosas que contienen pintura o barniz, distintos de los especificados en el código 08 01 19

08 01 21* Residuos de decapantes o desbarnizadores

08 01 99 Residuos no especificados en otra categoría

08 02 Residuos de la FFDU de otros revestimientos (incluidos materiales cerámicos)

08 02 01 Residuos de arenillas de revestimiento

08 02 02 Lodos acuosos que contienen materiales cerámicos

08 02 03 Suspensiones acuosas que contienen materiales cerámicos

08 02 99 Residuos no especificados en otra categoría

08 03 Residuos de la FFDU de tintas de impresión

08 03 07 Lodos acuosos que contienen tinta

08 03 08 Residuos líquidos acuosos que contienen tinta

08 03 12* Residuos de tintas que contienen sustancias peligrosas

08 03 13 Residuos de tintas distintos de los especificados en el código 08 03 12

08 03 14* Lodos de tinta que contienen sustancias peligrosas

08 03 15 Lodos de tinta distintos de los especificados en el código 08 03 14

08 03 16* Residuos de soluciones corrosivas

08 03 17* Residuos de tóner de impresión que contienen sustancias peligrosas

08 03 18 Residuos de tóner de impresión, distintos de los especificados en el código 08 03 17

08 03 19* Aceites de dispersión

08 03 99 Residuos no especificados en otra categoría

08 04 Residuos de la FFDU de adhesivos y sellantes (incluyendo productos de impermeabilización)

08 04 09* Residuos de adhesivos y sellantes que contienen disolventes orgánicos u otras sustancias peligrosas

08 04 10 Residuos de adhesivos y sellantes, distintos de los especificados en el código 08 04 09

08 04 11* Lodos de adhesivos y sellantes que contienen disolventes orgánicos u otras sustancias peligrosas

08 04 12 Lodos de adhesivos y sellantes, distintos de los especificados en el código 08 04 11

08 04 13* Lodos acuosos que contienen adhesivos o sellantes con disolventes orgánicos u otras sustancias peligrosas

08 04 14 Lodos acuosos que contienen adhesivos o sellantes, distintos de los especificados en el código 08 04 13

08 04 15* Residuos líquidos acuosos que contienen adhesivos o sellantes con disolventes orgánicos u otras sustancias peligrosas

08 04 16 Residuos líquidos acuosos que contienen adhesivos o sellantes, distintos de los especificados en el código 08 04 15

08 04 17* Aceite de resina

08 04 99 Residuos no especificados en otra categoría

08 05 Residuos no especificados de otra forma en el capítulo 08

08 05 01* Isocianatos residuales

09 RESIDUOS DE LA INDUSTRIA FOTOGRAFICA

09 01 Residuos de la industria fotográfica

09 01 01* Soluciones de revelado y soluciones activadoras al agua

09 01 02* Soluciones de revelado de placas de impresión al agua

09 01 03* Soluciones de revelado con disolventes

09 01 04* Soluciones de fijado

09 01 05* Soluciones de blanqueo y soluciones de blanqueo-fijado

09 01 06* Residuos que contienen plata procedente del tratamiento in situ de residuos fotográficos

- 09 01 07 Películas y papel fotográfico que contienen plata o compuestos de plata
- 09 01 08 Películas y papel fotográfico que no contienen plata ni compuestos de plata
- 09 01 10 Cámaras de un solo uso sin pilas ni acumuladores
- 09 01 11* Cámaras de un solo uso con pilas o acumuladores incluidos en los códigos 16 06 01, 16 06 02 o 16 06 03
- 09 01 12 Cámaras de un solo uso con pilas o acumuladores distintas de las especificadas en el código 09 01 11
- 09 01 13* Residuos líquidos acuosos procedentes de la recuperación in situ de plata distintos de los especificados en el código 09 01 06
- 09 01 99 Residuos no especificados en otra categoría

10 RESIDUOS DE PROCESOS TERMICOS

10 01 Residuos de centrales eléctricas y otras plantas de combustión (excepto el capítulo 19)

- 10 01 01 Cenizas del hogar, escorias y polvo de caldera (excepto el polvo de caldera especificado en el código 10 01 04)
- 10 01 02 Cenizas volantes de carbón
- 10 01 03 Cenizas volantes de turba y de madera (no tratada)
- 10 01 04* Cenizas volantes y polvo de caldera de hidrocarburos
- 10 01 05 Residuos cálcicos de reacción, en forma sólida, procedentes de la desulfuración de gases de combustión
- 10 01 07 Residuos cálcicos de reacción, en forma de lodos, procedentes de la desulfuración de gases de combustión
- 10 01 09* Acido sulfúrico
- 10 01 13* Cenizas volantes de hidrocarburos emulsionados usados como combustibles
- 10 01 14* Cenizas del hogar, escorias y polvo de caldera procedentes de la co-incineración que contienen sustancias peligrosas
- 10 01 15 Cenizas del hogar, escorias y polvo de caldera procedentes de la co-incineración, distintos de los especificados en el código 10 01 14
- 10 01 16* Cenizas volantes procedentes de la co-incineración que contienen sustancias peligrosas
- 10 01 17 Cenizas volantes procedentes de la co-incineración distintas de las especificadas en el código 10 01 16
- 10 01 18* Residuos procedentes de la depuración de gases que contienen sustancias peligrosas
- 10 01 19 Residuos procedentes de la depuración de gases distintos de los especificados en los códigos 10 01 05, 10 01 07 y 10 01 18

- 10 01 20* Lodos del tratamiento in situ de efluentes que contienen sustancias peligrosas
- 10 01 21 Lodos del tratamiento in situ de efluentes, distintos de los especificados en el código 10 01 20
- 10 01 22* Lodos acuosos que contienen sustancias peligrosas procedentes de la limpieza de calderas
- 10 01 23 Lodos acuosos procedentes de la limpieza de calderas, distintos de los especificados en el código 10 01 22
- 10 01 24 Arenas de lechos fluidizados
- 10 01 25 Residuos procedentes del almacenamiento y preparación de combustible de centrales termoeléctricas de carbón
- 10 01 26 Residuos del tratamiento del agua de refrigeración
- 10 01 99 Residuos no especificados en otra categoría
- 10 02 Residuos de la industria del hierro y del acero**
- 10 02 01 Residuos del tratamiento de escorias
- 10 02 02 Escorias no tratadas
- 10 02 07* Residuos sólidos del tratamiento de gases que contienen sustancias peligrosas
- 10 02 08 Residuos sólidos del tratamiento de gases, distintos de los especificados en el código 10 02 07
- 10 02 10 Cascarilla de laminación
- 10 02 11* Residuos del tratamiento del agua de refrigeración que contienen aceites
- 10 02 12 Residuos del tratamiento del agua de refrigeración, distintos de los especificados en el código 10 02 11
- 10 02 13* Lodos y tortas de filtración del tratamiento de gases que contienen sustancias peligrosas
- 10 02 14 Lodos y tortas de filtración del tratamiento de gases, distintos de los especificados en el código 10 02 13
- 10 02 15 Otros lodos y tortas de filtración
- 10 02 99 Residuos no especificados en otra categoría
- 10 03 Residuos de la termometalurgia del aluminio**
- 10 03 02 Fragmentos de ánodos
- 10 03 04* Escorias de la producción primaria
- 10 03 05 Residuos de alúmina
- 10 03 08* Escorias salinas de la producción secundaria

- 10 03 09* Granzas negras de la producción secundaria
- 10 03 15* Espumas inflamables o que emiten, en contacto con el agua, gases inflamables en cantidades peligrosas
- 10 03 16 Espumas distintas de las especificadas en el código 10 03 15
- 10 03 17* Residuos que contienen alquitrán procedentes de la fabricación de ánodos
- 10 03 18 Residuos que contienen carbono procedentes de la fabricación de ánodos, distintos de los especificados en el código 10 03 17
- 10 03 19* Partículas, procedentes de los efluentes gaseosos, que contienen sustancias peligrosas
- 10 03 20 Partículas, procedentes de los efluentes gaseosos, distintas de las especificadas en el código 10 03 19
- 10 03 21* Otras partículas y polvo (incluido el polvo de molienda) que contienen sustancias peligrosas
- 10 03 22 Otras partículas y polvo (incluido el polvo de molienda) distintos de los especificados en el código 10 03 21
- 10 03 23* Residuos sólidos del tratamiento de gases que contienen sustancias peligrosas
- 10 03 24 Residuos sólidos del tratamiento de gases, distintos de los especificados en el código 10 03 23
- 10 03 25* Lodos y tortas de filtración del tratamiento de gases que contienen sustancias peligrosas
- 10 03 26 Lodos y tortas de filtración del tratamiento de gases, distintos de los especificados en el código 10 03 25
- 10 03 27* Residuos del tratamiento del agua de refrigeración que contienen aceites
- 10 03 28 Residuos del tratamiento del agua de refrigeración, distintos de los especificados en el código 10 03 27
- 10 03 29* Residuos del tratamiento de escorias salinas y granzas negras, que contienen sustancias peligrosas
- 10 03 30 Residuos del tratamiento de escorias salinas y granzas negras distintos de los especificados en el código 10 03 29
- 10 03 99 Residuos no especificados en otra categoría
- 10 04 Residuos de la termometalurgia del plomo**
- 10 04 01* Escorias de la producción primaria y secundaria
- 10 04 02* Granzas y espumas de la producción primaria y secundaria
- 10 04 03* Arseniato de calcio
- 10 04 04* Partículas procedentes de los efluentes gaseosos

10 04 05* Otras partículas y polvos

10 04 06* Residuos sólidos del tratamiento de gases

10 04 07* Lodos y tortas de filtración del tratamiento de gases

10 04 09* Residuos del tratamiento del agua de refrigeración que contienen aceites

10 04 10 Residuos del tratamiento del agua de refrigeración distintos de los especificados en el código 10 04 09

10 04 99 Residuos no especificados en otra categoría

10 05 Residuos de la termometalurgia del zinc

10 05 01 Escorias de la producción primaria y secundaria

10 05 03* Partículas procedentes de los efluentes gaseosos

10 05 04 Otras partículas y polvos

10 05 05* Residuos sólidos del tratamiento de gases

10 05 06* Lodos y tortas de filtración del tratamiento de gases

10 05 08* Residuos del tratamiento del agua de refrigeración que contienen aceites

10 05 09 Residuos del tratamiento del agua de refrigeración distintos de los especificados en el código 10 05 08

10 05 10* Granzas y espumas inflamables o que emiten, en contacto con el agua, gases inflamables en cantidades peligrosas

10 05 11 Granzas y espumas distintas de las especificadas en el código 10 05 10

10 05 99 Residuos no especificados en otra categoría

10 06 Residuos de la termometalurgia del cobre

10 06 01 Escorias de la producción primaria y secundaria

10 06 02 Granzas y espumas de la producción primaria y secundaria

10 06 03* Partículas procedentes de los efluentes gaseosos

10 06 04 Otras partículas y polvos

10 06 06* Residuos sólidos del tratamiento de gases

10 06 07* Lodos y tortas de filtración del tratamiento de gases

10 06 09* Residuos del tratamiento del agua de refrigeración que contienen aceites

10 06 10 Residuos del tratamiento del agua de refrigeración, distintos de los especificados en el código 10 06 09

10 06 99 Residuos no especificados en otra categoría

10 07 Residuos de la termometalurgia de la plata, oro y platino

- 10 07 01 Escorias de la producción primaria y secundaria
- 10 07 02 Granzas y espumas de la producción primaria y secundaria
- 10 07 03 Residuos sólidos del tratamiento de gases
- 10 07 04 Otras partículas y polvos
- 10 07 05 Lodos y tortas de filtración del tratamiento de gases
- 10 07 07* Residuos del tratamiento del agua de refrigeración que contienen aceites
- 10 07 08 Residuos del tratamiento del agua de refrigeración distintos de los especificados en el código 10 07 07
- 10 07 99 Residuos no especificados en otra categoría

10 08 Residuos de la termometalurgia de otros metales no férreos

- 10 08 04 Partículas y polvo
- 10 08 08* Escorias salinas de la producción primaria y secundaria
- 10 08 09 Otras escorias
- 10 08 10* Granzas y espumas inflamables o que emiten, en contacto con el agua, gases inflamables en cantidades peligrosas
- 10 08 11 Granzas y espumas distintas de las especificadas en el código 10 08 10
- 10 08 12* Residuos que contienen alquitrán procedentes de la fabricación de ánodos
- 10 08 13 Residuos que contienen carbono procedentes de la fabricación de ánodos distintos de los especificados en el código 10 08 12
- 10 08 14 Fragmentos de ánodos
- 10 08 15* Partículas, procedentes de los efluentes gaseosos, que contienen sustancias peligrosas
- 10 08 16 Partículas procedentes de los efluentes gaseosos distintas de las especificadas en el código 10 08 15
- 10 08 17* Lodos y tortas de filtración del tratamiento de gases que contienen sustancias peligrosas
- 10 08 18 Lodos y tortas de filtración del tratamiento de gases, distintos de los especificados en el código 10 08 17
- 10 08 19* Residuos del tratamiento del agua de refrigeración que contienen aceites
- 10 08 20 Residuos del tratamiento del agua de refrigeración distintos de los especificados en el código 10 08 19
- 10 08 99 Residuos no especificados en otra categoría

10 09 Residuos de la fundición de piezas férreas

10 09 03 Escorias de horno

10 09 05* Machos y moldes de fundición sin colada que contienen sustancias peligrosas

10 09 06 Machos y moldes de fundición sin colada distintos de los especificados en el código 10 09 05

10 09 07* Machos y moldes de fundición con colada que contienen sustancias peligrosas

10 09 08 Machos y moldes de fundición con colada distintos de los especificados en el código 10 09 07

10 09 09* Partículas, procedentes de los efluentes gaseosos, que contienen sustancias peligrosas

10 09 10 Partículas procedentes de los efluentes gaseosos distintas de las especificadas en el código 10 09 09

10 09 11* Otras partículas que contienen sustancias peligrosas

10 09 12 Otras partículas distintas de las especificadas en el código 10 09 11

10 09 13* Ligantes residuales que contienen sustancias peligrosas

10 09 14 Ligantes residuales distintos de los especificados en el código 10 09 13

10 09 15* Residuos de agentes indicadores de fisuración que contienen sustancias peligrosas

10 09 16 Residuos de agentes indicadores de fisuración distintos de los especificados en el código 10 09 15

10 09 99 Residuos no especificados en otra categoría

10 10 Residuos de la fundición de piezas no férreas

10 10 03 Escorias de horno

10 10 05* Machos y moldes de fundición sin colada que contienen sustancias peligrosas

10 10 06 Machos y moldes de fundición sin colada distintos de los especificados en el código 10 10 05

10 10 07* Machos y moldes de fundición con colada que contienen sustancias peligrosas

10 10 08 Machos y moldes de fundición con colada distintos de los especificados en el código 10 10 07

10 10 09* Partículas, procedentes de los efluentes gaseosos, que contienen sustancias peligrosas

10 10 10 Partículas procedentes de los efluentes gaseosos, distintas de las especificadas en el código 10 10 09

10 10 11* Otras partículas que contienen sustancias peligrosas

10 10 12 Otras partículas distintas de las especificadas en el código 10 10 11

10 10 13* Ligantes residuales que contienen sustancias peligrosas

10 10 14 Ligantes residuales distintos de los especificados en el código 10 10 13

10 10 15* Residuos de agentes indicadores de fisuración que contienen sustancias peligrosas

10 10 16 Residuos de agentes indicadores de fisuración distintos de los especificados en el código 10 10 15

10 10 99 Residuos no especificados en otra categoría

10 11 Residuos de la fabricación del vidrio y sus derivados

10 11 03 Residuos de materiales de fibra de vidrio

10 11 05 Partículas y polvo

10 11 09* Residuos de la preparación de mezclas antes del proceso de cocción que contienen sustancias peligrosas

10 11 10 Residuos de la preparación de mezclas antes del proceso de cocción distintos de los especificados en el código 10 11 09

10 11 11* Residuos de pequeñas partículas de vidrio y de polvo de vidrio que contienen metales pesados (por ejemplo, de tubos catódicos)

10 11 12 Residuos de vidrio distintos de los especificados en el código 10 11 11

10 11 13* Lodos procedentes del pulido y esmerilado del vidrio que contienen sustancias peligrosas

10 11 14 Lodos procedentes del pulido y esmerilado del vidrio, distintos de los especificados en el código 10 11 13

10 11 15* Residuos sólidos del tratamiento de gases de combustión que contienen sustancias peligrosas

10 11 16 Residuos sólidos del tratamiento de gases de combustión, distintos de los especificados en el código 10 11 15

10 11 17* Lodos y tortas de filtración del tratamiento de gases que contienen sustancias peligrosas

10 11 18 Lodos y tortas de filtración del tratamiento de gases, distintos de los especificados en el código 10 11 17

10 11 19* Residuos sólidos del tratamiento in situ de efluentes que contienen sustancias peligrosas

10 11 20 Residuos sólidos del tratamiento in situ de efluentes, distintos de los especificados en el código 10 11 19

10 11 99 Residuos no especificados en otra categoría

10 12 Residuos de la fabricación de productos cerámicos, ladrillos, tejas y materiales

de construcción

10 12 01 Residuos de la preparación de mezclas antes del proceso de cocción

10 12 03 Partículas y polvo

10 12 05 Lodos y tortas de filtración del tratamiento de gases

10 12 06 Moldes desechados

10 12 08 Residuos de cerámica, ladrillos, tejas y materiales de construcción (después del proceso de cocción)

10 12 09* Residuos sólidos del tratamiento de gases que contienen sustancias peligrosas

10 12 10 Residuos sólidos del tratamiento de gases, distintos de los especificados en el código 10 12 09

10 12 11* Residuos de vidrio que contienen metales pesados

10 12 12 Residuos de vidrio distintos de los especificados en el código 10 12 11

10 12 13 Lodos del tratamiento in situ de efluentes

10 12 99 Residuos no especificados en otra categoría

10 13 Residuos de la fabricación de cemento, cal y yeso y de productos derivados

10 13 01 Residuos de la preparación de mezclas antes del proceso de cocción

10 13 04 Residuos de calcinación e hidratación de la cal

10 13 06 Partículas y polvo (excepto los códigos 10 13 12 y 10 13 13)

10 13 07 Lodos y tortas de filtración del tratamiento de gases

10 13 09* Residuos de la fabricación de fibrocemento que contienen amianto

10 13 10 Residuos de la fabricación de fibrocemento distintos de los especificados en el código 10 13 09

10 13 11 Residuos de materiales compuestos a base de cemento distintos de los especificados en los códigos 10 13 09 y 10 13 10

10 13 12* Residuos sólidos del tratamiento de gases que contienen sustancias peligrosas

10 13 13 Residuos sólidos del tratamiento de gases, distintos de los especificados en el código 10 13 12

10 13 14 Residuos de hormigón y lodos de hormigón

10 13 99 Residuos no especificados en otra categoría

10 14 Residuos de crematorios

10 14 01* Residuos de la depuración de gases que contienen mercurio

11 RESIDUOS DEL TRATAMIENTO QUIMICO DE SUPERFICIE Y DEL RECUBRIMIENTO DE METALES Y OTROS MATERIALES; RESIDUOS DE LA HIDROMETALURGIA NO FERREA

11 01 Residuos del tratamiento químico de superficie y del recubrimiento de metales y otros materiales (por ejemplo, procesos de galvanización, procesos de recubrimiento con zinc, procesos de decapado, grabado, fosfatación, desengrasado alcalino y anodización)

11 01 05* Ácidos de decapado

11 01 06* Ácidos no especificados en otra categoría

11 01 07* Bases de decapado

11 01 08* Lodos de fosfatación

11 01 09* Lodos y tortas de filtración que contienen sustancias peligrosas

11 01 10 Lodos y tortas de filtración distintos de los especificados en el código 11 01 09

11 01 11* Líquidos acuosos de enjuague que contienen sustancias peligrosas

11 01 12 Líquidos acuosos de enjuague distintos de los especificados en el código 11 01 11

11 01 13* Residuos de desengrasado que contienen sustancias peligrosas

11 01 14 Residuos de desengrasado distintos de los especificados en el código 11 01 13

11 01 15* Eluatos y lodos procedentes de sistemas de membranas o de intercambio iónico que contienen sustancias peligrosas

11 01 16* Resinas intercambiadoras de iones saturadas o usadas

11 01 98* Otros residuos que contienen sustancias peligrosas

11 01 99 Residuos no especificados en otra categoría

11 02 Residuos de procesos hidrometalúrgicos no férricos

11 02 02* Lodos de la hidrometalurgia del zinc (incluidas jarosita y goethita)

11 02 03 Residuos de la producción de ánodos para procesos de electrólisis acuosa

11 02 05* Residuos de procesos de la hidrometalurgia del cobre que contienen sustancias peligrosas

11 02 06 Residuos de procesos de la hidrometalurgia del cobre distintos de los especificados en el código 11 02 05

11 02 07* Otros residuos que contienen sustancias peligrosas

11 02 99 Residuos no especificados en otra categoría

11 03 Lodos y sólidos de procesos de temple

11 03 01* Residuos que contienen cianuro

11 03 02* Otros residuos

11 05 Residuos de procesos de galvanización en caliente

11 05 01 Matas de galvanización

11 05 02 Cenizas de zinc

11 05 03* Residuos sólidos del tratamiento de gases

11 05 04* Fundentes usados

11 05 99 Residuos no especificados en otra categoría

12 RESIDUOS DEL MOLDEADO Y DEL TRATAMIENTO FISICO Y MECANICO DE SUPERFICIE DE METALES Y PLASTICOS

12 01 Residuos del moldeado y tratamiento físico y mecánico de superficie de metales y plásticos

12 01 01 Limaduras y virutas de metales férreos

12 01 02 Polvo y partículas de metales férreos

12 01 03 Limaduras y virutas de metales no férreos

12 01 04 Polvo y partículas de metales no férreos

12 01 05 Virutas y rebabas de plástico

12 01 06* Aceites minerales de mecanizado que contienen halógenos (excepto las emulsiones o disoluciones)

12 01 07* Aceites minerales de mecanizado sin halógenos (excepto las emulsiones o disoluciones)

12 01 08* Emulsiones y disoluciones de mecanizado que contienen halógenos

12 01 09* Emulsiones y disoluciones de mecanizado sin halógenos

12 01 10* Aceites sintéticos de mecanizado

12 01 12* Ceras y grasas usadas

12 01 13 Residuos de soldadura

12 01 14* Lodos de mecanizado que contienen sustancias peligrosas

12 01 15 Lodos de mecanizado distintos de los especificados en el código 12 01 14

12 01 16* Residuos de granallado o chorreado que contienen sustancias peligrosas

12 01 17 Residuos de granallado o chorreado distintos de los especificados en el código 12 01 16

12 01 18* Lodos metálicos (lodos de esmerilado, rectificado y lapeado) que contienen aceites

12 01 19* Aceites de mecanizado fácilmente biodegradables

12 01 20* Muelas y materiales de esmerilado usados que contienen sustancias peligrosas

12 01 21 Muelas y materiales de esmerilado usados distintos de los especificados en el código 12 01 20

12 01 99 Residuos no especificados en otra categoría

12 03 Residuos de los procesos de desengrase con agua y vapor (excepto el capítulo 11)

12 03 01* Líquidos acuosos de limpieza

12 03 02* Residuos de desengrase al vapor

13 RESIDUOS DE ACEITES Y DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS (excepto los aceites comestibles y los de los capítulos 05, 12 y 19)

13 01 Residuos de aceites hidráulicos

13 01 01* Aceites hidráulicos que contienen PCB [1]

13 01 04* Emulsiones cloradas

13 01 05* Emulsiones no cloradas

13 01 09* Aceites hidráulicos minerales clorados

13 01 10* Aceites hidráulicos minerales no clorados

13 01 11* Aceites hidráulicos sintéticos

13 01 12* Aceites hidráulicos fácilmente biodegradables

13 01 13* Otros aceites hidráulicos

13 02 Residuos de aceites de motor, de transmisión mecánica y lubricantes

13 02 04* Aceites minerales clorados de motor, de transmisión mecánica y lubricantes

13 02 05* Aceites minerales no clorados de motor, de transmisión mecánica y lubricantes

13 02 06* Aceites sintéticos de motor, de transmisión mecánica y lubricantes

13 02 07* Aceites fácilmente biodegradables de motor, de transmisión mecánica y lubricantes

13 02 08* Otros aceites de motor, de transmisión mecánica y lubricantes

13 03 Residuos de aceites de aislamiento y transmisión de calor

13 03 01* Aceites de aislamiento y transmisión de calor que contienen PCB

13 03 06* Aceites minerales clorados de aislamiento y transmisión de calor, distintos de los especificados en el código 13 03 01

13 03 07* Aceites minerales no clorados de aislamiento y transmisión de calor

13 03 08* Aceites sintéticos de aislamiento y transmisión de calor

13 03 09* Aceites fácilmente biodegradables de aislamiento y transmisión de calor

13 03 10* Otros aceites de aislamiento y transmisión de calor

13 04 Aceites de sentinas

13 04 01* Aceites de sentinas procedentes de la navegación en aguas continentales

13 04 02* Aceites de sentinas recogidos en muelles

13 04 03* Aceites de sentinas procedentes de otros tipos de navegación

13 05 Restos de separadores de agua/sustancias aceitosas

13 05 01* Sólidos procedentes de desarenadores y de separadores de agua/sustancias aceitosas

13 05 02* Lodos de separadores de agua/sustancias aceitosas

13 05 03* Lodos de interceptores

13 05 06* Aceites procedentes de separadores de agua/sustancias aceitosas

13 05 07* Agua aceitosa procedente de separadores de agua/sustancias aceitosas

13 05 08* Mezcla de residuos procedentes de desarenadores y de separadores de agua/sustancias aceitosas

13 07 Residuos de combustibles líquidos

13 07 01* Fuel oil y gasóleo

13 07 02* Gasolina

13 07 03* Otros combustibles (incluidas mezclas)

13 08 Residuos de aceites no especificados en otra categoría

13 08 01* Lodos o emulsiones de desalación

13 08 02* Otras emulsiones

13 08 99* Residuos no especificados en otra categoría

14 RESIDUOS DE DISOLVENTES, REFRIGERANTES Y PROPELENTES ORGANICOS (excepto los de los capítulos 07 y 08)

14 06 Residuos de disolventes, refrigerantes y propelentes de espuma y aerosoles orgánicos

14 06 01* Clorofluorocarburos, HCFC, HFC

14 06 02* Otros disolventes y mezclas de disolventes halogenados

14 06 03* Otros disolventes y mezclas de disolventes

14 06 04* Lodos o residuos sólidos que contienen disolventes halogenados

14 06 05* Lodos o residuos sólidos que contienen otros disolventes

15 RESIDUOS DE ENVASES; ABSORBENTES, TRAJOS DE LIMPIEZA; MATERIALES DE FILTRACION Y ROPAS DE PROTECCION NO ESPECIFICADOS EN OTRA CATEGORIA

15 01 Envases (incluidos los residuos de envases de la recogida selectiva municipal)

15 01 01 Envases de papel y cartón

15 01 02 Envases de plástico

15 01 03 Envases de madera

15 01 04 Envases metálicos

15 01 05 Envases compuestos

15 01 06 Envases mixtos

15 01 07 Envases de vidrio

15 01 09 Envases textiles

15 01 10* Envases que contienen restos de sustancias peligrosas o están contaminados por ellas

15 01 11* Envases metálicos, incluidos los recipientes a presión vacíos, que contienen una matriz sólida y porosa peligrosa

15 02 Absorbentes, materiales de filtración, trapos de limpieza y ropas protectoras

15 02 02* Absorbentes, materiales de filtración (incluidos los filtros de aceite no especificados en otra categoría), trapos de limpieza y ropas protectoras contaminados por sustancias peligrosas

15 02 03 Absorbentes, materiales de filtración, trapos de limpieza y ropas protectoras distintos de los especificados en el código 15 02 02

16 RESIDUOS NO ESPECIFICADOS EN OTRO CAPITULO DE LA LISTA

16 01 Vehículos de diferentes medios de transporte (incluidas las máquinas no de carretera) al final de su vida útil y residuos del desguace de vehículos al final de

su vida útil y del mantenimiento de vehículos (excepto los de los capítulos 13, 14 y los subcapítulos 16 06 y 16 08)

16 01 03 Neumáticos fuera de uso

[16 01 04* Vehículos al final de su vida útil". Nota: Esta entrada no está incluida en la propuesta que se presenta al Comité para dictamen. Las modificaciones necesarias a esta entrada se harán atendiendo al resultado de la tramitación en el Consejo de la propuesta que figura en el documento COM(2000) 546]

16 01 06 Vehículos al final de su vida útil que no contengan líquidos ni otros componentes peligrosos

16 01 07* Filtros de aceite

16 01 08* Componentes que contienen mercurio

16 01 09* Componentes que contienen PCB

16 01 10* Componentes explosivos (por ejemplo, air bags)

16 01 11* Zapatas de freno que contienen amianto

16 01 12 Zapatas de freno distintas de las especificadas en el código 16 01 11

16 01 13* Líquidos de frenos

- 16 01 14* Anticongelantes que contienen sustancias peligrosas
- 16 01 15 Anticongelantes distintos de los especificados en el código 16 01 14
- 16 01 16 Depósitos para gases licuados
- 16 01 17 Metales ferrosos
- 16 01 18 Metales no ferrosos
- 16 01 19 Plástico
- 16 01 20 Vidrio
- 16 01 21* Componentes peligrosos distintos de los especificados en los códigos 16 01 07 a 16 01 11, 16 01 13 y 16 01 14
- 16 01 22 Componentes no especificados en otra categoría
- 16 01 99 Residuos no especificados de otra forma

16 02 Residuos de equipos eléctricos y electrónicos

- 16 02 09* Transformadores y condensadores que contienen PCB
- 16 02 10* Equipos desechados que contienen PCB, o están contaminados por ellos, distintos de los especificados en el código 16 02 09
- 16 02 11* Equipos desechados que contienen clorofluorocarburos, HCFC, HFC
- 16 02 12* Equipos desechados que contiene amianto libre
- 16 02 13* Equipos desechados que contienen componentes peligrosos [2], distintos de los especificados en los códigos 16 02 09 y 16 02 12
- 16 02 14 Equipos desechados distintos de los especificados en los códigos 16 02 09 a 16 02 13
- 16 02 15* Componentes peligrosos retirados de equipos desechados
- 16 02 16 Componentes retirados de equipos desechados distintos de los especificados en el código 16 02 15

16 03 Lotes de productos fuera de especificación y productos no utilizados

- 16 03 03* Residuos inorgánicos que contienen sustancias peligrosas
- 16 03 04 Residuos inorgánicos distintos de los especificados en el código 16 03 03
- 16 03 05* Residuos orgánicos que contienen sustancias peligrosas
- 16 03 06 Residuos orgánicos distintos de los especificados en el código 16 03 05

16 04 Residuos de explosivos

- 16 04 01* Residuos de municiones
- 16 04 02* Residuos de fuegos artificiales

16 04 03* Otros residuos explosivos

16 05 Gases en recipientes a presión y productos químicos desechados

16 05 04* Gases en recipientes a presión (incluidos los halones) que contienen sustancias peligrosas

16 05 05 Gases en recipientes a presión, distintos de los especificados en el código 16 05 04

16 05 06* Productos químicos de laboratorio que consisten en, o contienen, sustancias peligrosas, incluidas las mezclas de productos químicos de laboratorio

16 05 07* Productos químicos inorgánicos desechados que consisten en, o contienen, sustancias peligrosas

16 05 08* Productos químicos orgánicos desechados que consisten en, o contienen, sustancias peligrosas

16 05 09 Productos químicos desechados distintos de los especificados en los códigos 16 05 06, 16 05 07 o 16 05 08

16 06 Pilas y acumuladores

16 06 01* Baterías de plomo

16 06 02* Acumuladores de Ni-Cd

16 06 03* Pilas que contienen mercurio

16 06 04 Pilas alcalinas (excepto 16 06 03)

16 06 05 Otras pilas y acumuladores

16 06 06* Electrolitos de pilas y acumuladores recogidos selectivamente

16 07 Residuos de la limpieza de cisternas de transporte y almacenamiento y de la limpieza de cubas (excepto los de los capítulos 05 y 13)

16 07 08* Residuos que contienen hidrocarburos

16 07 09* Residuos que contienen otras sustancias peligrosas

16 07 99 Residuos no especificados en otra categoría

16 08 Catalizadores usados

16 08 01 Catalizadores usados que contienen oro, plata, renio, rodio, paladio, iridio o platino (excepto el código 16 08 07)

16 08 02* Catalizadores usados que contienen metales de transición [3] peligrosos o compuestos de metales de transición peligrosos

16 08 03 Catalizadores usados que contienen metales de transición o compuestos de metales de transición no especificados de otra forma

16 08 04 Catalizadores usados procedentes del craqueo catalítico en lecho fluido (excepto los del código 16 08 07)

16 08 05* Catalizadores usados que contienen ácido fosfórico

16 08 06* Líquidos usados utilizados como catalizadores

16 08 07* Catalizadores usados contaminados con sustancias peligrosas

16 09 Sustancias oxidantes

16 09 01* Permanganatos, por ejemplo, permanganato potásico

16 09 02* Cromatos, por ejemplo, cromato potásico, dicromato sódico o potásico

16 09 03* Peróxidos, por ejemplo, peróxido de hidrógeno

16 09 04* Sustancias oxidantes no especificadas en otra categoría

16 10 Residuos líquidos acuosos destinados a plantas de tratamiento externas

16 10 01* Residuos líquidos acuosos que contienen sustancias peligrosas

16 10 02 Residuos líquidos acuosos distintos de los especificados en el código 16 10 01

16 10 03* Concentrados acuosos que contienen sustancias peligrosas

16 10 04 Concentrados acuosos distintos de los especificados en el código 16 10 03

16 11 Residuos de revestimientos de hornos y refractarios

16 11 01* Revestimientos y refractarios a base de carbono, procedentes de procesos metalúrgicos, que contienen sustancias peligrosas

16 11 02 Revestimientos y refractarios a base de carbono, procedentes de procesos metalúrgicos distintos de los especificados en el código 16 11 01

16 11 03* Otros revestimientos y refractarios procedentes de procesos metalúrgicos que contienen sustancias peligrosas

16 11 04 Otros revestimientos y refractarios procedentes de procesos metalúrgicos, distintos de los especificados en el código 16 11 03

16 11 05* Revestimientos y refractarios, procedentes de procesos no metalúrgicos, que contienen sustancias peligrosas

16 11 06 Revestimientos y refractarios procedentes de procesos no metalúrgicos, distintos de los especificados en el código 16 11 05

17 RESIDUOS DE LA CONSTRUCCION Y DEMOLICION (INCLUIDA LA TIERRA EXCAVADA DE ZONAS CONTAMINADAS)

17 01 Hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos

17 01 01 Hormigón

17 01 02 Ladrillos

17 01 03 Tejas y materiales cerámicos

17 01 06* Mezclas, o fracciones separadas, de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos que contienen sustancias peligrosas

17 01 07 Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos, distintas de las especificadas en el código 17 01 06

17 02 Madera, vidrio y plástico

17 02 01 Madera

17 02 02 Vidrio

17 02 03 Plástico

17 02 04* Vidrio, plástico y madera que contienen sustancias peligrosas o están contaminados por ellas

17 03 Mezclas bituminosas, alquitrán de hulla y otros productos alquitranados

17 03 01* Mezclas bituminosas que contienen alquitrán de hulla

17 03 02 Mezclas bituminosas distintas de las especificadas en el código 17 03 01

17 03 03* Alquitrán de hulla y productos alquitranados

17 04 Metales (incluidas sus aleaciones)

17 04 01 Cobre, bronce, latón

17 04 02 Aluminio

17 04 03 Plomo

17 04 04 Zinc

17 04 05 Hierro y acero

17 04 06 Estaño

17 04 07 Metales mezclados

17 04 09* Residuos metálicos contaminados con sustancias peligrosas

17 04 10* Cables que contienen hidrocarburos, alquitrán de hulla y otras sustancias peligrosas

17 04 11 Cables distintos de los especificados en el código 17 04 10

17 05 Tierra (incluida la excavada de zonas contaminadas), piedras y lodos de drenaje

17 05 03* Tierra y piedras que contienen sustancias peligrosas

17 05 04 Tierra y piedras distintas de las especificadas en el código 17 05 03

17 05 05* Lodos de drenaje que contienen sustancias peligrosas

17 05 06 Lodos de drenaje distintos de los especificados en el código 17 05 05

17 05 07* Balasto de vías férreas que contiene sustancias peligrosas

17 05 08 Balasto de vías férreas distinto del especificado en el código 17 05 07

17 06 Materiales de aislamiento y materiales de construcción que contienen amianto

17 06 01* Materiales de aislamiento que contienen amianto

17 06 03* Otros materiales de aislamiento que consisten en, o contienen, sustancias peligrosas

17 06 04 Materiales de aislamiento distintos de los especificados en los códigos 17 06 01 y 17 06 03

17 06 05* Materiales de construcción que contienen amianto [1].

[1] Por lo que respecta al vertido de los residuos, los Estados miembros podrán decidir posponer la entrada en vigor de esta partida hasta tanto se establezcan las medidas apropiadas para el tratamiento y el vertido de los residuos de materiales de la construcción que contengan amianto. Estas medidas deberán adoptarse con arreglo al procedimiento contemplado en el artículo 17 de la Directiva 1999/31/CE del Consejo, relativa al vertido de residuos, y deberá adoptarse a más tardar el 16 de julio de 2002 (DO L 182, 16.7.1999, p. 1)"

17 08 Materiales de construcción a base de yeso

17 08 01* Materiales de construcción a base de yeso contaminados con sustancias peligrosas

17 08 02 Materiales de construcción a base de yeso distintos de los especificados en el código

17 08 01

17 09 Otros residuos de construcción y demolición

17 09 01* Residuos de construcción y demolición que contienen mercurio

17 09 02* Residuos de construcción y demolición que contienen PCB (por ejemplo, sellantes que contienen PCB, revestimientos de suelo a base de resinas que contienen PCB, acristalamientos dobles que contienen PCB, condensadores que contienen PCB)

17 09 03* Otros residuos de construcción y demolición (incluidos los residuos mezclados) que contienen sustancias peligrosas

17 09 04 Residuos mezclados de construcción y demolición distintos de los especificados en los códigos 17 09 01, 17 09 02 y 17 09 03

18 RESIDUOS DE SERVICIOS MEDICOS O VETERINARIOS O DE INVESTIGACION ASOCIADA (salvo los residuos de cocina y de restaurante no procedentes directamente de la prestación de cuidados sanitarios)

18 01 Residuos de maternidades, del diagnóstico, tratamiento o prevención de enfermedades humanas

18 01 01 Objetos cortantes y punzantes (excepto el código 18 01 03)

18 01 02 Restos anatómicos y órganos, incluidos bolsas y bancos de sangre (excepto el código 18 01 03)

18 01 03* Residuos cuya recogida y eliminación es objeto de requisitos especiales para prevenir infecciones

18 01 04 Residuos cuya recogida y eliminación no es objeto de requisitos especiales para prevenir infecciones (por ejemplo, vendajes, vaciados de yeso, ropa blanca, ropa desechable, pañales)

18 01 06* Productos químicos que consisten en, o contienen, sustancias peligrosas

18 01 07 Productos químicos distintos de los especificados en el código 18 01 06

18 01 08* Medicamentos citotóxicos y citostáticos

18 01 09 Medicamentos distintos de los especificados en el código 18 01 08

18 01 10* Residuos de amalgamas procedentes de cuidados dentales

18 02 Residuos de la investigación, diagnóstico, tratamiento o prevención de enfermedades de animales

18 02 01 Objetos cortantes y punzantes (excepto el código 18 02 02)

18 02 02* Residuos cuya recogida y eliminación es objeto de requisitos especiales para prevenir infecciones

18 02 03 Residuos cuya recogida y eliminación no es objeto de requisitos especiales para prevenir infecciones

18 02 05* Productos químicos que consisten en, o contienen, sustancias peligrosas

18 02 06 Productos químicos distintos de los especificados en el código 18 02 05

18 02 07* Medicamentos citotóxicos y citostáticos

18 02 08 Medicamentos distintos de los especificados en el código 18 02 07

19 RESIDUOS DE LAS INSTALACIONES PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS, DE LAS PLANTAS EXTERNAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA PREPARACION DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DE AGUA PARA USO INDUSTRIAL

19 01 Residuos de la incineración o pirólisis de residuos

19 01 02 ateriales férreos separados de la ceniza de fondo de horno

19 01 05* Torta de filtración del tratamiento de gases

19 01 06* Residuos líquidos acuosos del tratamiento de gases y otros residuos líquidos acuosos

19 01 07* Residuos sólidos del tratamiento de gases

19 01 10* Carbón activo usado procedente del tratamiento de gases

19 01 11* Cenizas de fondo de horno y escorias que contienen sustancias peligrosas

19 01 12 Cenizas de fondo de horno y escorias distintas de las especificadas en el código 19 01 11

19 01 13* Cenizas volantes que contienen sustancias peligrosas

19 01 14 Cenizas volantes distintas de las especificadas en el código 19 01 13

19 01 15* Polvo de caldera que contiene sustancias peligrosas

19 01 16 Polvo de caldera distinto del especificado en el código 19 01 15

19 01 17* Residuos de pirólisis que contienen sustancias peligrosas

19 01 18 Residuos de pirólisis distintos de los especificados en el código 19 01 17

19 01 19 Arenas de lechos fluidizados

19 01 99 Residuos no especificados en otra categoría

19 02 Residuos de tratamientos físicoquímicos de residuos (incluidas la descromatación, descianuración y neutralización)

19 02 03 Residuos mezclados previamente, compuestos exclusivamente por residuos no peligrosos

19 02 04* Residuos mezclados previamente, compuestos por al menos un residuo peligroso

19 02 05* Lodos de tratamientos físicoquímicos que contienen sustancias peligrosas

19 02 06 Lodos de tratamientos físicoquímicos, distintos de los especificados en el código 19 02 05

19 02 07* Aceites y concentrados procedentes del proceso de separación

19 02 08* Residuos combustibles líquidos que contienen sustancias peligrosas

19 02 09* Residuos combustibles sólidos que contienen sustancias peligrosas

19 02 10 Residuos combustibles distintos de los especificados en los códigos 19 02 08 y 19 02 09

19 02 11* Otros residuos que contienen sustancias peligrosas

19 02 99 Residuos no especificados en otra categoría

19 03 Residuos estabilizados/solidificados [4]

19 03 04* Residuos peligrosos parcialmente [5] estabilizados

19 03 05 Residuos estabilizados distintos de los especificados en el código 19 03 04

19 03 06* Residuos peligrosos solidificados

19 03 07 Residuos solidificados distintos de los especificados en el código 19 03 06

19 04 Residuos vitrificados y residuos de la vitrificación

19 04 01 Residuos vitrificados

19 04 02* Cenizas volantes y otros residuos del tratamiento de gases

19 04 03* Fase sólida no vitrificada

19 04 04 Residuos líquidos acuosos del templado de residuos vitrificados

19 05 Residuos del tratamiento aeróbico de residuos sólidos

19 05 01 Fracción no compostada de residuos municipales y asimilados

19 05 02 Fracción no compostada de residuos de procedencia animal o vegetal

19 05 03 Compost fuera de especificación

19 05 99 Residuos no especificados en otra categoría

19 06 Residuos del tratamiento anaeróbico de residuos

19 06 03 Licores del tratamiento anaeróbico de residuos municipales

19 06 04 Lodos de digestión del tratamiento anaeróbico de residuos municipales

19 06 05 Licores del tratamiento anaeróbico de residuos animales y vegetales

19 06 06 Lodos de digestión del tratamiento anaeróbico de residuos animales y vegetales

19 06 99 Residuos no especificados en otra categoría

19 07 Lixiviados de vertedero

19 07 02* Lixiviados de vertedero que contienen sustancias peligrosas

19 07 03 Lixiviados de vertedero distintos de los especificados en el código 19 07 02

19 08 Residuos de plantas de tratamiento de aguas residuales no especificados en otra categoría

19 08 01 Residuos de cribado

19 08 02 Residuos de desarenado

19 08 05 Lodos del tratamiento de aguas residuales urbanas

19 08 06* Resinas intercambiadoras de iones saturadas o usadas

19 08 07* Soluciones y lodos de la regeneración de intercambiadores de iones

19 08 08* Residuos procedentes de sistemas de membranas que contienen metales pesados

19 08 09 mezclas de grasas y aceites procedentes de la separación de agua/sustancias aceitosas que contienen sólo aceites y grasas

19 08 10* Mezclas de grasas y aceites procedentes de la separación de agua/sustancias aceitosas distintas de las especificadas en el código 19 08 09

19 08 11* Lodos que contienen sustancias peligrosas procedentes del tratamiento biológico de aguas residuales industriales

19 08 12 Lodos procedentes del tratamiento biológico de aguas residuales industriales distintos de los especificados en el código 19 08 11

19 08 13* Lodos que contienen sustancias peligrosas procedentes de otros tratamientos de aguas residuales industriales

19 08 14 Lodos procedentes de otros tratamientos de aguas residuales industriales, distintos de los especificados en el código 19 08 13

19 08 99 Residuos no especificados en otra categoría

19 09 Residuos de la preparación de agua para consumo humano o agua para uso industrial

19 09 01 Residuos sólidos de la filtración primaria y cribado

19 09 02 Lodos de la clarificación del agua

19 09 03 Lodos de descarbonatación

19 09 04 Carbón activo usado

19 09 05 Resinas intercambiadoras de iones saturadas o usadas

19 09 06 Soluciones y lodos de la regeneración de intercambiadores de iones

19 09 99 Residuos no especificados en otra categoría

19 10 Residuos procedentes del fragmentado de residuos que contienen metales

19 10 01 Residuos de hierro y acero

19 10 02 Residuos no férreos

19 10 03* Fracciones ligeras de fragmentación (fluff-light) y polvo que contienen sustancias peligrosas

19 10 04 Fracciones ligeras de fragmentación (fluff-light) y polvo distintas de las especificadas en el código 19 10 03

19 10 05* Otras fracciones que contienen sustancias peligrosas

19 10 06 Otras fracciones distintas de las especificadas en el código 19 10 05

19 11 Residuos de la regeneración de aceites

19 11 01* Arcillas de filtración usadas

19 11 02* Alquitraneos ácidos

19 11 03* Residuos de líquidos acuosos

19 11 04* Residuos de la limpieza de combustibles con bases

19 11 05* Lodos del tratamiento in situ de efluentes que contienen sustancias peligrosas

19 11 06 Lodos del tratamiento in situ de efluentes, distintos de los especificados en el código 19 11 05

19 11 07* Residuos de la depuración de efluentes gaseosos

19 11 99 Residuos no especificados en otra categoría

19 12 Residuos del tratamiento mecánico de residuos (por ejemplo, clasificación, trituración, compactación, peletización) no especificados en otra categoría

19 12 01 Papel y cartón

19 12 02 Metales férreos

19 12 03 Metales no férreos

19 12 04 Plástico y caucho

19 12 05 Vidrio

19 12 06* Madera que contiene sustancias peligrosas

19 12 07 Madera distinta de la especificada en el código 19 12 06

19 12 08 Textiles

19 12 09 Minerales (por ejemplo, arena, piedras)

19 12 10 Residuos combustibles (combustible derivado de residuos)

19 12 11* Otros residuos (incluidas mezclas de materiales) procedentes del tratamiento mecánico de residuos que contienen sustancias peligrosas

19 12 12 Otros residuos (incluidas mezclas de materiales) procedentes del tratamiento mecánico de residuos, distintos de los especificados en el código 19 12 11

19 13 Residuos de la recuperación de suelos y de aguas subterráneas

19 13 01* Residuos sólidos de la recuperación de suelos que contienen sustancias peligrosas

19 13 02 Residuos sólidos de la recuperación de suelos distintos de los especificados en el código 19 13 01

19 13 03* Lodos de la recuperación de suelos que contienen sustancias peligrosas

19 13 04 Lodos de la recuperación de suelos distintos de los especificados en el código 19 13 03

19 13 05* Lodos de la recuperación de aguas subterráneas que contienen sustancias peligrosas

19 13 06 Lodos de la recuperación de aguas subterráneas distintos de los especificados en el código 19 13 05

19 13 07* Residuos de líquidos acuosos y concentrados acuosos, que contienen sustancias peligrosas, procedentes de la recuperación de aguas subterráneas

19 13 08 Residuos de líquidos acuosos y concentrados acuosos procedentes de la recuperación de aguas subterráneas, distintos de los especificados en el código 19 13 07

20 RESIDUOS MUNICIPALES (RESIDUOS DOMESTICOS Y RESIDUOS ASIMILABLES PROCEDENTES DE LOS COMERCIOS, INDUSTRIAS E INSTITUCIONES), INCLUIDAS LAS FRACCIONES RECOGIDAS SELECTIVAMENTE

20 01 Fracciones recogidas selectivamente (excepto las especificadas en el subcapítulo 15 01)

20 01 01 Papel y cartón

20 01 02 Vidrio

20 01 08 Residuos biodegradables de cocinas y restaurantes

20 01 10 Ropa

20 01 11 Tejidos

20 01 13* Disolventes

20 01 14* Ácidos

20 01 15* Alkalís

20 01 17* Productos fotoquímicos

20 01 19* Plaguicidas

20 01 21* Tubos fluorescentes y otros residuos que contienen mercurio

20 01 23* Equipos desechados que contienen clorofluorocarburos

20 01 25 Aceites y grasas comestibles

20 01 26* Aceites y grasas distintos de los especificados en el código 20 01 25

20 01 27* Pinturas, tintas, adhesivos y resinas que contienen sustancias peligrosas

20 01 28 Pinturas, tintas, adhesivos y resinas distintos de los especificados en el código 20 01 27

20 01 29* Detergentes que contienen sustancias peligrosas

20 01 30 Detergentes distintos de los especificados en el código 20 01 29

20 01 31* Medicamentos citotóxicos y citostáticos

20 01 32 Medicamentos distintos de los especificados en el código 20 01 31

20 01 33* Baterías y acumuladores especificados en los códigos 16 06 01, 16 06 02 o 16 06 03 y baterías y acumuladores sin clasificar que contienen esas baterías

20 01 34 Baterías y acumuladores distintos de los especificados en el código 20 01 33

20 01 35* Equipos eléctricos y electrónicos desechados, distintos de los especificados en los códigos 20 01 21 y 20 01 23, que contienen componentes peligrosos [6]

20 01 36 Equipos eléctricos y electrónicos desechados distintos de los especificados en los códigos 20 01 21, 20 01 23 y 20 01 35

20 01 37* Madera que contiene sustancias peligrosas

20 01 38 Madera distinta de la especificada en el código 20 01 37

20 01 39 Plásticos

20 01 40 Metales

20 01 41 Residuos del deshollinado de chimeneas

20 01 99 Otras fracciones no especificadas en otra categoría

20 02 Residuos de parques y jardines (incluidos los residuos de cementerios)

- 20 02 01 Residuos biodegradables
- 20 02 02 Tierra y piedras
- 20 02 03 Otros residuos no biodegradables

20 03 Otros residuos municipales

- 20 03 01 Mezclas de residuos municipales
- 20 03 02 Residuos de mercados
- 20 03 03 Residuos de limpieza viaria
- 20 03 04 Lodos de fosas sépticas
- 20 03 06 Residuos de la limpieza de alcantarillas
- 20 03 07 Residuos voluminosos
- 20 03 99 Residuos municipales no especificados en otra categoría

[1] A efectos de la presente lista de residuos, la definición de PCB es la que figura en la Directiva 96/59/CE.

[2] Los componentes peligrosos de equipos eléctricos y electrónicos pueden incluir las pilas y acumuladores clasificados como peligrosos en el subcapítulo 16 06, así como interruptores de mercurio, residuos de vidrio procedente de tubos catódicos y otros cristales activados.

[3] Para el ámbito de esta lista, son metales de transición: escandio, vanadio, manganeso, cobalto, cobre, itrio, niobio, hafnio, tungsteno, titanio, cromo, hierro, níquel, zinc, circonio, molibdeno y tántalo. Estos metales o sus compuestos son peligrosos si aparecen clasificados como sustancias peligrosas.

[4] Los procesos de estabilización cambian la peligrosidad de los constituyentes del residuo, transformándolo de peligroso en no peligroso. Los procesos de solidificación sólo cambian el estado físico del residuo mediante aditivos (por ejemplo, de líquido a sólido) sin variar sus propiedades químicas.

[5] Se considera parcialmente estabilizado un residuo cuando, después del proceso de estabilización, sus constituyentes peligrosos que no se han transformado completamente en constituyentes no peligrosos pueden propagarse en el medio ambiente a corto, medio o largo plazo.

[6] Los componentes peligrosos de equipos eléctricos y electrónicos pueden incluir las pilas y acumuladores clasificados como peligrosos en el subcapítulo 116 06, así como interruptores de mercurio, residuos de vidrio procedente de tubos catódicos y otros cristales activados."

ANEXO II. Datos de gestión y generación de residuos provinciales (2012-2014).

Tabla 26. Gestión y Generación de residuos municipales por municipio de Jaén en miles de Toneladas (2012). Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Red de Información Ambiental de Andalucía, 2014.

Municipio	Tipología de instalación	Titularidad	Cantidad
Jaén	Planta de Clasificación de Ibros y Planta de Recuperación y Compostaje de Jaén	URBASER y FCC MEDIOAMBIENTE S.A. (Ayuntamiento de Jaén)	55,01
Albánchez de Mágina	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,49
Aldeaquemada	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,22
Arquillos	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,78
Arroyo del Ojanco	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,00
Baeza	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	6,53
Bailén	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	7,39
Baños de la Encina	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,06
Beas de Segura	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	2,29
Bedmar y Garciez	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,20
Begíjar	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,24
Bélmez de la Moraleda	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,69
Benatae	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,22
Cabra del Santo Cristo	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,80
Canena	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,83
Carboneros	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,26
Carolina (La)	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	6,29
Castellar	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,40
Cazalilla	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,37
Cazorla	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	3,15
Chiclana de Segura	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,45
Chilluévar	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,65
Espelúy	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,29
Génave	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,25
Guarromán	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,16
Hinojares	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,17
Hornos	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,27

Huesa	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,05
Ibros	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,21
Iruela (La)	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,84
Iznatoraf	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,43
Jabalquinto	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,92
Jimena	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,55
Jódar	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	4,78
Larva	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,20
Linares	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	24,05
Lupión	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,38
Mengíbar	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	3,91
Montizón	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,75
Navas de San Juan	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,97
Orcera	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,79
Peal de Becerro	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	2,22
Pozo Alcón	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	2,08
Puente de Génave	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,91
Puerta de Segura (La)	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,04
Quesada	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	2,33
Rus	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,49
Sabiote	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,67
Santa Elena	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,39
Santiago-Pontones	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,41
Santisteban del Puerto	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,89
Santo Tomé	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,04
Segura de la Sierra	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,78
Siles	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,97
Sorihuela del Guadalimar	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,53
Torreblascopedro	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,11
Torreperogil	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	3,05
Torres	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,64

Torres de Albánchez	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,37
Úbeda	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	14,12
Vilches	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,91
Villacarrillo	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	4,52
Villanueva de la Reina	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,33
Villanueva del Arzobispo	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	3,53
Villarrodrigo	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,18
Villatorres	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,76
Alcalá la Real	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	9,24
Alcaudete	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	4,50
Andújar	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	15,76
Arjona	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	2,33
Arjonilla	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,55
Cambil	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,18
Campillo de Arenas	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,84
Cárcheles	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,60
Castillo de Locubín	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,88
Escañuela	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,39
Frailes	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,70
Fuensanta de Martos	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,31
Fuerte del Rey	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,57
Guardia de Jaén (La)	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,84
Higuera de Calatrava	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,26
Huelma	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	2,49
Jamilena	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,41
Lahiguera	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,75
Lopera	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,57
Mancha Real	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	4,57
Marmolejo	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	2,96
Martos	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	9,92
Noalejo	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,85

Pegalajar	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,25
Porcuna	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	2,75
Santiago de Calatrava	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,33
Torre del Campo	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	5,94
Torredonjimeno	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	5,71
Valdepeñas de Jaén	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,66
Villardompardo	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,44
Villares (Los)	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	2,41

Tabla 32. Gestión y Generación de residuos municipales por municipio de Jaén en miles de Toneladas (2014). Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Red de Información Ambiental de Andalucía, 2016.

Municipio	Tipología de instalación	Titularidad	Cantidad
Albanchez de Mágina	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,48
Alcalá la Real	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	11,04
Alcaudete	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	5,39
Aldeaquemada	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,22
Andújar	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	19,05
Arjona	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	2,83
Arjonilla	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,85
Arquillos	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,80
Arroyo del Ojanco	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,03
Baeza	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	6,83
Bailén	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	7,77
Baños de la Encina	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,12
Beas de Segura	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	2,34
Bedmar y Garciez	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,22
Begíjar	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de	1,31

	y Compostaje El Guadiel-Linares	Jaén	
Bélmez de la Moraleda	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,72
Benatae	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,21
Cabra del Santo Cristo	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,83
Cambil	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,41
Campillo de Arenas	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,97
Canena	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,83
Carboneros	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,27
Cárcheles	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,72
Carolina (La)	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	6,66
Castellar	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,46
Castillo de Locubín	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	2,16
Cazalilla	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,37
Cazorla	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	3,29
Chiclana de Segura	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,44
Chilluévar	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,64

Escañuela	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,47
Espelúy	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,30
Frailes	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,81
Fuensanta de Martos	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,56
Fuerte del Rey	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,69
Génave	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,26
Guardia de Jaén (La)	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	2,33
Guarromán	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,22
Higuera de Calatrava	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,32
Hinojares	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,16
Hornos	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,28
Huelma	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	3,02
Huesa	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,09
Ibros	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,26
Iruela (La)	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,86
Iznatoraf	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de	0,44

	y Compostaje El Guadiel-Linares	Jaén	
Jabalquinto	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,94
Jaén	Planta de Clasificación de Ibros y Planta de Recuperación y Compostaje de Jaén	URBASER y FCC MEDIOAMBIENTE S.A.-Ayuntamiento de Jaén	57,85
Jamilena	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,71
Jimena	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,57
Jódar	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	5,09
Lahiguera	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,89
Larva	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,20
Linares	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	25,41
Lopera	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,89
Lupión	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,39
Mancha Real	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	5,60
Marmolejo	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	3,55
Martos	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	12,14
Mengíbar	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	4,19
Montizón	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,75

Navas de San Juan	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	2,02
Noalejo	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,99
Orcera	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,81
Peal de Becerro	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	2,28
Pegalajar	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,50
Porcuna	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	3,28
Pozo Alcón	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	2,10
Puente de Génave	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,94
Puerta de Segura (La)	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,07
Quesada	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	2,37
Rus	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,55
Sabiote	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,72
Santa Elena	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,42
Santiago de Calatrava	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,39
Santiago-Pontones	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,44
Santisteban del Puerto	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de	1,98

	y Compostaje El Guadiel-Linares	Jaén	
Santo Tomé	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,98
Segura de la Sierra	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,81
Siles	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,99
Sorihuela del Guadalimar	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,54
Torre del Campo	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,70
Torreblascopedro	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	5,83
Torredonjimeno	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	6,94
Torreperogil	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	3,20
Torres	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,65
Torres de Albánchez	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,38
Úbeda	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	14,83
Valdepeñas de Jaén	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,96
Vilches	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,98
Villacarrillo	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	4,68
Villanueva de la Reina	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,37

Villanueva del Arzobispo	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	3,63
Villardompardo	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,52
Villares (Los)	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje Sierra Sur-Jaén	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	2,93
Villarrodriago	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	0,19
Villatorres	Planta de Clasificación de Ibros y Planta Recuperación y Compostaje El Guadiel-Linares	URBASER y RESUR Jaén-Diputación de Jaén	1,86

ANEXO III. OPERACIONES DE VALORIZACIÓN (ANEXO II DE LA LEY 22/2011).

R 1 Utilización principal como combustible u otro modo de producir energía.

R2 Recuperación o regeneración de disolventes.

R3 Reciclado o recuperación de sustancias orgánicas que no se utilizan como disolventes (incluidos el compostaje y otros procesos de transformación biológica).

R4 Reciclado o recuperación de metales y de compuestos metálicos.

R5 Reciclado o recuperación de otras materias inorgánicas.

R6 Regeneración de ácidos o de bases.

R7 Valorización de componentes utilizados para reducir la contaminación.

R8 Valorización de componentes procedentes de catalizadores.

R9 Regeneración u otro nuevo empleo de aceites.

R10 Tratamiento de los suelos que produzca un beneficio a la agricultura o una mejora ecológica de los mismos.

R11 Utilización de residuos obtenidos a partir de cualquiera de las operaciones numeradas de R 1 a R 10.

R12 Intercambio de residuos para someterlos a cualquiera de las operaciones enumeradas entre R 1 y R 11. Quedan aquí incluidas operaciones previas a la valorización incluido el tratamiento previo, operaciones tales como el desmontaje, la clasificación, la trituración, la compactación, la peletización, el secado, la fragmentación, el acondicionamiento, el reenvasado, la separación, la combinación o la mezcla, previas a cualquiera de las operaciones enumeradas de R 1 a R 11.

R13 Almacenamiento de residuos en espera de cualquiera de las operaciones numeradas de R 1 a R 12 (excluido el almacenamiento temporal, en espera de recogida, en el lugar donde se produjo el residuo).

ANEXO IV. OPERACIONES DE ELIMINACIÓN (ANEXO I DE LA LEY 22/2011).

D1 Depósito sobre el suelo o en su interior (por ejemplo, vertido, etc.).

D2 Tratamiento en medio terrestre (por ejemplo, biodegradación de residuos líquidos o lodos en el suelo, etc.).

D3 Inyección en profundidad (por ejemplo, inyección de residuos bombeables en pozos, minas de sal o fallas geológicas naturales, etc.).

D 4 Embalse superficial (por ejemplo, vertido de residuos líquidos o lodos en pozos, estanques o lagunas, etc.).

D5 Depósito controlado en lugares especialmente diseñados (por ejemplo, colocación en celdas estancas separadas, recubiertas y aisladas entre sí y el medio ambiente).

D6 Vertido en el medio acuático, salvo en el mar.

D7 Vertido en el mar, incluida la inserción en el lecho marino.

D8 Tratamiento biológico no especificado en otros apartados del presente anexo que dé como resultado compuestos o mezclas que se eliminen mediante cualquiera de las operaciones numeradas de D 1 a D 12.

D9 Tratamiento fisicoquímico no especificado en otro apartado del presente anexo y que dé como resultado compuestos o mezclas que se eliminen mediante uno de los procedimientos numerados de D 1 a D 12 (por ejemplo, evaporación, secado, calcinación, etc.).

D10 Incineración en tierra.

D11 Incineración en el mar. (Prohibido por la UE)

D12 Almacenamiento permanente (por ejemplo, colocación de contenedores en una mina, etc.).

D13 Combinación o mezcla previa a cualquiera de las operaciones numeradas de D 1 a D 12.

D14 Reenvasado previo a cualquiera de las operaciones numeradas de D 1 a D 13.

D15 Almacenamiento en espera de cualquiera de las operaciones numeradas de D 1 a D 14 (excluido el almacenamiento temporal, en espera de recogida, en el lugar donde se produjo el residuo).

A continuación se define el concepto de valorización y como en el caso anterior, se muestra a continuación, el anexo II de la Ley 22/2011, las actividades de valorización.

"Valorización": Cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales, que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función en la instalación o en la economía en general. En el anexo II se recoge una lista no exhaustiva de operaciones de valorización.

ANEXO V. DATOS ANALÍTICOS

Tabla 72. Resultados analíticos de lixiviados analizados en el laboratorio.

Muestra	Cr (mg/L)	Mn (mg/L)	Ni (mg/L)	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	AS (mg/L)	Cd (µg/L)	Pb (µg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)
1	374±18	2225±45	334±13	78±3	190±7	12.1±0.4	162±5	7.9±0.1	55±1	>>300	>>300	300	250
2	198±7	3.98±0.02	281±10	941±41	139±2	44.0±1.8	99±4	0.064±0.002	0.391±0.004			10	200
3	164±3	2.431±0.002	1167±22	132±2	78±3	57±3	78±3	0.061±0.003	0.600±0.002			10	150
4	123±4	5.00±0.14	188±5	661±36	70±3	31±1	60±2	0.048±0.001	0.177±0.002			20	100
5	118±2	1.15±0.02	286±5	1204±55	155±4	62±2	61±2	0.091±0.005	0.128±0.002			10	150
6	137±4	3.660±0.041	193±6	2477±67	100±5	56±3	89±3	0.104±0.001	0.659±0.025			20	100
7	26.7±1.9	724±28	86.1±5.1	768±37	84±4	35±2	5.96±0.25	0.067±0.002	0.337±0.011		150	200	150
8	101±3	194±5	192±2	853±35	56±2	24±1	109±1	0.031±0.001	0.107±0.004		>>300		150
MEDIA	155,2125	394,902625	340,8875	889,25	109	40,1375	82,995	1,04575	7,174875			96,25	156,25
SD	5,128571429	11,17442857	8,5125	34,5	3,75	1,775	2,53125	0,016142857	0,13125			117,7087811	49,55156045

Tabla 72 (cont.) Resultados analíticos de lixiviados analizados en el laboratorio.

	Fecha recogida	DBO5 (mg/l) (inicial)	DBO5 (mg/l) (5 días)	pH	CE (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Flóculos (ml)
Blanco		5,04	5,15				
1	24/07/2014 (nue)	7,19	1,7	5,07	530	70,1	61
2	06/10/2015 (nue)	5,47	4,7	8,13	222	267	20
3	20/11/2015 (nue)	5,32	4,64	8,15	180	253	23
4	20/12/2015 (nue)	5,81	4,84	8,04	179,7	227	23
5	01/07/2016 (ant)	5,84	4,4	8,17	165,3	138	20
6	Julio/2016 (nue)	5,85	5,1	7,92	161,1	181	14
7	09/04/2014 (ant)	7,26	5,99	6,78	143,9	16,54	16
8	09/04/2014 (nue)	6,71	0,67	7,41	174,3	142	19
media			4,005	7,45875	219,5375	161,83	24,5
Sd			1,824985323	1,079291269	127,4291841	88,21401767	15,07125931

Tabla 73. Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Na (%)	Mg (%)	K (%)	Ca (%)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ni (mg/kg)
1	1	1	2	3	1	0,87	0,24	0,00	2,97	23,15	392,72	2,33
2	1	1	2	3	2	0,90	0,30	0,00	2,49	23,15	375,29	3,20
3	1	1	2	3	3	0,72	0,26	0,00	2,30	23,09	366,37	2,67
4	1	1	2	2	1	0,84	0,11	0,97	0,59	12,92	143,06	2,06
5	1	1	2	2	2	0,87	0,13	1,14	0,61	12,98	148,43	2,08
6	1	1	2	2	3	0,77	0,12	1,24	0,59	12,45	157,75	1,92
7	1	1	2	1	1	0,87	0,24	1,53	1,53	27,97	341,98	3,08
9	1	1	2	1	3	0,94	0,36	1,71	2,02	15,22	26,50	465,04
10	1	1	2	3	1	0,85	0,56	0,97	4,89	26,50	44,26	1388,79
11	1	1	2	3	2	0,78	0,41	1,02	3,68	22,07	39,07	1159,14
12	1	1	2	3	3	0,82	0,47	1,00	4,15	24,97	46,41	1366,74
13	1	1	2	2	1	0,70	0,61	0,93	9,68	19,71	38,11	972,20
14	1	1	2	2	2	0,57	0,85	0,71	13,89	16,82	58,25	1260,57
15	1	1	2	2	3	0,62	0,68	0,80	12,32	14,64	40,12	1019,36
16	1	1	2	1	1	0,73	0,35	1,19	6,31	11,31	75,19	890,53
17	1	1	2	1	2	0,73	0,35	1,16	5,00	7,81	140,75	909,42
18	1	1	2	1	3	0,73	0,52	1,17	5,32	7,28	67,29	950,09
19	1	2	1	3	1	0,81	0,34	0,57	8,93	12,30	25,89	626,12
20	1	2	1	3	2	0,72	0,45	0,99	4,57	9,42	29,35	599,83
21	1	2	1	3	3	0,80	0,50	0,98	5,05	11,01	28,14	612,89
22	1	2	1	2	1	0,69	0,20	0,77	8,53	21,21	21,32	492,99
23	1	2	1	2	2	0,71	0,21	0,50	7,61	25,04	20,15	512,93
24	1	2	1	2	3	0,73	0,22	0,68	7,85	24,39	21,63	532,26
25	1	2	1	1	1	0,84	0,14	0,61	11,32	23,86	16,32	520,66
26	1	2	1	1	2	0,75	0,14	0,62	8,75	22,18	15,56	463,97
27	1	2	1	1	3	0,83	0,16	0,71	12,40	24,19	17,31	545,86
28	1	2	1	3	1	1,22	1,02	0,00	9,98	64,76	68,56	1727,65
29	1	2	1	3	2	1,00	0,90	0,00	8,14	60,26	57,13	1455,94
31	1	2	1	2	1	0,37	0,26	0,95	2,70	9,07	23,52	496,59
32	1	2	1	2	2	0,13	0,12	0,34	1,00	4,01	6,54	151,75
33	1	2	1	2	3	0,14	0,11	0,48	1,88	2,01	8,06	211,96
34	1	2	1	1	1	0,35	0,18	0,75	11,67	6,40	14,20	560,23
35	1	2	1	1	2	0,46	0,23	0,98	16,17	8,53	18,45	711,60

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Na (%)	Mg (%)	K (%)	Ca (%)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ni (mg/kg)
36	1	2	1	1	3	0,29	0,14	0,62	10,25	3,80	9,80	392,78
37	1	1	1	3	1	0,33	0,12	0,46	2,41	5,01	13,45	301,56
38	1	1	1	3	2	0,28	0,13	0,79	1,13	9,28	13,50	341,99
39	1	1	1	3	3	0,21	0,11	0,57	0,81	14,38	9,70	234,76
40	1	1	1	2	1	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,07	3,37
41	1	1	1	2	2	0,54	0,23	0,78	3,13	7,02	20,91	475,03
42	1	1	1	2	3	0,52	0,22	0,76	3,49	6,70	23,20	566,07
43	1	1	1	1	1	0,65	0,40	0,52	6,86	19,75	39,16	1013,85
44	1	1	1	1	2	0,59	0,45	0,48	4,52	21,34	35,51	908,59
45	1	1	1	1	3	0,71	0,49	0,89	5,77	21,93	42,11	994,14
46	1	1	1	1	1	0,54	0,31	0,67	2,23	3,70	16,84	299,01
47	1	1	1	1	2	0,55	0,18	0,58	1,66	3,10	15,80	279,34
48	1	1	1	1	3	0,60	0,26	0,71	2,73	3,33	17,27	314,45
49	1	1	1	2	1	0,34	0,98	0,92	5,88	21,17	46,67	1087,83
50	1	1	1	2	2	0,43	0,71	1,04	4,08	21,47	38,83	930,40
51	1	1	1	2	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	1,47
52	1	1	1	1	1	0,82	0,57	1,47	5,87	6,92	30,33	754,18
53	1	1	1	1	2	0,87	0,45	1,86	3,93	5,94	32,62	602,50
54	1	1	1	1	3	0,70	0,34	1,60	3,32	6,88	28,83	627,32
55	2	1	1	1	1	0,67	1,74	1,54	11,53	13,66	92,87	1873,16
56	2	1	1	1	2	0,54	1,78	1,04	13,07	10,71	70,41	1815,38
57	2	1	1	1	3	0,54	0,00	1,15	12,64	11,30	69,14	1729,98
58	2	1	1	2	1	1,03	0,69	0,00	11,69	8,53	70,90	1674,12
59	2	1	1	2	2	1,10	1,42	0,00	9,05	8,80	99,37	1755,94
60	2	1	1	2	3	1,12	0,58	0,00	8,61	7,41	72,16	1545,07
61	2	1	1	3	1	0,55	0,81	1,22	9,49	7,68	63,62	1423,95
62	2	1	1	3	2	0,61	1,39	1,02	7,77	8,03	61,31	1617,77
63	2	1	1	3	3	0,42	0,91	0,95	8,93	7,19	59,64	1213,17
64	3	1	1	1	1	0,44	0,21	1,40	2,85	4,00	21,95	495,37
65	3	1	1	1	2	0,47	0,10	0,85	17,42	1,58	12,98	671,13
66	3	1	1	1	3	0,47	0,18	1,46	4,71	3,86	19,04	457,93
67	3	1	1	2	1	0,39	0,17	1,08	7,86	4,59	28,86	860,96
68	3	1	1	2	2	0,43	0,22	1,26	6,79	3,95	30,73	1013,88

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Na (%)	Mg (%)	K (%)	Ca (%)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ni (mg/kg)
69	3	1	1	2	3	0,36	0,14	1,12	5,83	2,64	20,77	538,15
70	3	1	1	3	1	0,16	0,29	2,13	2,06	1,32	18,29	298,65
71	3	1	1	3	2	0,21	0,23	2,10	1,16	2,04	19,66	375,40
72	3	1	1	3	3	0,25	0,20	2,33	1,21	1,94	19,88	349,50
73	2	1	2	3	1	0,00	0,51	0,00	4,70	5,10	73,07	1147,86
74	2	1	2	3	2	1,64	0,55	0,00	5,31	6,82	83,38	1229,79
75	2	1	2	3	3	0,00	0,49	0,00	4,67	5,12	72,65	1154,13
76	2	1	2	2	1	1,07	0,55	2,53	9,58	9,96	74,58	1509,03
77	2	1	2	2	2	1,03	0,67	2,15	11,60	9,26	89,71	1688,60
78	2	1	2	2	3	0,83	0,51	1,92	16,08	7,50	62,71	1502,18
79	2	1	2	1	1	0,56	0,38	1,26	4,70	6,41	46,60	1385,16
80	2	1	2	1	2	0,65	0,31	1,29	3,82	4,60	40,09	1114,12
81	2	1	2	1	3	0,55	0,37	1,16	5,03	5,62	47,31	1406,88
82	2	3	3	1	1	0,41	0,20	0,82	3,65	5,98	29,14	889,07
83	2	3	3	1	2	0,54	0,25	0,99	8,37	8,86	39,30	1220,73
84	2	3	3	1	3	0,66	0,27	1,36	6,74	7,96	39,80	1094,51
85	2	3	3	2	1	0,41	0,49	0,82	7,12	10,47	59,29	1752,40
86	2	3	3	2	2	0,47	0,57	0,81	6,00	15,18	65,20	1974,44
87	2	3	3	2	3	0,37	1,03	0,71	4,58	9,37	45,29	1494,54
88	2	3	3	3	1	0,43	0,33	0,86	2,74	7,03	34,56	1008,24
89	2	3	3	3	2	0,60	0,27	1,08	3,07	6,45	34,41	854,39
90	2	3	3	3	3	0,72	0,37	1,31	3,26	7,47	39,94	1135,43
91	2	1	4	1	1	0,43	0,51	0,73	7,84	16,02	106,79	2346,39
92	2	1	4	1	2	0,42	0,56	0,67	10,16	9,50	60,38	2363,60
93	2	1	4	1	3	0,46	0,43	0,90	6,62	11,77	58,25	2095,09
94	2	1	4	2	1	0,61	0,45	1,04	7,88	11,19	52,13	1896,74
95	2	1	4	2	2	0,74	0,63	1,28	4,74	10,24	64,75	2288,83
96	2	1	4	2	3	0,48	0,33	0,95	3,51	6,98	39,40	1272,08
98	2	1	4	3	2	0,54	0,54	0,99	10,78	8,14	59,46	2193,43
99	2	1	4	3	3	0,60	0,62	1,11	7,00	10,36	93,98	2479,13
100	2	2	3	1	1	0,60	0,82	0,98	8,24	8,52	60,85	2051,51
101	2	2	3	1	2	0,76	0,52	0,92	17,69	8,07	45,64	2177,41
102	2	2	3	1	3	1,04	0,67	1,52	16,04	5,81	50,74	2110,72

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Na (%)	Mg (%)	K (%)	Ca (%)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ni (mg/kg)
103	2	2	3	2	1	0,52	0,73	0,88	5,90	12,45	64,97	2602,43
104	2	2	3	2	2	0,59	0,56	0,91	5,45	11,62	70,08	3066,13
105	2	2	3	2	3	0,53	0,64	0,86	5,59	11,11	57,09	2231,27
106	2	2	3	3	1	0,86	0,44	1,38	8,51	6,61	51,42	1991,06
107	2	2	3	3	2	0,92	0,33	1,23	24,88	3,32	28,27	1536,56
108	2	2	3	3	3	1,04	0,45	1,79	8,25	4,72	42,81	1910,17
109	2	2	1	3	1	1,02	0,88	0,00	6,56	7,48	55,76	1570,43
110	2	2	1	3	2	0,66	0,61	0,00	4,57	10,06	164,35	1504,87
111	2	2	1	3	3	0,75	1,14	0,00	9,01	5,89	47,32	1454,94
112	2	2	1	2	1	2,36	0,75	0,00	8,51	9,51	65,58	1249,18
113	2	2	1	2	2	1,65	0,75	0,00	7,50	6,70	64,04	1400,95
114	2	2	1	2	3	2,10	0,74	0,00	7,58	9,11	59,28	1223,08
115	2	2	1	1	1	1,57	0,68	3,34	9,46	6,03	62,46	1755,27
116	2	2	1	1	2	1,25	0,59	2,67	5,25	4,81	50,72	1366,63
117	2	2	1	1	3	1,70	0,70	3,38	6,70	5,60	63,99	1698,19
118	2	3	1	3	1	1,58	0,79	0,00	6,16	7,71	57,90	1441,40
119	2	3	1	3	2	1,60	0,90	0,00	6,97	15,79	63,89	1621,91
120	2	3	1	3	3	1,31	1,29	4,84	5,64	7,22	62,91	1450,90
122	2	3	1	2	2	2,19	0,91	0,00	11,03	10,32	88,51	1385,57
123	2	3	1	2	3	2,20	1,05	0,00	10,13	13,19	83,75	1404,84
124	2	3	1	1	1	0,80	0,55	1,87	5,76	6,54	63,02	977,19
125	2	3	1	1	2	0,99	0,68	2,47	7,57	7,00	48,30	1146,49
126	2	3	1	1	3	0,86	0,68	2,37	5,19	6,15	44,29	1036,49
127	3	1	2	1	1	0,57	0,61	1,00	11,85	11,96	77,74	2574,22
128	3	1	2	1	2	0,73	0,50	1,10	12,41	11,57	74,56	2895,39
129	3	1	2	1	3	0,76	0,61	1,20	9,77	8,00	84,08	2519,68
130	3	1	2	1	1	0,54	0,31	0,65	23,31	3,31	32,19	1633,36
131	3	1	2	1	2	0,63	0,30	0,92	21,23	5,06	36,66	1763,02
132	3	1	2	1	3	0,71	0,27	1,05	22,66	5,67	37,27	1740,26
133	3	1	2	1	1	0,96	0,22	1,55	3,11	7,55	25,69	487,95
134	3	1	2	1	2	0,74	0,17	0,99	1,65	2,59	19,26	411,43
135	3	1	2	1	3	0,95	0,21	1,27	2,26	4,80	24,88	486,13
136	3	2	1	2	1	1,24	0,63	3,74	7,61	4,50	56,84	1008,52

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Na (%)	Mg (%)	K (%)	Ca (%)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ni (mg/kg)
137	3	2	1	2	2	1,33	0,70	3,98	7,72	4,84	61,85	1024,10
138	3	2	1	2	3	1,47	0,68	4,22	7,42	4,96	62,60	1111,05
139	3	2	1	2	1	1,19	0,32	1,88	12,55	76,66	32,97	1111,47
141	3	2	1	2	3	1,15	0,35	1,94	16,24	34,34	28,06	1116,55
142	3	2	1	2	1	0,97	0,26	1,09	10,23	3,19	25,36	797,78
143	3	2	1	2	2	0,88	0,18	0,78	15,43	1,84	18,21	871,06
144	3	2	1	2	3	0,92	0,18	1,02	18,41	1,72	21,41	1110,37
145	3	3	1	3	1	0,49	0,30	1,73	2,56	4,39	21,93	774,04
146	3	3	1	3	2	0,61	0,29	1,73	6,01	5,94	23,09	951,95
147	3	3	1	3	3	0,60	0,39	1,88	4,36	4,52	32,07	1109,06
148	3	3	1	3	1	0,56	0,42	1,39	10,05	3,15	22,77	1082,75
149	3	3	1	3	2	0,55	0,33	1,14	13,56	2,90	20,09	1054,53
150	3	3	1	3	3	0,50	0,34	1,19	8,30	2,06	21,52	942,17
151	3	3	1	3	1	0,61	0,25	1,56	2,63	2,99	18,92	569,42
152	3	3	1	3	2	0,48	0,23	1,39	2,70	2,43	19,19	538,65
153	3	3	1	3	3	0,49	0,18	1,35	2,01	1,73	13,78	386,44
154	3	1	3	1	1	1,08	0,39	2,09	9,51	10,18	54,20	1720,41
155	3	1	3	1	2	0,78	0,34	1,26	11,37	5,56	33,66	1316,72
156	3	1	3	1	3	1,50	0,47	2,74	10,05	10,35	62,12	2231,76
157	3	1	3	1	1	0,84	0,66	1,44	5,27	5,22	41,35	1533,48
158	3	1	3	1	2	0,77	0,46	1,35	5,22	5,18	38,62	1774,16
159	3	1	3	1	3	0,60	0,86	1,10	5,63	8,27	30,99	1377,90
160	3	1	3	1	1	1,26	0,40	2,20	4,17	3,36	67,87	1256,99
161	3	1	3	1	2	1,02	0,47	1,72	4,56	4,10	73,11	1672,45
162	3	1	3	1	3	0,82	0,37	1,42	5,16	4,61	66,07	1678,41
163	3	2	2	2	1	0,62	0,25	1,11	8,30	4,99	28,24	1174,81
164	3	2	2	2	2	0,87	0,33	1,41	12,85	4,60	32,66	1342,01
165	3	2	2	2	3	0,94	0,34	1,62	10,81	4,65	32,87	1214,16
166	3	2	2	2	1	0,87	0,56	1,49	5,05	7,48	50,33	2142,86
167	3	2	2	2	2	0,73	0,48	1,52	4,69	6,10	42,60	1882,00
168	3	2	2	2	3	0,71	0,41	1,40	3,80	13,36	43,22	2464,18
169	3	2	2	2	1	1,29	0,38	2,79	5,03	3,69	36,86	951,34
170	3	2	2	2	2	1,23	0,32	2,40	5,36	2,18	29,07	744,01

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Na (%)	Mg (%)	K (%)	Ca (%)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ni (mg/kg)
171	3	2	2	2	3	1,15	0,35	2,35	7,39	3,12	35,31	984,38
172	3	3	2	3	1	1,16	0,35	2,19	9,66	3,95	32,57	970,16
173	3	3	2	3	2	1,31	0,36	2,62	10,99	2,81	37,30	1002,07
174	3	3	2	3	3	1,14	0,34	2,25	9,18	3,21	35,12	958,17
175	3	3	2	3	1	0,77	0,56	1,47	5,61	9,32	47,39	1646,00
176	3	3	2	3	2	0,42	2,74	0,84	10,15	5,93	33,15	1338,14
177	3	3	2	3	3	0,76	0,56	1,64	5,00	8,07	49,10	1465,64
178	3	3	2	3	1	0,97	0,46	1,77	6,48	6,40	53,14	1894,22
179	3	3	2	3	2	1,04	0,42	1,85	5,80	3,82	44,49	1565,82
180	3	3	2	3	3	0,81	0,39	1,34	6,57	5,33	40,53	1980,00
181	1	1	5	1	1	0,64	0,55	0,78	5,41	34,77	54,50	2733,04
182	1	1	5	1	2	0,67	0,75	0,91	5,56	34,01	56,71	3087,45
183	1	1	5	1	3	0,85	0,64	1,12	6,53	46,91	72,14	4257,33
184	1	1	5	2	1	0,48	0,42	0,47	3,62	22,11	38,67	2082,48
185	1	1	5	2	2	0,67	0,45	0,74	4,89	28,01	48,16	2487,15
186	1	1	5	2	3	0,62	0,53	0,85	4,45	27,06	51,81	2230,52
187	1	1	5	3	1	0,61	0,51	0,90	5,31	22,50	40,43	2049,52
188	1	1	5	3	2	0,61	0,52	0,89	4,85	32,49	46,10	2427,67
189	1	1	5	3	3	0,62	0,44	0,95	4,50	31,81	44,22	2245,70
190	1	2	4	1	1	0,64	0,47	0,88	4,78	24,85	43,28	2279,03
191	1	2	4	1	2	0,65	0,50	1,01	3,95	23,91	40,58	2040,08
192	1	2	4	1	3	0,59	0,53	0,92	4,02	24,62	39,67	1877,00
193	1	2	4	2	1	0,55	0,36	0,69	9,56	32,75	47,92	1830,10
194	1	2	4	2	2	0,60	0,42	0,92	4,37	39,67	40,63	2093,83
195	1	2	4	2	3	0,55	0,25	0,51	17,39	17,46	26,27	1590,00
196	1	2	4	3	1	0,56	0,45	0,92	3,93	18,88	43,21	1654,19
197	1	2	4	3	2	0,54	0,46	0,93	5,61	14,77	43,97	1648,77
198	1	2	4	3	3	0,51	0,47	0,88	3,92	16,72	47,12	1969,54
199	1	1	3	1	1	0,47	0,37	0,42	5,60	28,61	46,15	2593,36
200	1	1	3	1	2	0,49	0,31	0,55	4,18	20,25	39,68	1891,62
201	1	1	3	1	3	0,49	0,39	0,50	4,58	26,90	40,88	1809,83
202	1	1	3	2	1	0,54	0,52	0,93	3,96	19,20	30,36	902,86
203	1	1	3	2	2	0,53	0,37	1,00	3,41	5,76	30,16	774,08

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha. *: Afino

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Na (%)	Mg (%)	K (%)	Ca (%)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ni (mg/kg)
204	1	1	3	2	3	0,66	0,44	1,20	3,97	7,11	34,14	866,66
205	1	1	3	3	1	0,54	0,34	0,89	5,17	19,94	45,95	2198,61
206	1	1	3	3	2	0,60	0,37	0,92	3,88	19,51	33,79	1235,35
207	1	1	3	3	3	0,55	0,29	0,77	5,29	12,52	30,67	965,26
208	1	1	3	1	1	0,42	0,30	0,78	2,49	10,32	21,65	633,97
209	1	1	3	1	2	0,45	0,31	0,89	2,30	10,71	19,60	630,80
210	1	1	3	1	3	0,53	0,34	1,08	2,35	8,78	21,97	595,11
211	1	1	3	2	1	0,57	0,35	0,76	4,03	21,11	33,55	976,73
212	1	1	3	2	2	0,52	0,45	0,54	6,34	15,32	27,41	867,82
213	1	1	3	2	3	0,54	0,31	0,78	8,12	18,29	29,13	970,33
214	1	1	3	3	1	0,59	0,31	0,97	3,35	13,87	30,60	1073,78
215	1	1	3	3	2	0,50	0,32	0,83	7,01	20,79	51,83	2240,39
216	1	1	3	3	3	0,43	0,29	0,72	4,00	17,29	37,57	1728,52
217	1	2	2	1	1	0,30	0,29	0,74	2,28	15,48	34,41	692,64
218	1	2	2	1	2	0,45	0,53	1,04	3,84	25,14	40,57	979,62
219	1	2	2	1	3	0,46	0,50	0,96	3,39	23,79	35,99	848,12
220	1	2	2	2	1	0,57	0,25	0,71	1,24	3,89	15,58	312,16
222	1	2	2	2	3	0,53	0,21	0,73	1,04	3,88	15,59	284,46
223	1	2	2	3	1	0,38	0,21	1,05	1,39	6,43	13,54	315,32
224	1	2	2	3	2	0,38	0,18	1,20	1,19	5,55	13,27	320,22
225	1	2	2	3	3	0,54	0,39	0,92	5,66	8,63	31,98	880,44
226	1	2	2	1	1	0,48	0,69	0,65	5,80	36,14	52,11	1357,44
227	1	2	2	1	2	0,30	0,44	0,42	3,20	24,75	24,01	725,29
228	1	2	2	1	3	0,29	0,41	0,39	4,62	27,99	33,84	856,04
229	1	2	2	2	1	0,36	0,30	0,61	3,20	12,19	26,50	809,30
230	1	2	2	2	2	0,46	0,48	0,74	6,19	16,15	35,07	1238,38
231	1	2	2	2	3	0,45	0,46	0,70	8,15	10,81	32,48	952,38
232	1	2	2	3	1	0,42	0,40	0,67	3,77	11,58	34,04	880,52
233	1	2	2	3	2	0,40	0,29	0,86	3,33	9,48	26,71	671,90
234	1	2	2	3	3	0,40	0,25	1,13	1,35	6,29	14,73	340,36
235	1	3	1	1	1	0,67	0,20	1,57	0,56	1,30	9,89	142,70
236	1	3	1	1	2	0,67	0,14	1,13	0,38	1,33	8,84	116,35
237	1	3	1	1	3	0,62	0,13	1,06	0,43	1,13	8,69	121,93

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Na (%)	Mg (%)	K (%)	Ca (%)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ni (mg/kg)
238	1	3	1	2	1	0,41	0,31	0,34	2,49	53,04	24,16	689,36
239	1	3	1	2	2	0,36	0,31	0,33	2,27	46,36	24,72	716,74
240	1	3	1	2	3	0,35	0,34	0,30	2,30	49,57	24,59	729,13
242	1	3	1	3	2	0,69	0,07	0,57	0,47	2,58	10,69	112,34
243	1	3	1	3	3	0,65	0,10	0,59	0,58	2,50	10,32	119,07
244	1	3	1	1	1	0,52	0,18	0,34	1,09	10,65	13,54	273,20
245	1	3	1	1	2	0,47	0,18	0,33	1,35	8,00	12,06	242,24
246	1	3	1	1	3	0,48	0,18	0,53	1,00	8,84	15,10	211,34
247	1	3	1	2	1	0,76	0,08	0,56	0,53	1,23	8,94	148,16
248	1	3	1	2	2	0,73	0,06	0,68	0,39	0,63	7,11	98,62
249	1	3	1	2	3	0,80	0,07	0,44	0,52	1,02	8,72	149,83
250	1	3	1	3	1	0,67	0,13	0,55	0,48	0,85	8,16	85,10
251	1	3	1	3	2	0,70	0,14	0,83	0,87	1,12	10,16	116,58
252	1	3	1	3	3	0,72	0,14	0,63	0,47	0,89	8,62	89,85
253	2	1	3	1	1	0,52	0,61	0,82	7,36	9,28	48,98	1660,02
254	2	1	3	1	2	0,49	0,61	0,77	5,76	10,48	62,03	2124,43
255	2	1	3	1	3	0,52	0,41	0,83	4,24	8,60	51,25	1785,23
256	2	1	3	2	1	0,49	0,44	0,68	4,01	7,38	33,60	1150,34
257	2	1	3	2	2	0,35	0,40	0,54	4,86	5,73	40,89	1422,70
258	2	1	3	2	3	0,50	0,47	0,74	7,31	6,67	48,64	1679,35
259	2	1	3	3	1	0,29	0,38	0,30	2,38	21,54	30,18	1143,21
260	2	1	3	3	2	0,40	0,49	0,42	2,95	13,80	27,44	1065,09
261	2	1	3	3	3	0,45	0,45	0,59	3,46	23,53	46,51	1058,57
262	2	2	2	1	1	0,88	0,40	1,50	4,68	8,68	49,20	1247,36
263	2	2	2	1	2	0,00	0,89	0,00	5,08	9,38	62,98	1354,94
264	2	2	2	1	3	0,44	0,60	0,00	4,92	9,10	57,63	1213,11
265	2	2	2	2	1	0,80	0,36	1,35	4,13	9,42	49,28	880,71
266	2	2	2	2	2	1,09	0,51	1,56	10,63	11,06	61,80	992,49
267	2	2	2	2	3	0,89	0,39	1,41	5,18	7,42	48,21	706,14
268	2	2	2	3	1	0,52	0,45	0,74	6,05	12,64	53,09	1271,03
269	2	2	2	3	2	0,56	1,11	0,82	8,95	7,49	61,18	1188,38
270	2	2	2	3	3	0,64	0,49	0,92	7,56	14,77	63,35	1559,82
271	2	3	2	1	1	0,00	1,05	0,00	8,71	9,49	109,62	1517,38

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Na (%)	Mg (%)	K (%)	Ca (%)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ni (mg/kg)
272	2	3	2	1	2	0,00	0,84	0,00	8,47	7,22	96,23	1082,30
273	2	3	2	1	3	0,00	0,85	0,00	8,27	8,08	94,15	1053,50
274	2	3	2	2	1	0,00	0,57	0,00	5,04	6,01	58,86	1399,66
275	2	3	2	2	2	0,00	0,67	0,00	6,56	6,74	77,34	1622,24
276	2	3	2	2	3	0,00	0,77	0,00	6,48	6,65	77,90	1701,68
277	2	3	2	3	1	0,00	0,73	0,00	6,93	7,21	90,38	1351,19
278	2	3	2	3	2	0,00	0,86	0,00	9,47	11,46	117,73	1959,75
279	2	3	2	3	3	0,00	0,62	0,00	5,61	5,19	78,35	1207,02
280	1	3	3	1	1	0,51	0,26	0,82	3,74	15,21	27,99	814,76
281	1	3	3	1	2	0,46	0,36	0,44	13,79	13,10	25,74	1018,87
282	1	3	3	1	3	0,52	0,39	0,70	11,71	8,26	32,24	1065,01
283	1	3	3	2	1	0,50	0,94	0,76	5,65	10,03	53,97	1317,43
284	1	3	3	2	2	0,38	0,40	0,60	3,91	11,51	31,83	912,79
285	1	3	3	2	3	0,53	0,52	0,86	3,85	11,54	42,18	1096,68
286	1	3	3	3	1	0,48	0,38	0,79	4,03	8,54	37,26	1176,70
287	1	3	3	3	2	0,60	0,46	0,86	3,98	17,31	48,47	1404,59
288	1	3	3	3	3	0,58	0,39	0,89	3,96	20,50	42,77	1485,63
289	2	1	5	1	1	0,55	0,39	0,80	7,21	12,81	56,74	1876,76
290	2	1	5	1	2	0,45	0,39	0,71	4,46	14,84	53,31	1946,11
291	2	1	5	1	3	0,53	0,40	0,73	5,34	12,41	64,00	2083,11
292	2	1	5	2	1	0,40	0,67	0,50	7,73	20,34	64,92	2499,58
293	2	1	5	2	2	0,36	0,42	0,46	9,76	11,49	47,86	1936,75
294	2	1	5	2	3	0,35	0,47	0,35	7,11	21,11	64,78	2432,28
295	2	1	5	3	1	0,46	0,67	0,65	6,29	19,72	64,52	2404,14
296	2	1	5	3	2	0,40	0,35	0,61	11,38	11,21	57,77	1762,02
297	2	1	5	3	3	0,35	0,28	0,49	5,28	5,23	29,83	1182,13
298	2	2	4	1	1	0,48	1,24	0,76	5,64	8,54	53,80	2066,82
299	2	2	4	1	2	0,41	0,31	0,58	4,25	7,21	48,37	1879,76
300	2	2	4	1	3	0,62	0,71	0,91	5,26	10,10	50,83	1781,63
301	2	2	4	2	1	0,70	0,37	1,14	5,93	11,26	63,79	1941,39
302	2	2	4	2	2	0,76	0,39	1,11	9,06	10,83	56,48	1990,12
303	2	2	4	2	3	0,67	0,43	0,98	7,19	12,11	57,62	2069,34
304	2	2	4	3	1	0,71	0,36	1,16	3,67	7,40	46,62	1905,09

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Na (%)	Mg (%)	K (%)	Ca (%)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ni (mg/kg)
305	2	2	4	3	2	0,52	0,33	0,88	4,78	6,73	45,88	2095,87
306	2	2	4	3	3	0,61	0,46	0,96	5,19	6,95	54,28	1994,13
307	2	3	4	1	1	0,57	0,66	0,83	8,91	15,92	60,78	2194,03
308	2	3	4	1	2	0,56	0,43	0,74	14,75	7,98	44,60	1907,76
309	2	3	4	1	3	0,56	0,32	0,89	7,02	6,42	49,41	1525,27
310	2	3	4	2	1	0,57	0,30	0,75	13,53	10,43	29,82	1332,15
311	2	3	4	2	2	0,67	0,66	0,97	11,13	6,13	40,86	1070,29
312	2	3	4	2	3	0,49	0,27	0,60	13,52	4,66	29,97	1401,55
313	2	3	4	3	1	0,47	0,52	0,67	5,64	16,23	49,35	1868,98
314	2	3	4	3	2	0,40	0,49	0,53	4,76	22,29	48,43	1959,99
315	2	3	4	3	3	0,35	0,40	0,51	4,92	10,07	53,19	1596,55
316	1	1	4	1	1	0,60	0,46	0,95	5,11	14,64	38,42	1684,09
317	1	1	4	1	2	0,62	0,54	0,88	6,20	11,78	36,70	1521,61
318	1	1	4	1	3	0,51	0,89	0,74	5,95	9,88	31,40	1306,77
319	1	1	4	2	1	0,46	0,50	0,59	6,37	14,44	38,61	1777,19
320	1	1	4	2	2	0,34	0,36	0,49	3,61	7,35	26,53	1171,22
321	1	1	4	2	3	0,85	0,56	1,14	9,21	19,11	56,68	2627,77
322	1	1	4	3	1	0,88	0,53	1,26	5,25	16,50	53,31	2424,49
323	1	1	4	3	2	0,78	0,47	1,05	6,46	13,76	50,50	2113,21
324	1	1	4	3	3	0,64	0,41	0,85	4,08	13,33	45,81	2464,30
325	1	2	3	1	1	0,89	0,75	1,30	6,72	24,79	85,37	2583,27
326	1	2	3	1	2	0,90	0,65	1,25	5,61	21,22	60,35	1955,95
327	1	2	3	1	3	0,78	1,02	0,97	7,87	33,33	68,51	2516,38
328	1	2	3	2	1	0,88	0,77	0,97	6,16	72,07	62,15	2861,76
329	1	2	3	2	2	0,69	1,35	0,63	9,33	48,78	70,46	2358,30
330	1	2	3	2	3	0,61	0,75	0,51	6,75	35,78	47,97	1956,48
331	1	2	3	3	1	0,66	1,23	0,65	9,45	26,91	58,59	2763,33
332	1	2	3	3	2	0,59	1,80	0,82	15,92	15,40	58,01	2115,00
333	1	2	3	3	3	0,79	0,67	1,00	5,52	35,34	50,85	2307,75
334	1	3	2	1	1	0,82	0,59	1,02	5,66	34,12	52,19	2853,40
335	1	3	2	1	2	0,79	0,56	0,98	5,47	40,81	50,16	2025,46
336	1	3	2	1	3	0,51	0,73	0,62	6,50	30,51	46,22	1660,42
337	1	3	2	2	1	0,68	0,65	1,05	7,37	36,78	49,94	2108,93

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Na (%)	Mg (%)	K (%)	Ca (%)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ni (mg/kg)
338	1	3	2	2	2	0,66	0,54	1,09	5,11	14,39	48,97	1512,24
339	1	3	2	2	3	0,65	0,62	1,09	4,08	25,31	43,08	2113,85
340	1	3	2	3	1	0,53	0,57	0,75	6,70	12,34	40,62	1491,11
341	1	3	2	3	2	0,53	1,71	0,69	7,88	20,73	55,28	2394,05
342	1	3	2	3	3	0,57	1,07	0,60	11,19	20,84	51,61	1858,87
343	3	1	4	1	1	0,71	1,37	1,05	9,48	13,42	67,55	2656,14
344	3	1	4	1	2	0,71	0,47	1,07	7,50	11,43	104,81	2668,24
345	3	1	4	1	3	0,67	0,39	1,08	4,29	10,75	53,43	2376,94
346	3	1	4	2	1	0,78	0,41	1,29	4,06	10,08	45,90	2020,16
347	3	1	4	2	2	0,69	1,66	1,03	6,57	8,60	51,27	1811,66
348	3	1	4	2	3	0,75	0,50	1,05	5,34	9,36	54,62	2053,85
349	3	1	4	3	1	0,68	0,46	1,18	4,23	10,64	44,16	2317,97
350	3	1	4	3	2	0,62	0,49	1,04	8,82	15,32	51,86	2917,78
351	3	1	4	3	3	0,62	0,50	1,11	4,94	14,94	52,51	2707,89
352	1	1	6	1	1	0,57	0,45	0,76	5,42	31,81	36,83	2126,43
353	1	1	6	1	2	0,53	0,42	0,71	3,87	25,00	32,72	1982,25
354	1	1	6	1	3	0,59	0,42	0,88	4,70	25,74	38,90	2337,57
355	1	1	6	2	1	0,55	0,41	0,74	4,95	18,45	38,55	1722,36
356	1	1	6	2	2	0,56	0,53	0,74	5,69	20,99	38,83	1855,54
357	1	1	6	2	3	0,60	0,39	0,81	6,73	15,81	41,19	1692,26
358	1	1	6	3	1	0,58	0,34	0,77	3,94	18,73	41,07	1699,96
359	1	1	6	3	2	0,33	0,26	0,45	2,58	8,92	24,55	1227,84
360	1	1	6	3	3	0,34	0,26	0,42	2,66	10,07	34,32	1339,90
361	1	2	5	1	1	0,56	0,41	0,85	4,66	29,83	44,08	2318,63
362	1	2	5	1	2	0,54	0,49	0,82	4,39	25,89	42,34	2098,65
363	1	2	5	1	3	0,46	0,28	0,71	3,13	15,73	26,27	1188,14
364	1	2	5	2	1	0,47	0,46	0,69	4,82	33,94	43,23	2506,85
365	1	2	5	2	2	0,54	0,45	0,72	4,88	35,19	44,25	2463,98
366	1	2	5	2	3	0,53	0,53	0,70	5,64	37,25	49,04	2818,78
367	1	2	5	3	1	0,35	0,43	0,52	16,45	11,00	55,66	2047,66
368	1	2	5	3	2	0,35	0,18	0,42	3,03	8,62	24,11	1008,88
369	1	2	5	3	3	0,52	0,30	0,56	8,63	9,68	29,23	1410,02
370	1	3	4	1	1	0,48	0,40	0,71	5,27	32,21	39,56	2087,09

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Na (%)	Mg (%)	K (%)	Ca (%)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ni (mg/kg)
371	1	3	4	1	2	0,42	1,83	0,60	10,29	20,37	63,60	2043,26
372	1	3	4	1	3	0,59	0,49	0,87	5,39	36,18	44,81	2041,60
373	1	3	4	2	1	0,54	0,61	0,76	6,32	28,65	43,39	1778,71
374	1	3	4	2	2	0,55	0,62	0,77	6,46	29,30	44,15	1818,10
375	1	3	4	2	3	0,48	0,54	0,68	5,65	25,70	38,68	1588,07
376	1	3	4	3	1	0,48	0,55	0,66	5,48	24,93	37,97	1547,38
377	1	3	4	3	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	1,28
378	1	3	4	3	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	1,50
379	3	2	3	1	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,21	7,32
380	3	2	3	1	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	1,20
381	3	2	3	1	3	0,60	0,39	1,01	4,48	10,14	49,73	1865,50
382	3	2	3	2	1	1,01	0,41	1,66	4,74	7,40	44,92	1526,63
383	3	2	3	2	2	0,91	0,38	1,47	4,44	7,90	42,08	1376,28
384	3	2	3	2	3	1,04	0,53	1,62	5,90	8,21	51,07	1386,84
385	3	2	3	3	1	0,93	0,57	1,66	5,28	8,90	38,00	1340,67
386	3	2	3	3	2	1,04	0,57	1,79	4,41	7,20	41,54	1366,21
387	3	2	3	3	3	1,10	0,53	1,92	4,68	9,27	44,92	1433,52
388	3	3	3	1	1	0,78	0,78	1,29	6,08	11,53	57,51	1969,75
389	3	3	3	1	2	0,67	1,07	1,09	9,08	9,53	54,70	1719,27
390	3	3	3	1	3	0,71	0,52	1,05	8,42	11,91	57,24	1711,89
391	3	3	3	2	1	0,91	0,97	1,32	12,15	8,01	43,02	1437,30
392	3	3	3	2	2	0,81	1,01	1,38	4,58	7,93	76,27	1120,51
393	3	3	3	2	3	0,82	0,49	1,42	4,98	9,67	43,71	1418,44
394	3	3	3	3	1	0,78	0,98	1,11	9,63	10,17	46,81	1317,08
395	3	3	3	3	2	0,73	0,47	1,19	6,39	8,91	45,21	1188,33
396	3	3	3	3	3	0,80	0,60	1,27	4,84	6,95	47,10	1107,26
397*	2	1	6	-	1	0,81	0,72	1,18	7,42	16,30	112,37	3937,71
398*	2	1	6	-	2	0,73	0,77	1,07	7,31	13,97	94,96	3506,04
399*	2	1	6	-	3	0,76	0,70	1,14	7,20	17,64	109,18	3744,75
400*	2	2	5	-	1	0,75	0,79	1,05	6,99	18,38	109,13	3815,55
401*	2	2	5	-	2	0,70	0,79	1,08	7,59	19,49	92,27	3402,94
402*	2	2	5	-	3	0,75	0,87	1,15	8,18	16,13	105,28	3910,82
403*	2	3	5	-	1	0,45	0,69	0,73	6,64	19,46	91,91	3437,36

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha; *: Afino

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Na (%)	Mg (%)	K (%)	Ca (%)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ni (mg/kg)
404	2	3	5	-	2	0,45	0,71	0,74	6,56	14,39	86,28	3252,48
405	2	3	5	-	3	0,39	0,62	0,68	7,08	18,73	83,60	2912,28
406	1	1	7	-	1	0,85	0,79	1,23	7,94	23,83	102,83	4269,16
407	1	1	7	-	2	0,80	0,69	1,18	7,06	146,60	93,66	3800,69
408	1	1	7	-	3	0,79	0,81	1,18	7,45	23,85	101,84	4079,37
409	1	2	6	-	1	0,77	0,81	1,03	8,32	25,01	98,54	4095,48
410	1	2	6	-	2	0,74	0,72	1,09	7,82	25,85	97,66	3843,53
411	1	2	6	-	3	0,76	0,77	1,06	8,22	26,02	95,53	3935,37
412	1	3	5	-	1	0,85	0,76	1,26	8,11	25,99	108,48	4565,91
413	1	3	5	-	2	0,81	0,63	1,19	7,65	22,36	99,55	4028,07
414	1	3	5	-	3	0,49	0,60	1,03	5,76	20,55	93,43	3669,24
415	3	1	5	-	1	0,87	0,59	1,29	7,28	25,05	93,35	4130,79
416	3	1	5	-	2	0,54	0,61	0,79	5,62	14,67	79,87	3303,84
417	3	1	5	-	3	0,53	0,66	0,87	6,00	18,68	85,68	3955,85
418	3	2	4	-	1	0,46	0,83	0,89	6,61	15,87	529,59	2743,73
419	3	2	4	-	2	0,36	0,66	0,69	5,67	14,02	245,02	2503,32
420	3	2	4	-	3	0,45	0,72	0,90	6,05	11,56	74,15	3062,58
421	3	3	4	-	1	0,47	0,68	0,77	5,44	12,31	73,95	3031,44
422	3	3	4	-	2	0,51	0,65	0,83	5,84	11,67	73,05	3125,64
423	3	3	4	-	3	0,51	0,61	0,84	5,53	11,33	72,49	2698,67

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino.

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	P (%)	C (%)	N (%)	C/N	S (mg/kg)	pH
1	1	1	2	3	1	27,98	45,86	2,86	0,27	35,29	2,33	15,12	0,00	6,53
2	1	1	2	3	2	30,24	74,43	2,62	0,24	33,48	2,03	16,51	0,00	6,55
3	1	1	2	3	3	27,97	38,50	2,11	0,21	36,50	2,22	16,45	0,00	6,55
4	1	1	2	2	1	22,15	26,21	1,76	0,12	39,39	1,74	22,62	0,00	5,17
5	1	1	2	2	2	21,98	27,83	1,40	0,12	38,92	1,71	22,81	0,00	5,22
6	1	1	2	2	3	19,90	26,60	2,07	0,12	38,16	1,63	23,46	0,00	5,26
7	1	1	2	1	1	24,65	54,04	2,86	0,31	33,18	1,59	20,93	0,00	5,67
8	1	1	2	1	2	24,96	46,31	4,41	0,17	34,39	1,61	21,30	0,00	5,68
9	1	1	2	1	3	41,38	128,69	6,84	0,20	38,97	1,86	21,00	0,00	5,70
10	1	1	2	3	1	32,34	88,03	5,57	0,27	37,22	2,05	18,12	0,00	5,98
11	1	1	2	3	2	32,52	75,13	4,85	0,24	32,77	2,14	15,28	0,00	5,98
12	1	1	2	3	3	33,85	83,14	5,28	0,23	38,00	1,81	20,94	0,00	6,01
13	1	1	2	2	1	25,99	57,42	5,53	0,25	30,15	2,45	12,30	0,00	5,69
14	1	1	2	2	2	22,64	47,10	11,73	0,25	27,87	2,04	13,64	0,00	5,71
15	1	1	2	2	3	25,80	55,97	11,73	0,22	25,20	1,63	15,43	0,00	5,73
16	1	1	2	1	1	19,34	69,94	6,21	0,22	34,83	1,94	17,93	0,00	5,35
17	1	1	2	1	2	20,35	76,26	5,11	0,23	31,81	2,07	15,37	0,00	5,38
18	1	1	2	1	3	20,80	82,06	6,71	0,28	36,41	1,94	18,74	0,00	5,40
19	1	2	1	3	1	19,38	32,28	13,55	0,18	37,70	2,02	18,70	0,00	5,84
20	1	2	1	3	2	19,61	51,16	10,40	0,19	33,52	2,02	16,58	0,00	5,95
21	1	2	1	3	3	20,59	66,86	7,35	0,22	32,83	1,77	18,55	0,00	5,94
22	1	2	1	2	1	18,09	28,90	7,17	0,16	31,39	1,53	20,53	0,00	5,86
23	1	2	1	2	2	21,43	38,89	16,99	0,15	31,66	1,63	19,40	0,00	5,90
24	1	2	1	2	3	20,03	38,84	10,21	0,18	32,45	1,57	20,66	0,00	6,02
25	1	2	1	1	1	17,46	23,13	1,98	0,12	33,24	1,48	22,40	0,00	5,44
26	1	2	1	1	2	16,18	25,56	2,19	0,11	33,94	1,60	21,15	0,00	5,47
27	1	2	1	1	3	17,94	21,48	2,33	0,12	30,32	1,27	23,96	0,00	5,62
28	1	2	1	3	1	63,85	76,88	11,63	0,60	23,32	2,77	8,41	0,00	8,84
29	1	2	1	3	2	50,61	63,59	9,77	0,06	23,10	2,49	9,27	0,00	8,75
31	1	2	1	2	1	16,87	45,38	8,90	0,27	32,70	1,29	25,26	0,00	5,09
32	1	2	1	2	2	6,25	13,07	3,84	0,20	34,24	1,58	21,73	0,00	5,14
33	1	2	1	2	3	6,90	14,11	1,54	0,23	34,57	1,41	24,56	0,00	5,19

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino.

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	P (%)	C (%)	N (%)	C/N	S (mg/kg)	pH
34	1	2	1	1	1	11,26	83,79	2,51	0,16	14,38	0,37	38,96	0,00	6,32
35	1	2	1	1	2	13,08	92,96	3,47	0,15	21,28	1,08	19,71	0,00	6,42
36	1	2	1	1	3	9,01	38,04	1,48	0,12	19,84	1,02	19,46	0,00	6,51
37	1	1	1	3	1	8,05	19,84	2,38	0,62	26,02	2,85	9,14	0,00	7,71
38	1	1	1	3	2	12,86	23,00	4,33	0,46	25,31	2,35	10,77	0,00	7,73
39	1	1	1	3	3	8,51	15,50	39,30	0,52	25,20	2,52	9,99	0,00	7,68
40	1	1	1	2	1	0,09	0,14	0,06	0,62	20,33	3,27	6,22	0,00	5,71
41	1	1	1	2	2	15,26	36,17	2,80	0,21	22,20	4,11	5,40	0,00	5,65
42	1	1	1	2	3	11,80	37,31	3,95	0,20	14,49	2,68	5,41	0,00	5,60
43	1	1	1	1	1	19,12	58,26	16,91	0,67	32,62	1,94	16,85	0,00	7,91
44	1	1	1	1	2	17,87	48,95	10,94	0,40	35,78	2,27	15,78	0,00	7,88
45	1	1	1	1	3	19,34	52,08	18,27	0,44	35,82	2,04	17,57	0,00	7,90
46	1	1	1	1	1	11,23	40,41	1,92	0,72	38,74	2,11	18,37	0,00	6,03
47	1	1	1	1	2	12,88	37,76	2,26	0,65	39,22	2,38	16,48	0,00	6,07
48	1	1	1	1	3	11,14	97,47	3,24	0,96	38,61	2,34	16,53	0,00	6,09
49	1	1	1	2	1	14,28	55,76	7,83	0,70	27,26	1,53	17,84	0,00	5,83
50	1	1	1	2	2	15,10	85,11	6,19	0,26	34,96	2,54	13,79	0,00	5,82
51	1	1	1	2	3	0,04	0,07	0,01	0,27	31,33	3,14	9,97	0,00	5,86
52	1	1	1	1	1	23,06	104,30	5,43	0,72	29,81	3,07	9,70	0,00	5,84
53	1	1	1	1	2	20,78	63,20	4,28	0,58	31,37	3,03	10,36	0,00	5,83
54	1	1	1	1	3	23,66	65,57	5,49	0,53	31,80	2,76	11,52	0,00	5,88
55	2	1	1	1	1	26,68	179,67	8,38	0,34	25,02	1,86	13,45	0,00	8,00
56	2	1	1	1	2	23,44	54,87	20,17	0,22	28,96	2,91	9,94	0,00	7,65
57	2	1	1	1	3	21,61	59,30	7,21	0,29	28,95	3,64	7,95	0,00	7,59
58	2	1	1	2	1	29,12	63,01	9,96	0,61	28,71	3,36	8,55	0,00	8,62
59	2	1	1	2	2	33,76	64,06	9,16	0,48	28,80	3,25	8,87	0,00	8,50
60	2	1	1	2	3	29,50	67,08	11,78	0,72	31,33	3,64	8,61	0,00	8,30
61	2	1	1	3	1	21,07	71,78	5,80	0,50	39,16	2,00	19,62	0,00	6,60
62	2	1	1	3	2	27,67	61,07	10,14	0,27	38,74	2,02	19,18	0,00	6,56
63	2	1	1	3	3	15,29	53,02	5,22	0,60	38,54	2,01	19,19	0,00	6,52
64	3	1	1	1	1	12,93	36,97	15,84	0,21	37,75	1,62	23,28	0,00	5,53
65	3	1	1	1	2	7,99	24,57	4,34	0,20	39,29	1,89	20,75	0,00	5,25

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino.

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	P (%)	C (%)	N (%)	C/N	S (mg/kg)	pH
66	3	1	1	1	3	12,99	36,64	55,34	0,16	38,97	1,70	22,95	0,00	5,33
67	3	1	1	2	1	19,44	46,14	7,40	0,16	36,87	1,68	21,88	0,00	5,52
68	3	1	1	2	2	21,83	61,44	7,56	0,18	34,53	1,84	18,75	0,00	5,55
69	3	1	1	2	3	16,38	37,10	4,33	0,12	36,85	1,71	21,60	0,00	5,54
70	3	1	1	3	1	15,17	31,64	2,98	0,21	40,57	1,60	25,40	0,00	4,44
71	3	1	1	3	2	20,21	44,13	6,42	0,24	42,89	1,92	22,34	0,00	4,50
72	3	1	1	3	3	20,22	44,92	5,58	0,25	41,78	2,29	18,27	0,00	4,42
73	2	1	2	3	1	37,02	108,13	7,53	0,44	30,05	4,52	6,65	0,00	8,75
74	2	1	2	3	2	36,98	113,41	11,69	0,47	31,10	4,75	6,55	0,00	8,79
75	2	1	2	3	3	35,78	105,03	7,76	0,47	30,13	4,38	6,88	0,00	8,73
76	2	1	2	2	1	39,67	92,14	14,16	0,39	29,11	3,49	8,34	0,00	8,35
77	2	1	2	2	2	36,60	97,77	15,94	0,50	30,14	3,57	8,44	0,00	8,66
78	2	1	2	2	3	29,15	72,85	8,96	0,27	27,14	3,13	8,68	0,00	8,72
79	2	1	2	1	1	33,47	79,79	11,09	0,27	37,32	2,27	16,46	0,00	6,45
80	2	1	2	1	2	32,09	69,32	7,25	0,24	37,22	1,86	20,04	0,00	6,56
81	2	1	2	1	3	41,51	73,23	15,66	0,27	25,99	1,57	16,58	0,00	6,60
82	2	3	3	1	1	23,48	78,31	12,60	0,22	36,87	3,08	11,99	0,00	6,34
83	2	3	3	1	2	26,93	77,85	10,63	0,23	38,18	4,21	9,06	0,00	6,41
84	2	3	3	1	3	65,35	81,47	8,90	0,21	32,12	2,40	13,41	0,00	6,40
85	2	3	3	2	1	42,66	125,84	17,69	0,50	25,04	1,73	14,52	0,00	6,62
86	2	3	3	2	2	59,60	166,12	34,33	0,60	33,45	2,41	13,86	0,00	6,72
87	2	3	3	2	3	44,21	145,14	18,58	0,33	20,06	1,36	14,79	0,00	6,78
88	2	3	3	3	1	20,40	78,70	9,63	0,20	32,59	1,90	17,18	0,00	6,14
89	2	3	3	3	2	28,78	97,56	8,69	0,24	36,23	2,39	15,19	0,00	6,17
90	2	3	3	3	3	32,78	103,95	15,52	0,16	36,99	2,26	16,39	0,00	6,16
91	2	1	4	1	1	60,65	145,42	29,97	0,67	24,90	2,03	12,27	0,00	6,46
92	2	1	4	1	2	52,72	127,79	31,10	0,46	30,50	1,72	17,77	0,00	6,54
93	2	1	4	1	3	51,60	131,51	18,47	0,38	30,61	2,17	14,09	0,00	6,52
94	2	1	4	2	1	159,17	158,06	29,43	0,23	37,30	2,21	16,86	0,00	6,80
95	2	1	4	2	2	265,51	226,67	29,05	0,34	36,08	1,98	18,23	0,00	6,89
96	2	1	4	2	3	138,62	124,00	24,91	0,40	36,36	1,93	18,81	0,00	6,94
98	2	1	4	3	2	72,86	103,98	17,72	0,37	38,45	2,79	13,79	0,00	6,37

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino.

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	P (%)	C (%)	N (%)	C/N	S (mg/kg)	pH
99	2	1	4	3	3	104,06	123,27	20,36	0,35	34,46	3,46	9,97	0,00	6,34
100	2	2	3	1	1	62,28	118,38	183,83	0,50	32,79	3,38	9,70	0,00	6,55
101	2	2	3	1	2	51,87	100,51	29,04	0,46	34,50	3,33	10,36	0,00	6,65
102	2	2	3	1	3	70,90	96,47	173,14	0,36	34,98	3,04	11,52	0,00	6,59
103	2	2	3	2	1	55,05	191,47	24,17	0,48	27,52	2,05	13,45	0,00	6,22
104	2	2	3	2	2	66,93	194,76	25,00	0,55	31,85	3,20	9,94	0,00	6,27
105	2	2	3	2	3	53,98	149,44	18,19	0,45	31,84	4,01	7,95	0,00	6,28
106	2	2	3	3	1	50,10	131,95	18,64	0,39	31,59	3,69	8,55	0,00	6,86
107	2	2	3	3	2	51,28	67,69	9,01	0,14	31,68	3,57	8,87	0,00	6,97
108	2	2	3	3	3	37,58	108,23	9,68	0,21	34,46	4,00	8,61	0,00	7,02
109	2	2	1	3	1	210,05	143,56	14,00	0,82	43,08	2,20	19,62	0,00	9,60
110	2	2	1	3	2	104,21	99,57	9,29	0,76	42,62	2,22	19,18	0,00	9,70
111	2	2	1	3	3	150,33	119,39	100,32	0,74	42,39	2,21	19,19	0,00	9,73
112	2	2	1	2	1	35,31	96,68	11,59	0,43	41,52	1,78	23,28	0,00	9,62
113	2	2	1	2	2	30,09	103,63	8,83	0,46	43,22	2,08	20,75	0,00	9,61
114	2	2	1	2	3	26,29	87,49	8,83	0,45	42,86	1,87	22,95	0,00	9,63
115	2	2	1	1	1	33,00	99,40	12,56	0,37	40,56	1,85	21,88	0,00	8,55
116	2	2	1	1	2	25,14	65,33	9,15	0,37	37,98	2,03	18,75	0,00	8,57
117	2	2	1	1	3	31,74	83,36	36,12	0,32	40,53	1,88	21,60	0,00	8,58
118	2	3	1	3	1	147,94	261,80	12,64	0,48	44,63	1,76	25,40	0,00	9,07
119	2	3	1	3	2	176,53	300,69	13,78	0,51	47,18	2,11	22,34	0,00	9,11
120	2	3	1	3	3	142,85	260,37	11,22	0,42	45,96	2,52	18,27	0,00	9,13
122	2	3	1	2	2	40,26	122,92	9,79	0,49	26,60	3,67	7,25	0,00	9,39
123	2	3	1	2	3	46,39	98,10	35,82	0,47	27,61	3,96	6,97	0,00	9,40
124	2	3	1	1	1	25,96	55,90	6,39	0,46	36,98	3,04	12,15	0,00	8,58
125	2	3	1	1	2	28,98	58,85	5,38	0,43	30,95	3,53	8,76	0,00	8,67
126	2	3	1	1	3	27,02	57,96	7,47	0,46	40,23	3,16	12,72	0,00	8,69
127	3	1	2	1	1	59,93	192,81	24,82	0,50	24,15	1,57	15,38	0,00	6,68
128	3	1	2	1	2	63,55	162,72	23,52	0,44	22,38	1,44	15,53	0,00	6,74
129	3	1	2	1	3	60,76	161,37	40,87	0,41	29,85	2,10	14,21	0,00	6,87
130	3	1	2	1	1	21,53	50,18	8,66	0,23	27,22	2,04	13,35	0,00	6,08
131	3	1	2	1	2	36,71	75,20	9,13	0,16	37,44	2,49	15,05	0,00	6,13

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino.

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	P (%)	C (%)	N (%)	C/N	S (mg/kg)	pH
132	3	1	2	1	3	33,28	60,36	10,29	0,17	34,00	2,28	14,91	0,00	6,24
133	3	1	2	1	1	16,19	45,89	3,78	0,11	39,43	2,11	18,66	0,00	5,56
134	3	1	2	1	2	14,04	37,23	3,68	0,12	39,22	2,11	18,58	0,00	5,57
135	3	1	2	1	3	20,68	47,34	4,65	0,12	39,08	2,08	18,82	0,00	5,59
136	3	2	1	2	1	40,98	78,35	22,55	0,42	32,62	3,77	8,65	0,00	8,40
137	3	2	1	2	2	48,28	89,15	19,07	0,32	33,95	3,71	9,15	0,00	8,42
138	3	2	1	2	3	43,86	86,45	22,59	0,38	32,91	3,89	8,46	0,00	8,45
139	3	2	1	2	1	25,40	81,56	19,43	0,13	25,58	2,94	8,71	0,00	7,83
141	3	2	1	2	3	31,14	51,75	24,22	0,15	26,48	2,87	9,22	0,00	7,87
142	3	2	1	2	1	12,32	54,02	3,57	0,20	36,35	2,19	16,63	0,00	5,78
143	3	2	1	2	2	8,92	27,46	2,07	0,10	34,65	2,18	15,89	0,00	5,81
144	3	2	1	2	3	9,08	32,04	1,97	0,14	36,46	2,14	17,03	0,00	5,83
145	3	3	1	3	1	18,83	55,77	6,35	0,16	38,50	2,30	16,75	0,00	5,43
146	3	3	1	3	2	18,28	136,94	6,89	0,17	38,93	2,25	17,33	700,36	5,47
147	3	3	1	3	3	25,32	66,61	9,08	0,42	40,31	2,45	16,46	0,00	5,50
148	3	3	1	3	1	23,22	40,54	4,39	0,18	37,82	2,13	17,80	0,00	5,36
149	3	3	1	3	2	14,82	28,80	3,17	0,15	36,96	1,76	20,94	0,00	5,37
150	3	3	1	3	3	15,03	35,83	4,07	0,21	37,74	2,26	16,68	0,00	5,38
151	3	3	1	3	1	13,70	44,95	4,35	0,17	38,68	1,87	20,63	0,00	4,92
152	3	3	1	3	2	11,54	43,49	4,23	0,25	37,87	1,77	21,43	0,00	5,15
153	3	3	1	3	3	9,31	32,50	3,46	0,18	32,96	1,51	21,79	0,00	5,02
154	3	1	3	1	1	25,81	85,72	17,81	0,20	32,22	2,00	16,09	0,00	6,18
155	3	1	3	1	2	17,92	55,30	10,60	0,17	28,67	1,54	18,61	0,00	6,13
156	3	1	3	1	3	31,71	103,91	24,03	0,13	33,88	2,16	15,67	0,00	6,17
157	3	1	3	1	1	109,87	277,29	13,62	0,20	36,68	1,69	21,74	0,00	6,33
158	3	1	3	1	2	42,07	122,62	9,62	0,15	35,90	1,60	22,45	0,00	6,28
159	3	1	3	1	3	164,30	151,20	21,28	0,18	37,34	1,99	18,79	0,00	6,35
160	3	1	3	1	1	23,92	76,50	6,42	0,10	34,07	2,25	15,13	0,00	6,49
161	3	1	3	1	2	35,43	121,07	9,03	0,17	36,53	2,78	13,15	0,00	6,51
162	3	1	3	1	3	72,40	122,88	24,17	0,33	35,96	2,60	13,85	0,00	6,54
163	3	2	2	2	1	71,01	185,19	9,56	0,18	36,53	2,37	15,39	0,00	6,40
164	3	2	2	2	2	65,34	202,60	9,64	0,18	35,30	2,43	14,52	0,00	6,43

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino.

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	P (%)	C (%)	N (%)	C/N	S (mg/kg)	pH
165	3	2	2	2	3	31,89	91,68	9,60	0,19	36,06	2,66	13,58	0,00	6,41
166	3	2	2	2	1	63,32	148,35	12,84	0,35	35,52	2,44	14,55	0,00	6,17
167	3	2	2	2	2	65,77	307,93	9,49	0,23	35,42	2,29	15,46	0,00	6,19
168	3	2	2	2	3	40,72	113,54	10,05	0,21	37,49	2,68	13,99	0,00	6,18
169	3	2	2	2	1	32,30	77,77	7,20	0,14	37,11	2,27	16,36	0,00	6,30
170	3	2	2	2	2	30,63	65,22	4,97	0,18	37,56	2,32	16,19	0,00	6,37
171	3	2	2	2	3	29,97	69,71	7,75	0,12	36,19	2,66	13,62	0,00	6,39
172	3	3	2	3	1	56,30	79,06	7,51	0,12	34,88	2,41	14,47	0,00	6,71
173	3	3	2	3	2	45,64	83,07	6,62	0,11	34,13	2,49	13,72	0,00	6,76
174	3	3	2	3	3	50,98	79,54	6,41	0,12	32,96	2,22	14,84	0,00	6,73
175	3	3	2	3	1	84,75	103,51	17,37	0,31	22,43	1,40	15,97	0,00	6,00
176	3	3	2	3	2	48,81	69,83	7,51	0,23	37,14	3,01	12,35	0,00	6,02
177	3	3	2	3	3	113,99	132,12	10,77	0,28	39,29	2,45	16,06	0,00	6,01
178	3	3	2	3	1	58,03	107,55	14,10	0,25	37,42	1,86	20,13	0,00	6,33
179	3	3	2	3	2	38,36	104,44	9,47	0,23	38,22	1,95	19,64	0,00	6,38
180	3	3	2	3	3	40,21	85,89	12,94	0,19	38,85	2,00	19,46	0,00	6,40
181	1	1	5	1	1	43,62	135,70	43,16	0,38	37,69	2,17	17,38	0,00	6,52
182	1	1	5	1	2	51,21	148,30	49,05	0,38	38,16	1,37	27,81	0,00	6,56
183	1	1	5	1	3	54,13	147,98	37,60	0,47	38,00	1,89	20,14	0,00	6,58
184	1	1	5	2	1	26,13	92,15	8,76	0,35	36,39	1,89	19,23	0,00	6,29
185	1	1	5	2	2	34,20	114,69	14,47	0,33	33,62	1,73	19,42	0,00	6,32
186	1	1	5	2	3	33,16	107,96	13,90	0,48	24,47	1,48	16,50	0,00	6,37
187	1	1	5	3	1	29,65	149,89	12,10	0,27	29,02	1,92	15,09	0,00	6,37
188	1	1	5	3	2	40,58	136,71	14,92	0,35	25,26	1,70	14,82	0,00	6,39
189	1	1	5	3	3	40,08	144,09	14,53	0,35	23,20	1,49	15,53	0,00	6,42
190	1	2	4	1	1	40,92	100,49	13,08	0,32	33,90	2,42	13,99	0,00	6,60
191	1	2	4	1	2	40,62	112,85	11,36	0,30	28,53	2,19	13,01	0,00	6,58
192	1	2	4	1	3	57,72	113,16	14,02	0,28	38,21	4,19	9,13	0,00	6,60
193	1	2	4	2	1	49,09	119,90	91,26	0,26	18,78	1,06	17,67	0,00	6,58
194	1	2	4	2	2	34,04	121,55	23,01	0,30	22,00	1,33	16,57	0,00	6,62
195	1	2	4	2	3	32,89	67,07	8,77	0,17	34,81	2,21	15,78	0,00	6,64
196	1	2	4	3	1	29,30	97,52	9,77	0,34	38,88	1,83	21,27	0,00	6,45

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino.

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	P (%)	C (%)	N (%)	C/N	S (mg/kg)	pH
197	1	2	4	3	2	31,79	101,67	11,01	0,41	34,60	1,68	20,59	0,00	6,47
198	1	2	4	3	3	31,04	106,05	9,12	0,31	19,53	1,35	14,47	0,00	6,49
199	1	1	3	1	1	19,23	81,18	8,90	0,48	25,60	2,06	12,45	0,00	6,06
200	1	1	3	1	2	16,05	62,66	6,92	0,41	27,66	2,07	13,38	0,00	6,05
201	1	1	3	1	3	22,80	83,24	8,47	0,42	28,36	2,08	13,61	0,00	6,03
202	1	1	3	2	1	18,06	68,46	7,75	0,23	31,37	1,76	17,82	0,00	5,74
203	1	1	3	2	2	16,70	88,96	5,30	0,22	36,81	2,02	18,19	0,00	5,72
204	1	1	3	2	3	22,25	98,43	7,50	0,26	34,67	2,19	15,81	0,00	5,71
205	1	1	3	3	1	30,03	181,04	19,51	0,22	33,82	1,90	17,84	0,00	5,83
206	1	1	3	3	2	20,56	72,37	10,85	0,25	27,82	1,52	18,32	0,00	5,90
207	1	1	3	3	3	15,38	70,52	7,57	0,19	34,22	2,29	14,92	0,00	5,92
208	1	1	3	1	1	14,47	68,63	3,46	0,19	37,44	3,03	12,37	0,00	5,33
209	1	1	3	1	2	13,28	49,56	5,43	0,22	40,80	3,16	12,91	0,00	5,32
210	1	1	3	1	3	10,71	50,73	3,61	0,22	40,04	4,31	9,28	0,00	5,28
211	1	1	3	2	1	19,39	68,76	8,56	0,36	35,41	2,75	12,88	0,00	5,84
212	1	1	3	2	2	14,53	81,94	21,59	0,33	34,75	2,41	14,42	0,00	5,78
213	1	1	3	2	3	14,99	68,79	11,51	0,25	34,52	2,53	13,65	0,00	5,76
214	1	1	3	3	1	15,45	82,60	9,77	0,43	30,74	2,67	11,50	0,00	6,37
215	1	1	3	3	2	28,82	130,39	7,09	0,43	28,70	2,56	11,21	0,00	6,40
216	1	1	3	3	3	30,92	129,93	5,41	0,44	30,52	2,79	10,95	0,00	6,42
217	1	2	2	1	1	14,28	30,41	6,30	0,19	32,79	2,72	12,06	0,00	6,23
218	1	2	2	1	2	15,86	41,71	7,29	0,25	27,46	2,51	10,95	0,00	6,17
219	1	2	2	1	3	12,61	48,75	6,57	0,21	26,91	2,35	11,46	0,00	6,16
220	1	2	2	2	1	7,90	23,24	2,70	0,14	38,31	2,47	15,49	0,00	5,84
222	1	2	2	2	3	8,86	21,99	3,55	0,15	38,58	2,66	14,49	387,39	5,78
223	1	2	2	3	1	8,40	24,08	4,60	0,18	36,74	2,72	13,49	0,00	5,68
224	1	2	2	3	2	10,85	26,65	2,21	0,19	39,11	2,54	15,39	0,00	5,70
225	1	2	2	3	3	22,87	115,70	5,80	0,18	38,77	2,78	13,96	0,00	5,70
226	1	2	2	1	1	19,16	88,65	18,31	0,21	19,89	1,91	10,40	0,00	6,40
227	1	2	2	1	2	17,67	45,08	7,79	0,15	22,40	2,26	9,92	0,00	6,41
228	1	2	2	1	3	13,80	52,51	7,02	0,14	17,82	1,93	9,23	0,00	6,38
229	1	2	2	2	1	13,48	51,80	7,70	0,23	28,15	1,68	16,72	2942,56	6,13

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino.

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	P (%)	C (%)	N (%)	C/N	S (mg/kg)	pH
230	1	2	2	2	2	17,46	77,10	11,43	0,24	31,44	2,57	12,21	984,76	6,13
231	1	2	2	2	3	13,81	59,40	6,40	0,30	37,16	2,99	12,43	1189,50	6,12
232	1	2	2	3	1	14,59	147,53	7,11	0,29	18,07	1,19	15,20	418,25	5,97
233	1	2	2	3	2	12,60	124,09	8,95	0,24	34,35	1,55	22,14	1985,26	5,95
234	1	2	2	3	3	8,44	26,62	3,35	0,22	36,96	2,61	14,17	663,54	5,96
235	1	3	1	1	1	7,90	25,18	2,50	0,15	39,24	1,85	21,20	0,00	5,50
236	1	3	1	1	2	8,99	27,79	2,52	0,14	39,64	1,83	21,63	0,00	5,53
237	1	3	1	1	3	8,29	29,42	1,63	0,13	39,43	1,89	20,85	0,00	5,59
238	1	3	1	2	1	14,78	44,38	4,38	0,19	25,16	1,68	15,01	153,30	5,61
239	1	3	1	2	2	12,48	70,72	4,02	0,20	25,63	1,55	16,50	655,17	5,78
240	1	3	1	2	3	13,57	52,29	4,01	0,17	25,72	1,51	17,06	0,00	5,86
242	1	3	1	3	2	7,23	18,02	2,07	0,14	39,04	1,87	20,86	153,00	5,08
243	1	3	1	3	3	7,45	18,87	2,81	0,12	39,89	1,40	28,50	0,00	5,10
244	1	3	1	1	1	10,72	30,08	2,22	0,16	38,18	1,99	19,14	0,00	5,69
245	1	3	1	1	2	8,50	29,24	2,94	0,15	38,52	1,87	20,64	0,00	5,75
246	1	3	1	1	3	22,00	30,65	2,52	0,16	42,76	4,73	9,04	0,00	5,79
247	1	3	1	2	1	6,92	22,51	1,44	0,13	41,83	1,74	23,99	0,00	5,39
248	1	3	1	2	2	7,22	18,63	0,90	0,11	41,98	1,77	23,78	0,00	5,40
249	1	3	1	2	3	7,94	20,72	1,26	0,11	42,49	1,81	23,47	0,00	5,42
250	1	3	1	3	1	6,26	19,30	0,90	0,13	39,55	2,09	18,96	0,00	5,13
251	1	3	1	3	2	7,90	21,85	1,19	0,12	39,71	2,23	17,79	0,00	5,12
252	1	3	1	3	3	6,36	21,19	1,17	0,11	39,69	2,11	18,77	0,00	5,16
253	2	1	3	1	1	44,71	112,64	9,63	0,14	15,84	1,91	8,29	70,00	7,65
254	2	1	3	1	2	75,32	132,43	14,49	0,12	34,99	2,88	12,13	157,00	7,71
255	2	1	3	1	3	52,67	149,80	11,65	0,16	19,61	1,27	15,40	46,00	7,70
256	2	1	3	2	1	40,70	86,79	8,99	0,22	31,97	1,97	16,19	0,00	6,34
257	2	1	3	2	2	47,62	85,68	11,21	0,28	32,91	1,61	20,45	0,00	6,44
258	2	1	3	2	3	39,01	100,27	14,53	0,32	31,15	2,17	14,36	134,00	6,48
259	2	1	3	3	1	49,13	87,15	11,77	0,23	19,95	1,52	13,10	0,00	7,36
260	2	1	3	3	2	28,71	75,36	7,18	0,19	17,30	1,32	13,13	0,00	7,28
261	2	1	3	3	3	33,84	88,91	6,38	0,27	22,88	1,62	14,08	0,00	7,29
262	2	2	2	1	1	38,22	109,31	9,08	0,18	18,83	1,06	17,68	0,00	8,26

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino.

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	P (%)	C (%)	N (%)	C/N	S (mg/kg)	pH
263	2	2	2	1	2	51,76	108,11	11,32	0,21	34,32	2,16	15,90	0,00	8,24
264	2	2	2	1	3	38,85	129,78	9,19	0,22	21,00	2,12	9,91	0,00	8,27
265	2	2	2	2	1	28,36	78,01	5,25	0,26	23,06	1,73	13,32	237,78	7,01
266	2	2	2	2	2	32,11	80,26	7,30	0,35	24,64	1,72	14,30	0,00	7,02
267	2	2	2	2	3	24,79	82,44	5,62	0,28	29,93	2,12	14,14	0,00	7,00
268	2	2	2	3	1	37,83	113,80	15,31	0,27	23,83	1,77	13,47	0,00	8,41
269	2	2	2	3	2	30,89	113,29	16,23	0,22	17,25	1,60	10,77	0,00	8,40
270	2	2	2	3	3	40,30	127,14	29,64	0,34	31,14	2,37	13,17	0,00	8,37
271	2	3	2	1	1	56,22	199,34	15,21	0,43	24,98	2,39	10,44	0,00	9,36
272	2	3	2	1	2	48,73	169,23	13,59	0,49	29,34	2,78	10,54	0,00	9,39
273	2	3	2	1	3	49,95	164,14	12,93	0,46	26,34	2,36	11,14	0,00	9,41
274	2	3	2	2	1	36,58	113,00	11,92	0,41	23,21	2,44	9,49	0,00	8,96
275	2	3	2	2	2	40,22	139,48	13,58	0,63	24,28	2,28	10,65	0,00	8,98
276	2	3	2	2	3	40,69	589,37	20,74	0,54	15,96	1,54	10,34	0,00	9,02
277	2	3	2	3	1	40,20	130,42	9,47	0,34	29,18	2,44	11,94	853,61	9,05
278	2	3	2	3	2	39,37	116,46	18,81	0,45	29,22	2,50	11,70	166,92	9,04
279	2	3	2	3	3	38,85	89,89	9,69	0,32	27,84	2,42	11,51	0,00	9,08
280	1	3	3	1	1	18,14	53,32	7,25	0,16	26,07	3,10	8,41	316,32	6,42
281	1	3	3	1	2	15,53	43,16	6,48	0,21	27,11	1,63	16,66	0,00	6,41
282	1	3	3	1	3	16,06	56,29	9,77	0,34	32,48	2,07	15,69	0,00	6,37
283	1	3	3	2	1	26,11	88,85	10,35	0,41	34,17	2,08	16,39	0,00	6,40
284	1	3	3	2	2	22,63	90,64	10,17	0,34	32,43	2,11	15,39	0,00	6,39
285	1	3	3	2	3	33,32	90,75	9,19	0,35	28,51	1,76	16,23	0,00	6,41
286	1	3	3	3	1	42,82	80,87	17,51	0,34	29,50	1,92	15,39	0,00	6,74
287	1	3	3	3	2	63,20	101,95	15,14	0,39	38,35	2,29	16,71	0,00	6,76
288	1	3	3	3	3	74,33	83,19	14,95	0,33	33,24	1,89	17,58	0,00	6,78
289	2	1	5	1	1	65,19	177,86	28,57	0,40	31,43	2,75	11,44	0,00	8,12
290	2	1	5	1	2	81,25	134,66	14,38	0,43	29,21	2,27	12,87	0,00	8,36
291	2	1	5	1	3	101,10	169,30	17,21	0,65	28,06	2,36	11,90	0,00	8,22
292	2	1	5	2	1	49,13	125,42	16,80	0,47	31,59	2,83	11,17	0,00	8,36
293	2	1	5	2	2	36,84	97,95	11,98	0,40	32,61	2,67	12,21	0,00	8,31
294	2	1	5	2	3	49,86	132,18	18,89	0,38	30,86	2,49	12,42	0,00	8,33

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino.

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	P (%)	C (%)	N (%)	C/N	S (mg/kg)	pH
295	2	1	5	3	1	70,30	197,96	18,00	0,43	19,49	1,75	11,11	0,00	8,24
296	2	1	5	3	2	38,85	95,54	11,05	0,35	25,76	2,28	11,31	0,00	8,26
297	2	1	5	3	3	31,00	88,69	8,87	0,23	30,44	2,59	11,74	0,00	8,21
298	2	2	4	1	1	54,47	168,45	29,82	0,35	24,78	3,42	7,24	0,00	8,29
299	2	2	4	1	2	46,89	154,33	16,24	0,23	28,91	3,99	7,24	0,00	8,28
300	2	2	4	1	3	73,95	128,81	17,93	0,30	29,38	4,09	7,18	0,00	8,29
301	2	2	4	2	1	61,31	131,07	21,95	0,36	28,05	3,68	7,61	454,97	7,72
302	2	2	4	2	2	73,10	142,72	26,31	0,39	30,55	3,88	7,87	193,74	7,71
303	2	2	4	2	3	79,23	158,37	32,63	0,37	25,96	3,02	8,59	0,00	7,74
304	2	2	4	3	1	93,69	171,05	20,24	0,29	26,20	3,11	8,42	341,94	8,08
305	2	2	4	3	2	51,80	128,19	17,78	0,38	28,40	3,65	7,77	155,29	8,10
306	2	2	4	3	3	59,54	172,69	22,55	0,34	26,84	3,01	8,93	997,98	8,08
307	2	3	4	1	1	38,63	120,10	25,17	0,43	22,18	2,11	10,49	391,14	8,08
308	2	3	4	1	2	32,64	88,91	26,43	0,37	42,52	3,46	12,29	0,00	8,20
309	2	3	4	1	3	31,90	100,24	11,00	0,59	29,61	4,21	7,03	344,86	8,22
310	2	3	4	2	1	25,28	87,51	45,61	0,21	26,21	1,62	16,13	130,18	8,07
311	2	3	4	2	2	28,16	68,37	12,49	0,17	29,43	2,15	13,70	0,00	8,08
312	2	3	4	2	3	29,51	54,25	16,70	0,18	30,96	2,16	14,33	0,00	8,07
313	2	3	4	3	1	32,18	110,61	18,38	0,39	29,71	2,24	13,24	151,81	7,37
314	2	3	4	3	2	31,70	103,44	15,28	0,42	35,82	1,68	21,37	0,00	7,34
315	2	3	4	3	3	29,23	88,56	18,60	0,43	23,97	1,19	20,09	0,00	7,36
316	1	1	4	1	1	31,20	85,65	10,97	0,51	31,50	2,27	13,88	0,00	6,58
317	1	1	4	1	2	21,82	83,87	11,61	0,38	28,00	2,10	13,32	301,49	6,58
318	1	1	4	1	3	19,42	77,45	15,29	0,33	31,73	2,51	12,65	126,50	6,57
319	1	1	4	2	1	91,56	168,53	31,72	0,46	29,83	1,46	20,44	126,25	6,57
320	1	1	4	2	2	25,60	100,05	16,23	0,27	30,90	2,13	14,52	277,82	6,58
321	1	1	4	2	3	65,11	174,92	17,66	0,42	37,10	1,93	19,18	177,16	6,58
322	1	1	4	3	1	48,41	188,15	16,11	0,29	29,01	1,68	17,24	584,31	6,60
323	1	1	4	3	2	61,22	181,34	9,55	0,30	39,30	2,10	18,73	536,39	6,60
324	1	1	4	3	3	40,94	174,76	9,55	0,26	19,04	1,28	14,91	197,78	6,59
325	1	2	3	1	1	38,06	131,35	13,00	0,43	32,62	1,97	16,52	304,63	6,43
326	1	2	3	1	2	31,60	118,55	13,04	0,35	30,97	1,78	17,36	0,00	6,45

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino.

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	P (%)	C (%)	N (%)	C/N	S (mg/kg)	pH
327	1	2	3	1	3	33,09	141,59	11,10	0,42	31,95	2,15	14,84	285,14	6,46
328	1	2	3	2	1	60,12	108,49	11,06	0,43	21,21	1,09	19,43	0,00	6,55
329	1	2	3	2	2	38,83	87,44	9,93	0,72	31,15	2,82	11,06	0,00	6,55
330	1	2	3	2	3	40,66	79,96	14,86	0,28	28,45	1,99	14,27	0,00	6,54
331	1	2	3	3	1	36,37	112,89	18,57	0,38	27,60	1,59	17,34	0,00	6,37
332	1	2	3	3	2	108,34	78,92	10,27	0,23	34,31	2,37	14,49	0,00	6,38
333	1	2	3	3	3	46,06	138,09	45,20	0,35	26,30	1,72	15,33	0,00	6,38
334	1	3	2	1	1	63,31	125,09	13,74	0,37	29,74	2,10	14,17	0,00	6,35
335	1	3	2	1	2	62,69	129,67	13,62	0,39	34,44	2,65	13,02	0,00	6,34
336	1	3	2	1	3	29,25	79,56	11,87	0,54	27,41	2,11	12,97	0,00	6,36
337	1	3	2	2	1	51,06	117,56	12,00	0,33	25,32	1,17	21,66	484,80	6,33
338	1	3	2	2	2	28,21	97,04	8,48	0,60	31,00	1,94	15,94	353,67	6,34
339	1	3	2	2	3	28,23	88,10	9,74	0,48	29,06	2,26	12,89	579,95	6,36
340	1	3	2	3	1	35,17	86,66	11,42	0,27	25,80	1,74	14,84	0,00	6,61
341	1	3	2	3	2	46,40	94,55	11,74	0,39	30,87	2,27	13,61	0,00	6,62
342	1	3	2	3	3	34,71	87,50	16,52	0,57	24,81	1,55	15,97	0,00	6,63
343	3	1	4	1	1	53,55	172,25	18,08	0,36	35,85	4,57	7,85	499,51	6,60
344	3	1	4	1	2	67,04	204,09	22,75	0,71	29,67	2,55	11,64	134,84	6,61
345	3	1	4	1	3	56,03	131,59	32,04	0,31	39,04	2,27	17,19	0,00	6,61
346	3	1	4	2	1	50,81	164,97	18,09	0,36	35,79	2,90	12,33	0,00	6,66
347	3	1	4	2	2	70,66	147,92	30,13	0,44	35,78	2,11	16,95	0,00	6,66
348	3	1	4	2	3	60,79	156,46	23,26	0,40	35,47	2,04	17,42	0,00	6,67
349	3	1	4	3	1	54,77	167,74	18,17	0,31	33,78	2,19	15,44	0,00	6,69
350	3	1	4	3	2	52,83	177,68	18,83	0,43	28,21	2,27	12,44	0,00	6,71
351	3	1	4	3	3	70,24	152,29	19,36	0,45	32,23	2,23	14,46	0,00	6,72
352	1	1	6	1	1	39,03	95,12	18,33	0,41	33,50	2,66	12,60	272,86	7,16
353	1	1	6	1	2	35,93	96,31	16,60	0,35	33,22	1,98	16,82	12143,65	7,20
354	1	1	6	1	3	46,49	106,48	18,24	0,42	33,11	2,19	15,14	0,00	7,21
355	1	1	6	2	1	30,39	145,17	22,84	0,41	26,61	1,17	22,72	0,00	6,92
356	1	1	6	2	2	56,38	131,47	29,92	0,37	27,33	1,61	16,97	0,00	6,89
357	1	1	6	2	3	49,18	110,36	16,66	0,43	29,55	2,29	12,90	0,00	6,90
358	1	1	6	3	1	4784,20	109,63	18,71	0,35	25,90	1,81	14,29	0,00	6,96

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino.

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	P (%)	C (%)	N (%)	C/N	S (mg/kg)	pH
359	1	1	6	3	2	399,19	69,56	13,64	0,21	27,65	1,94	14,26	0,00	6,98
360	1	1	6	3	3	1182,38	83,04	13,82	0,32	23,14	1,77	13,10	0,00	6,99
361	1	2	5	1	1	48,17	106,23	16,16	0,39	27,45	1,83	15,03	918,08	6,96
362	1	2	5	1	2	37,97	101,87	17,09	0,36	30,23	1,55	19,53	0,00	6,96
363	1	2	5	1	3	24,11	68,30	8,35	0,21	33,02	1,94	17,05	149,64	6,95
364	1	2	5	2	1	55,88	144,21	16,75	0,44	27,06	1,52	17,80	695,58	6,78
365	1	2	5	2	2	50,12	130,14	15,22	0,46	25,66	1,80	14,27	709,64	6,75
366	1	2	5	2	3	55,40	140,51	15,66	0,54	28,37	1,91	14,88	658,79	6,75
367	1	2	5	3	1	21,72	94,74	7,89	0,23	27,51	2,30	11,95	740,16	6,85
368	1	2	5	3	2	20,74	144,56	8,64	0,34	28,28	1,93	14,69	0,00	6,83
369	1	2	5	3	3	26,84	112,26	11,38	0,39	30,34	2,16	14,06	149,73	6,84
370	1	3	4	1	1	32,56	90,56	8,57	0,44	26,06	1,75	14,90	758,55	6,96
371	1	3	4	1	2	23,00	65,40	6,91	0,26	33,89	2,01	16,86	1059,93	6,99
372	1	3	4	1	3	37,73	101,08	12,37	0,41	30,25	2,03	14,90	636,68	7,00
373	1	3	4	2	1	141,87	163,73	10,74	0,40	31,02	2,14	14,52	1350,22	6,68
374	1	3	4	2	2	144,82	167,63	11,07	0,33	30,61	2,17	14,13	665,73	6,67
375	1	3	4	2	3	127,75	146,14	9,72	0,31	24,14	1,83	13,22	279,54	6,66
376	1	3	4	3	1	127,57	152,62	9,79	0,34	29,89	2,00	14,92	0,00	6,87
377	1	3	4	3	2	0,02	0,02	0,00	0,32	33,08	2,23	14,84	92,35	6,91
378	1	3	4	3	3	0,01	0,01	0,00	0,15	32,15	1,91	16,84	0,00	6,93
379	3	2	3	1	1	0,03	0,03	0,01	0,42	35,94	4,01	8,96	0,00	6,54
380	3	2	3	1	2	0,01	0,01	0,00	0,34	33,56	2,19	15,31	118,26	6,51
359	1	1	6	3	2	399,19	69,56	13,64	0,21	27,65	1,94	14,26	0,00	6,98
360	1	1	6	3	3	1182,38	83,04	13,82	0,32	23,14	1,77	13,10	0,00	6,99
361	1	2	5	1	1	48,17	106,23	16,16	0,39	27,45	1,83	15,03	918,08	6,96
362	1	2	5	1	2	37,97	101,87	17,09	0,36	30,23	1,55	19,53	0,00	6,96
363	1	2	5	1	3	24,11	68,30	8,35	0,21	33,02	1,94	17,05	149,64	6,95
364	1	2	5	2	1	55,88	144,21	16,75	0,44	27,06	1,52	17,80	695,58	6,78
365	1	2	5	2	2	50,12	130,14	15,22	0,46	25,66	1,80	14,27	709,64	6,75
366	1	2	5	2	3	55,40	140,51	15,66	0,54	28,37	1,91	14,88	658,79	6,75
367	1	2	5	3	1	21,72	94,74	7,89	0,23	27,51	2,30	11,95	740,16	6,85
368	1	2	5	3	2	20,74	144,56	8,64	0,34	28,28	1,93	14,69	0,00	6,83

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino.

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	P (%)	C (%)	N (%)	C/N	S (mg/kg)	pH
381	3	2	3	1	3	89,15	171,91	10,89	0,33	33,98	2,32	14,66	0,00	6,52
382	3	2	3	2	1	39,74	1317,88	1,97	0,19	36,81	2,14	17,17	0,00	6,34
383	3	2	3	2	2	42,38	1609,62	2,27	0,18	32,14	1,73	18,53	0,00	6,33
384	3	2	3	2	3	35,30	2752,88	10,29	0,26	37,54	2,15	17,47	0,00	6,34
385	3	2	3	3	1	33,19	102,82	2,65	0,19	37,31	2,77	13,45	0,00	6,64
386	3	2	3	3	2	31,60	101,04	2,02	0,17	35,09	2,02	17,37	0,00	6,66
387	3	2	3	3	3	31,71	128,45	1,90	0,23	37,28	2,72	13,70	0,00	6,69
388	3	3	3	1	1	69,34	146,24	3,79	0,45	31,88	2,62	12,18	0,00	6,75
389	3	3	3	1	2	46,16	137,17	11,78	0,59	29,32	2,17	13,49	0,00	6,76
390	3	3	3	1	3	103,57	128,67	3,67	0,59	29,61	1,64	18,06	0,00	6,77
391	3	3	3	2	1	38,71	105,16	3,74	0,28	38,15	2,69	14,19	0,00	6,82
392	3	3	3	2	2	25,26	79,31	1,97	0,22	37,90	2,42	15,65	0,00	6,73
393	3	3	3	2	3	67,54	119,85	4,71	0,40	34,78	2,17	16,00	0,00	6,72
394	3	3	3	3	1	39,60	112,42	2,98	0,25	36,49	3,02	12,07	131,81	6,54
395	3	3	3	3	2	40,17	146,09	2,78	0,29	35,86	2,82	12,73	129,92	6,50
396	3	3	3	3	3	35,62	108,09	2,79	0,30	32,93	3,05	10,79	363,53	6,49
397*	2	1	6	-	1	140,68	602,02	7,25	0,64	27,02	2,45	11,01	955,31	7,78
398*	2	1	6	-	2	170,29	379,56	8,16	0,50	27,11	2,22	12,23	174,07	7,74
399*	2	1	6	-	3	169,41	368,80	9,29	0,56	29,62	2,70	10,96	912,44	7,76
400*	2	2	5	-	1	138,52	398,11	9,89	0,60	31,58	2,38	13,29	600,88	8,21
401*	2	2	5	-	2	160,00	328,53	9,25	0,56	25,74	2,67	9,63	552,54	8,22
402*	2	2	5	-	3	150,78	335,35	10,65	0,57	24,08	2,49	9,68	323,57	8,27
403*	2	3	5	-	1	119,45	314,44	8,41	0,59	30,14	2,76	10,93	497,14	8,00
404*	2	3	5	-	2	113,99	315,00	8,64	0,65	27,94	2,85	9,81	354,39	7,94
405*	2	3	5	-	3	118,94	263,03	7,97	0,56	27,23	2,64	10,32	206,77	7,98
406*	1	1	7	-	1	117,41	341,32	20,83	0,58	21,16	2,82	7,52	356,39	8,88
407*	1	1	7	-	2	114,95	302,82	8,39	0,56	22,73	3,01	7,55	414,01	8,86
408*	1	1	7	-	3	110,73	300,34	9,31	0,54	23,59	3,28	7,19	280,63	8,85
409*	1	2	6	-	1	104,54	338,03	8,04	0,52	21,95	2,76	7,95	1514,88	8,83
410*	1	2	6	-	2	145,75	306,46	11,69	0,56	23,40	2,98	7,86	319,13	8,81
411*	1	2	6	-	3	115,74	298,46	9,68	0,60	20,71	2,67	7,75	356,09	8,82
412*	1	3	5	-	1	127,06	393,23	10,66	0,58	22,23	2,71	8,20	410,10	8,90

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino.

Tabla 73. (cont.) Resultados analíticos de las muestras de compost.

Referencia	Época	Pila	Toma de muestra	Lugar muestra	Repetición	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	P (%)	C (%)	N (%)	C/N	S (mg/kg)	pH
413*	1	3	5	-	2	117,42	360,49	10,10	0,61	22,69	2,79	8,12	191,18	8,86
414*	1	3	5	-	3	98,97	493,86	9,60	0,58	22,29	2,96	7,53	5079,59	8,84
415*	3	1	5	-	1	145,04	366,62	14,34	0,52	27,77	2,27	12,21	215,41	7,72
416*	3	1	5	-	2	226,61	501,33	10,19	0,41	29,40	2,43	12,09	1056,16	7,68
417*	3	1	5	-	3	100,79	652,81	9,03	0,47	26,91	2,24	12,04	859,85	7,68
418*	3	2	4	-	1	220,96	468,25	10,84	0,44	27,17	2,57	10,57	4588,75	8,58
419*	3	2	4	-	2	63,58	387,06	6,12	0,44	19,29	1,71	11,25	0,00	8,58
420*	3	2	4	-	3	80,23	607,07	17,38	0,51	29,43	3,23	9,12	943,01	8,59
421*	3	3	4	-	1	63,65	275,42	15,57	0,43	20,96	1,90	11,05	0,00	8,39
422*	3	3	4	-	2	77,93	272,74	8,31	0,49	25,23	2,20	11,46	773,20	8,46
423*	3	3	4	-	3	80,74	349,77	8,48	0,49	23,44	2,21	10,63	311,65	8,47

Lugar de la muestra -> 1: Izquierda; 2: Centro; 3: Derecha, *: Afino.