

ESTUDIO DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE BIORRESIDUOS EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ARAGÓN

14 de diciembre de 2021



Equipo técnico y redactor:

Ramón Plana

Belén Puyuelo



Ramón Plana

www.maestrocompostador.com

CONTENIDOS

Índice de contenidos

1.	ANTECEDENTES	6
1.1	Breve contexto histórico a los sistemas de compostaje	6
2.	DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE COMPOSTAJE	8
2.1	Modelos de compostaje doméstico y/o comunitario	11
2.2	Sistemas de compostaje electromecánicos	13
2.3	Sistemas de compostaje en pilas	14
2.4	Compostaje en mesetas	18
2.5	Compostaje en trincheras	20
2.6	Compostaje en silos aireados (sistema estático)	22
2.7	Sistema de tambores rotatorios	22
2.8	Silos verticales	23
2.9	Compotúneles/contenedores (sistemas estáticos y cerrados / reactores de compostaje) .	24
2.10	Túneles	25
2.11	Otros sistemas con aplicaciones más limitadas	28
3.	ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LAS TECNOLOGÍAS	31
4.	REFERENCIAS	34

ANEXO 1. BASE DE DATOS COM LAS FICHAS DESCRIPTIVAS DE LAS TECNOLOGÍAS (FORMATO DIGITAL)

01 El proceso de compostaje

EL PROCESO DE COMPOSTAJE

Definición del proceso de compostaje

“Proceso de descomposición y estabilización **biológica** de substratos orgánicos, bajo condiciones **aerobias** que permiten el desarrollo de temperaturas **termófilas** como resultado del calor producido biológicamente, de la que se obtiene un **producto final** lo suficientemente estable, libre de patógenos y semillas, para su almacenamiento y que puede ser aplicado de forma beneficiosa al suelo”

Haug (1993)

¿Qué residuos orgánicos?

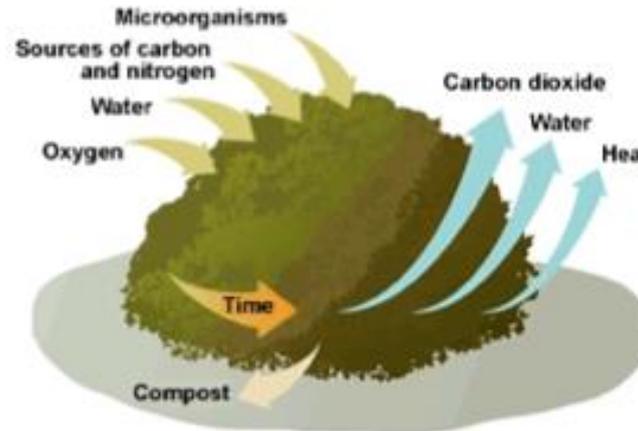
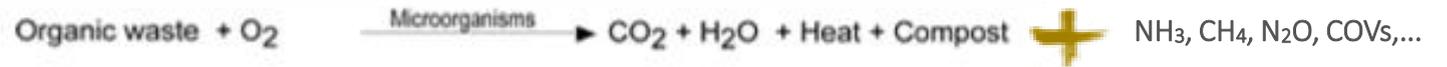
Vegetales: agrícolas, forestales, parques, jardines...

Deyecciones animales: ganaderos

Lodos EDAR

Industria agroalimentaria

Restos de alimentos y de comida



EL PROCESO DE COMPOSTAJE

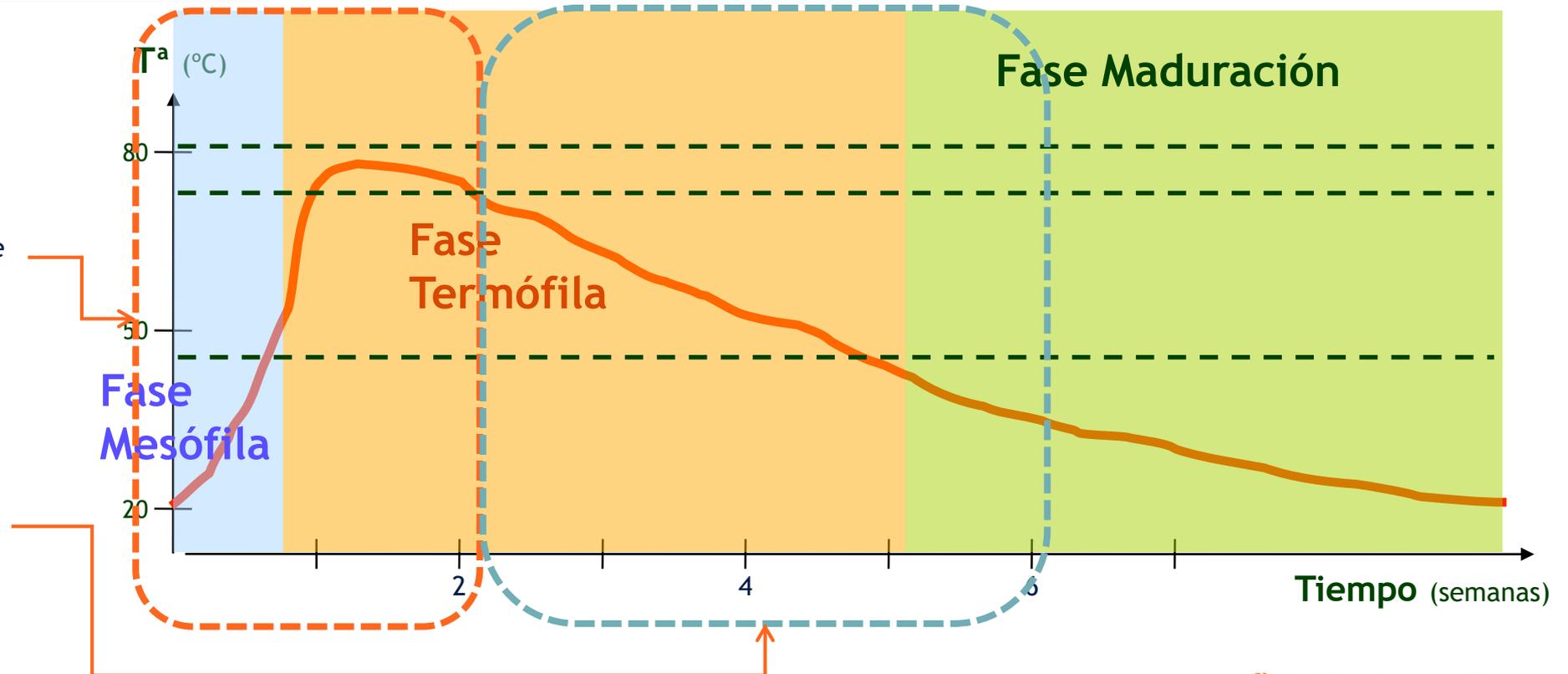
La temperatura

La temperatura define las tres fases del proceso:

- Mesófila: temperatura ambiente hasta 45 °C.
- Termófila: > 45 °C (no debiendo exceder los 70 °C).
- Maduración: < 45 °C y hasta que se considere completado el proceso.

A nivel de aplicación industrial del proceso estas tres fases se suelen simplificar en dos:

1. Fase de fermentación, que engloba la mesófila y los momentos de máxima temperatura de la termófila.
2. Fase de maduración, que engloba el resto de la termófila y, dependiendo del tiempo de proceso establecido, parte de la fase de maduración real.



EL PROCESO DE COMPOSTAJE

La cantidad disponible y sus características son determinantes en el diseño y dimensionamiento de cualquier tipo de instalación de compostaje.

Disponer de la cantidad adecuada permite poder simplificar el diseño (si se cumplen otros requisitos).

Reducir la proporción de material estructurante en la mezcla supone la necesidad de introducir elementos en la instalación que suplan las carencias que se van a generar durante el proceso.

El material estructurante/complementario

Es un elemento fundamental en el proceso:

- Aporta porosidad a la matriz sólida para permitir el paso de aire por su interior,
- Corrige los niveles de humedad de la mezcla y la regula durante todo el proceso,
- Aporta Carbono disponible para los microorganismos que equilibra excesos de Nitrógeno en el residuo.
- Mejora la calidad del compost final.



02 Residuos orgánicos

RESIDUOS ORGÁNICOS

Vegetales: agrícolas, forestales, parques, jardines...

Deyecciones animales: ganaderos

Lodos EDAR

Industria agroalimentaria

Restos de alimentos y de comida



RESIDUOS ORGÁNICOS

BIORRESIDUOS:

“Residuos biodegradables de jardines y parques, residuos alimentarios y de cocina procedentes de hogares, oficinas, restaurantes, mayoristas, comedores, servicios de restauración colectiva y establecimientos de consumo al por menor, y residuos comparables procedentes de plantas de transformación de alimentos.”

Directiva 2008/98/CE y Directiva (UE) 2018/851

No se incluyen los residuos agrícolas o forestales, el estiércol, los lodos de depuración ni otros residuos biodegradables como textiles naturales, papel o madera tratada. También quedan excluidos los subproductos de la industria alimentaria que nunca se convierten en residuos.



“BIORRESIDUOS”: ALTA VARIABILIDAD BAJO EL MISMO CÓDIGO LER

BIORRESIDUOS

El diseño de la instalación se verá influido por la necesidad de incorporar más o menos elementos (espacios y/o equipos específicos) para atender a esas características de los biorresiduos:

- Apertura de bolsas,
- Mezclado,
- Separación de impropios (pre y/o post proceso),
- Tiempo de proceso,
- Condiciones de tratamiento...

Aspectos a considerar de los biorresiduos

Según el origen:

- Domiciliario,
- Generadores singulares (HoReCa),
- Vegetal (leñoso, herbáceo)

Según el modelo de recogida:

- Proporción/presencia de impropios,
- En bolsas o a granel,
- Si es en bolsas, que sean compostables o no,
- Frecuencia de llegada a planta.



03 Los elementos de una instalación de compostaje

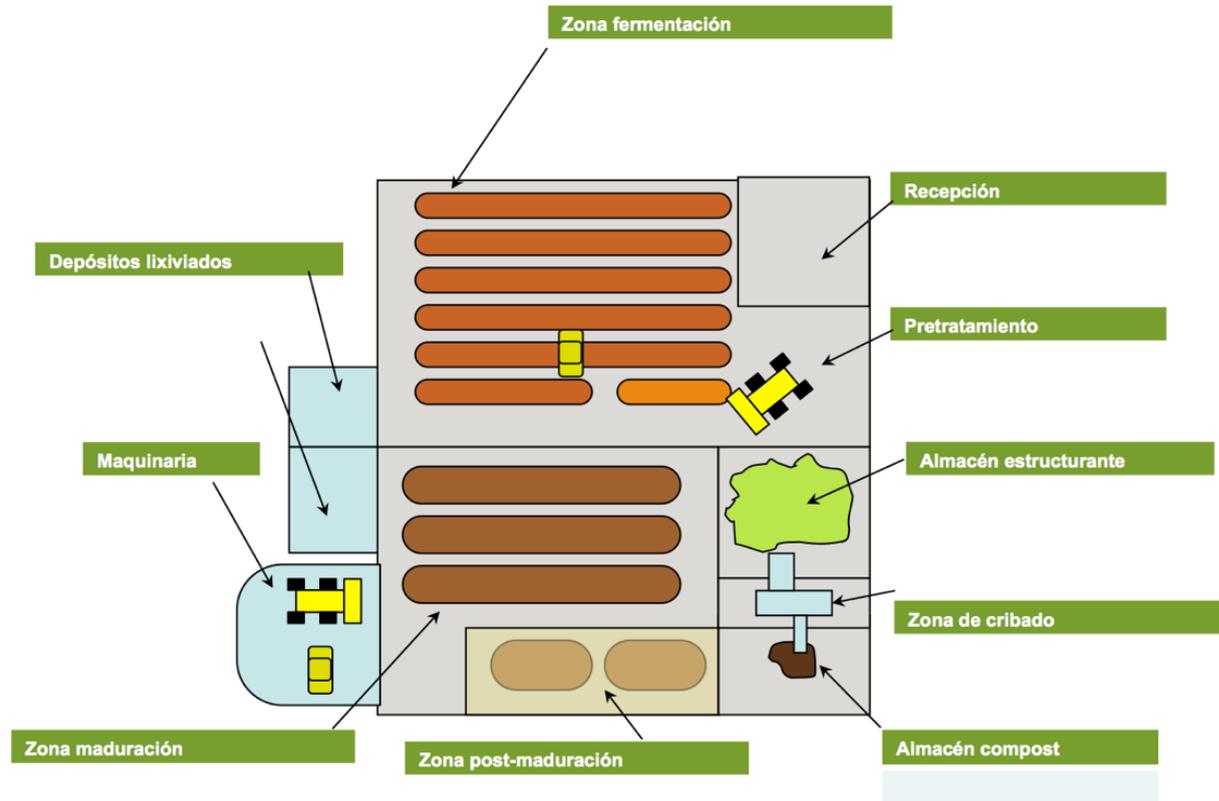
ELEMENTOS DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE

En general se deben considerar cómo/dónde se realizaran las siguientes tareas:

- Recepción,
- Pretratamiento/Mezclado,
- Fermentación,
- Maduración,
- Gestión de lixiviados,
- Cribado/afino (si es necesario),
- Almacenamiento de materiales...

Tareas clave a realizar en una instalación

Dentro de un modelo conceptual de los espacios y necesidades de una planta de compostaje hay varios elementos comunes donde los diferentes sistemas ofrecen alternativas.



04 Los sistemas de compostaje

LOS SISTEMAS Y TECNOLOGÍAS DE COMPOSTAJE

CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS

Sistemas **ESTÁTICOS**

Montones
Pilas y Mesetas *(con/sin ventilación forzada)*

Pilas con cubierta semipermeable
Silos aireados *(con o sin cubierta semipermeable)*

Contenedores
Túneles



Sistemas **ABIERTOS**

Sistemas **SEMIABIERTOS**

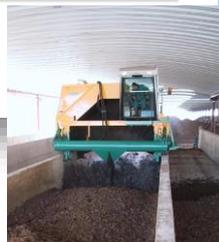
Sistemas **CERRADOS**

Sistemas **DINÁMICOS**

Pilas volteadas
Mesetas volteadas

-Trincheras
-Pilas o mesetas en nave cerrada
-Unidades de compostaje doméstico o comunitario

Túneles dinámicos
Electromecánicos
Tambores
Silos verticales



LOS SISTEMAS Y TECNOLOGÍAS DE COMPOSTAJE

A la hora de concebir una instalación de compostaje es un error común no plantearse qué es lo que realmente se necesita e ir a buscar lo más “moderno”, lo más “sofisticado”, lo más “robusto”, lo más “rápido”,... pretendiendo creer que será lo mejor.

La capacidad de adaptación del proceso de compostaje a las condiciones de cada caso permite plantear modelos concebidos a la medida de las necesidades reales y no limitarse a replicar ejemplos de otros lugares.

AL FINAL LO QUE MUCHOS PRETENDEN ES HACER UN RANKING

¿Cuál es el mejor vehículo para llevar a los niños al colegio?



LOS SISTEMAS Y TECNOLOGÍAS DE COMPOSTAJE

CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS

Sistemas ESTÁTICOS

Montones
Pilas y Mesetas (con/sin ventilación forzada)

Pilas con cubierta semipermeable
Silos aireados (con o sin cubierta semipermeable)

Contenedores
Túneles

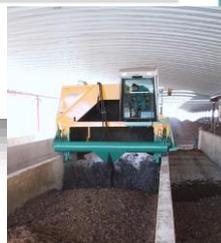
Sistemas DINÁMICOS

Pilas volteadas
Mesetas volteadas

-Trincheras
-Pilas o mesetas en nave cerrada
-Unidades de compostaje doméstico o comunitario

Túneles dinámicos
Electromecánicos
Tambores
Silos verticales

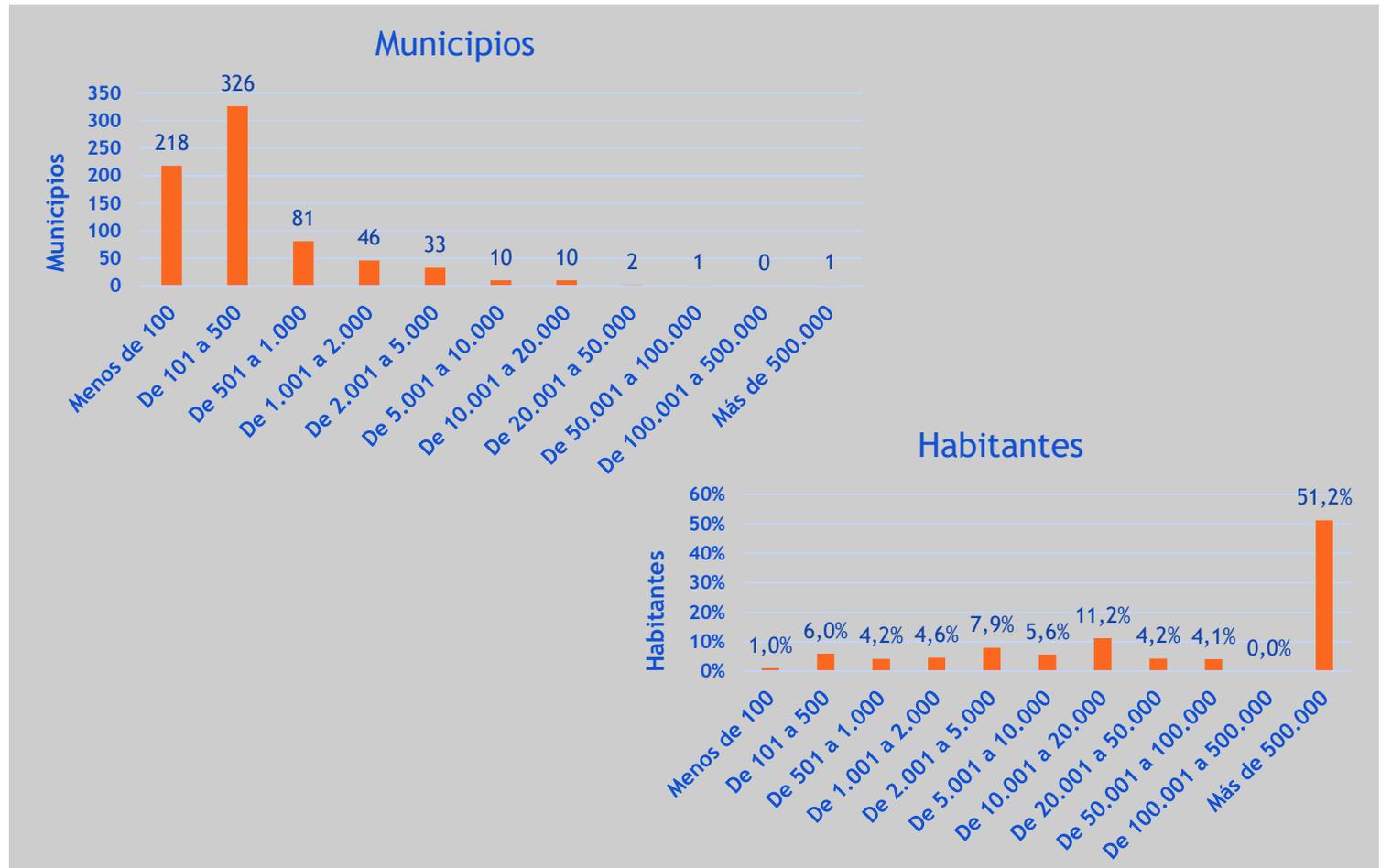
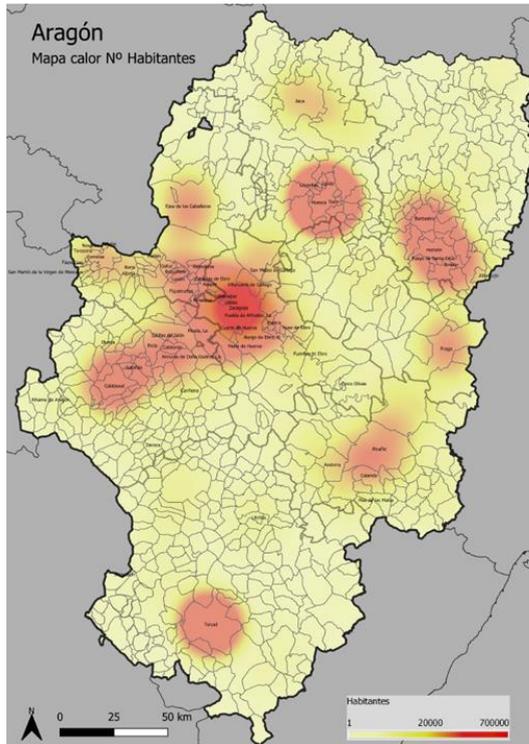
SE DEBE DETERMINAR Y DISEÑAR EL SISTEMA MÁS ADECUADO EN BASE A LAS TIPOLOGÍAS Y CANTIDADES DE RESIDUOS, ASÍ COMO A LAS CIRCUNSTANCIAS Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES, DEMOGRÁFICAS, SOCIALES Y ECONÓMICAS DE CADA ZONA.



04 Demografía de Aragón

DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN EN ARAGÓN

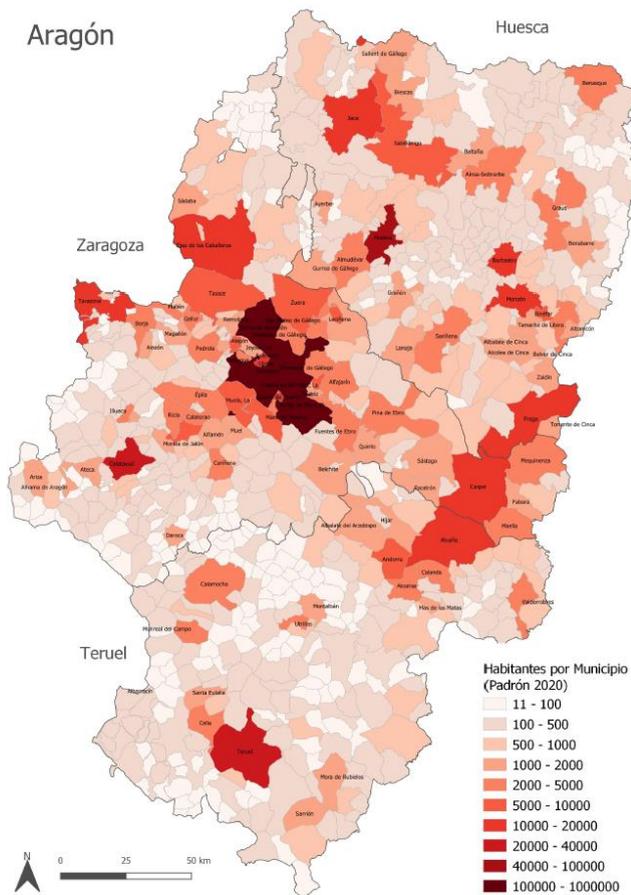
Distribución de la población



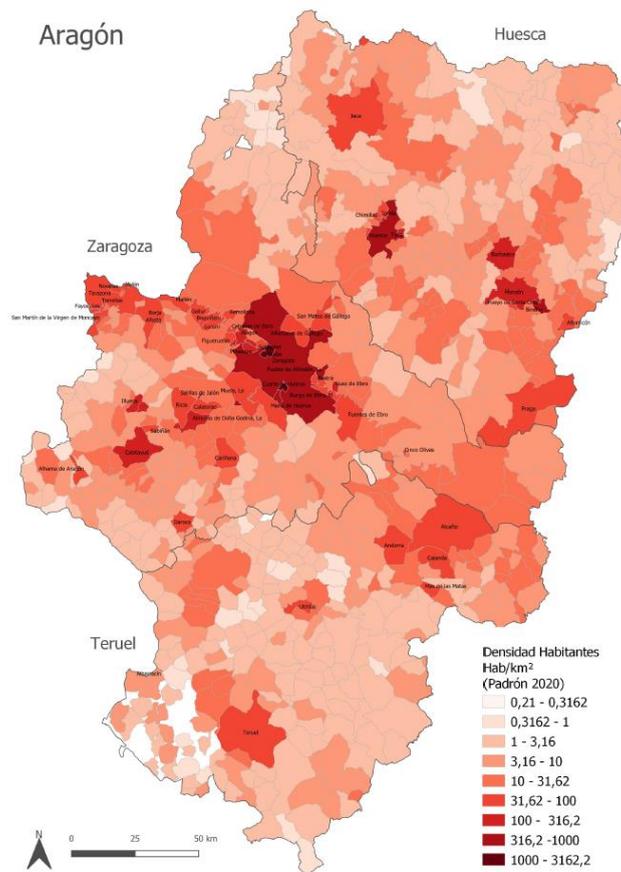
DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN

Población concentrada en determinados núcleos urbanos

Habitantes por municipio



Densidad de población



POBLACIÓN ESTACIONAL: EL TURISMO (I)

Alojamientos turísticos en Aragón

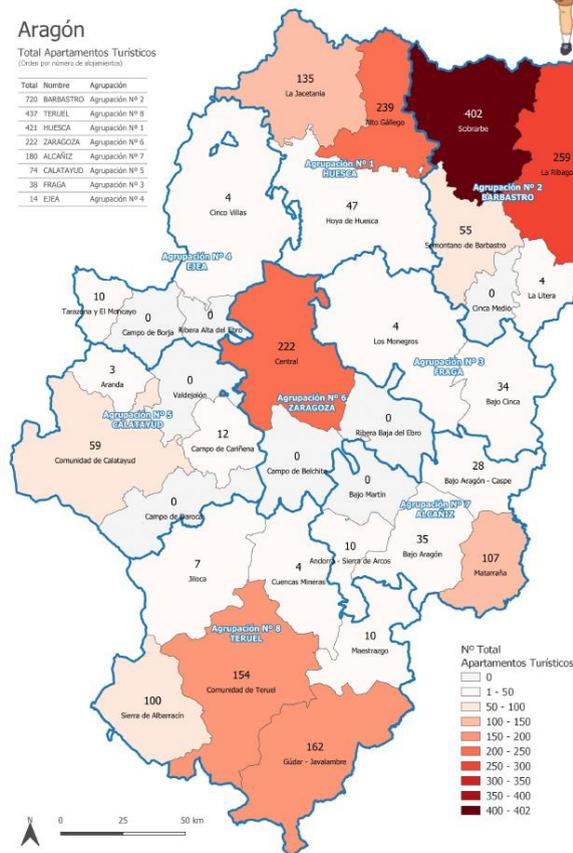


Apartamentos turísticos

Aragón

Total Apartamentos Turísticos
(Orden por número de alojamientos)

Total	Nombre	Agrupación
720	BARBASTRO	Agrupación Nº 2
437	TERUEL	Agrupación Nº 8
421	HUESCA	Agrupación Nº 1
222	ZARAGOZA	Agrupación Nº 6
180	ALCAÑIZ	Agrupación Nº 7
74	CALATAYUD	Agrupación Nº 5
38	FRAGA	Agrupación Nº 3
14	EJEI	Agrupación Nº 4

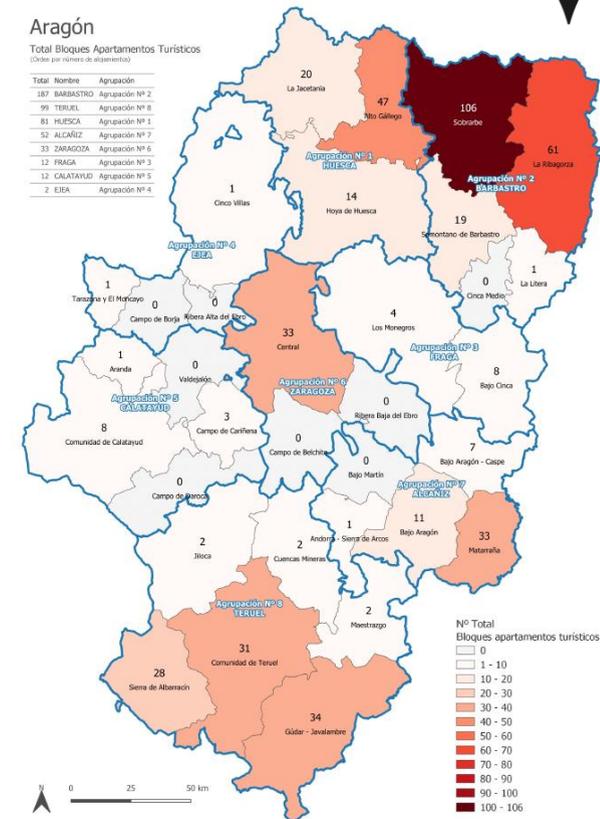


Bloques turísticos

Aragón

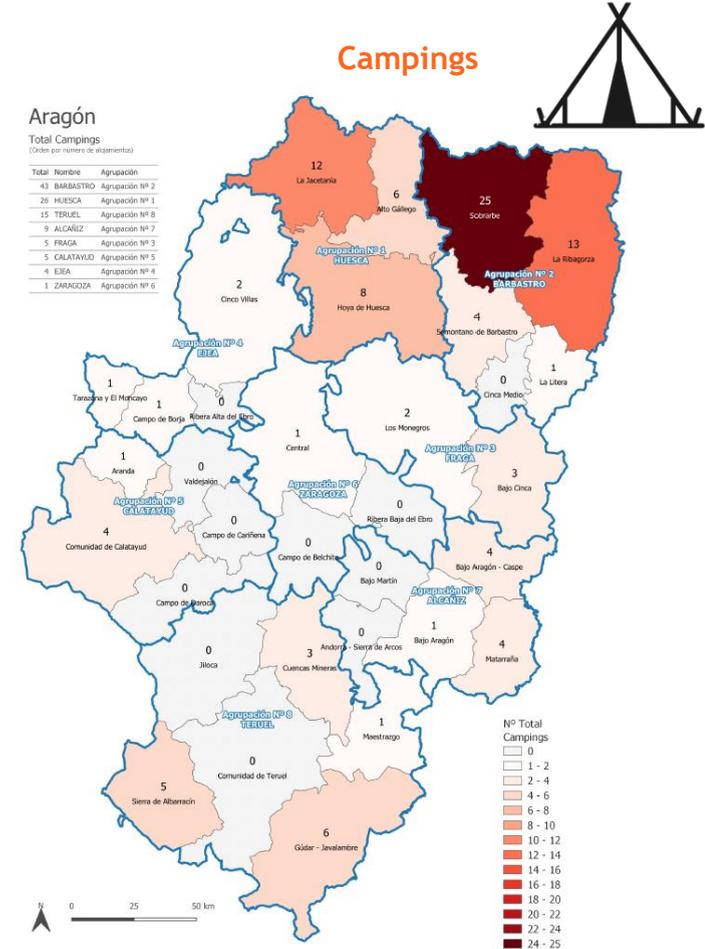
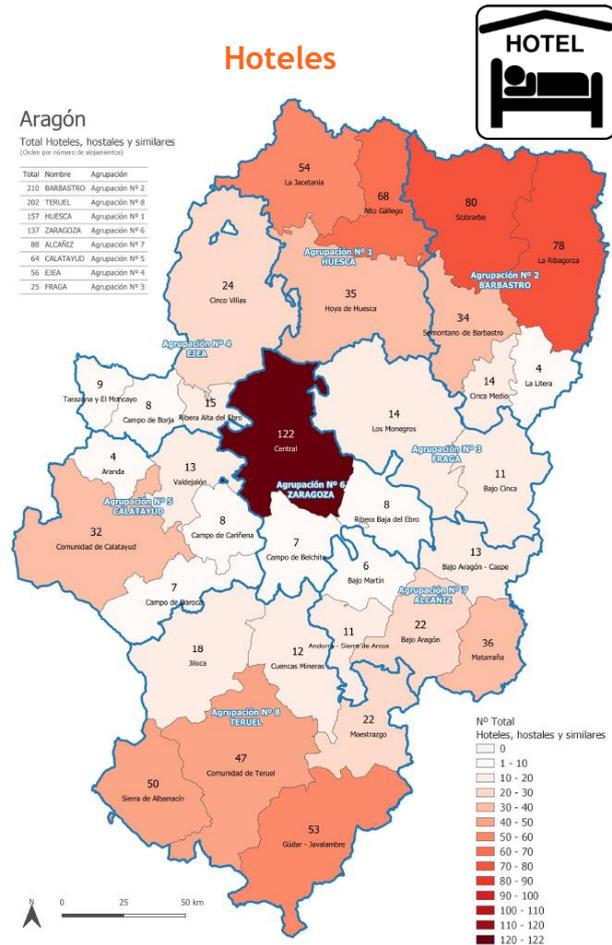
Total Bloques Apartamentos Turísticos
(Orden por número de bloques)

Total	Nombre	Agrupación
187	BARBASTRO	Agrupación Nº 2
99	TERUEL	Agrupación Nº 8
81	HUESCA	Agrupación Nº 1
52	ALCAÑIZ	Agrupación Nº 7
33	ZARAGOZA	Agrupación Nº 6
12	FRAGA	Agrupación Nº 3
12	CALATAYUD	Agrupación Nº 5
2	EJEI	Agrupación Nº 4



POBLACIÓN ESTACIONAL: EL TURISMO (II)

Alojamientos turísticos en Aragón

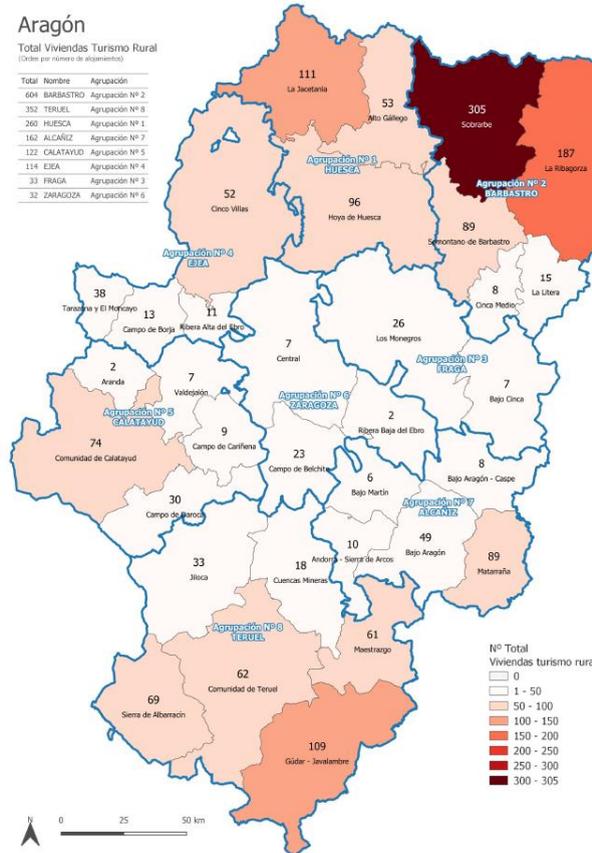


POBLACIÓN ESTACIONAL: EL TURISMO (III)

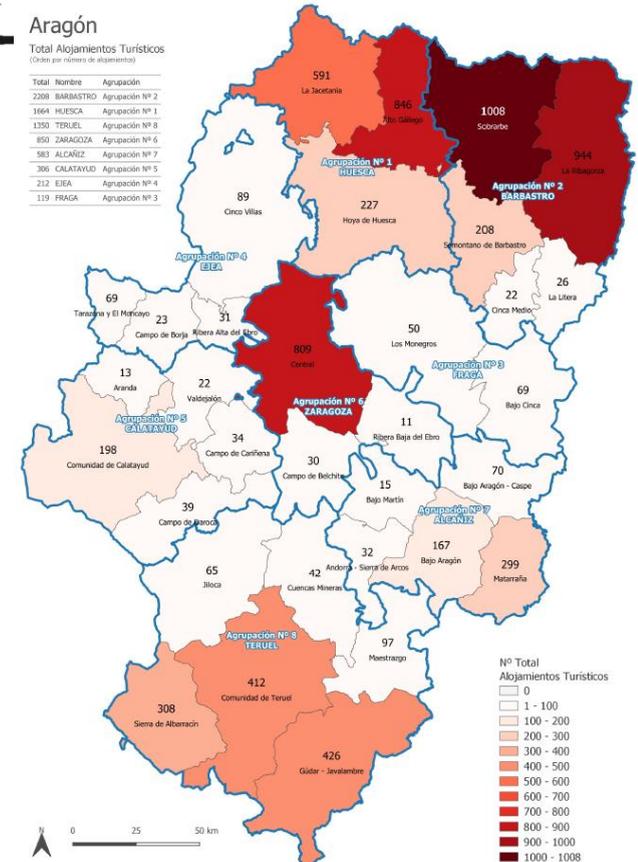
Alojamientos turísticos en Aragón



Viviendas turismo rural



Total alojamientos

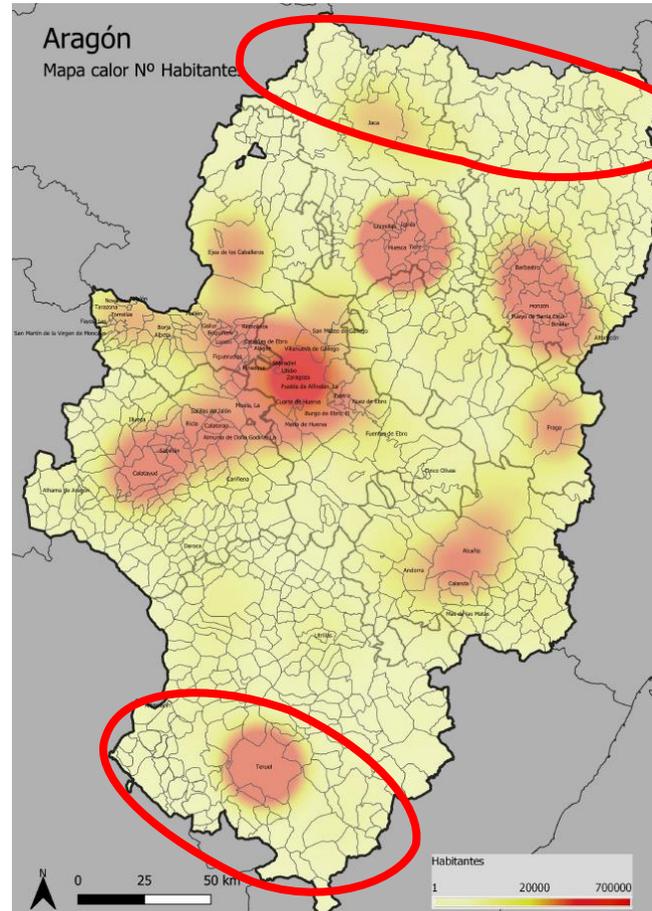


LA GENERACIÓN DE BIORRESIDUOS

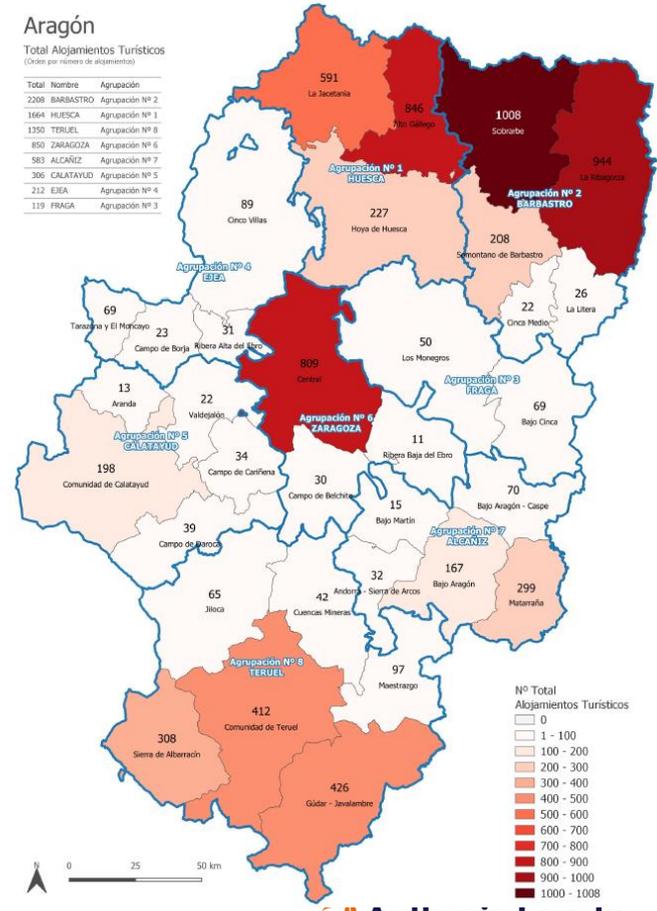
Tenemos unas zonas con una baja densidad de población residente pero con una gran abundancia de plazas turísticas.

Hemos de asumir que en las zonas más descentralizadas también ha de considerarse una estacionalidad en la generación.

Distribución de la población



Total alojamientos turísticos



05 Comparativa de los sistemas

BASE DE DATOS

Base de datos de los sistemas de compostaje

Se ha realizado una base de datos de todos los sistemas de compostaje estudiados.

Para cada sistema se han analizado los siguientes aspectos:

- Clasificación.
- Capacidad media.
- Recursos necesarios (Tiempo, instalaciones, maquinaria, equipos, personal...).
- Versatilidad.
- Situaciones más ventajosas de implementación.
- Análisis debilidades y fortalezas.
- Otros aspectos.
- Costes asociados.

Sistema	Descripción	Capacidad	Clasificación	Recursos Necesarios	Versatilidad del Sistema	Situaciones más ventajosas para...	Debilidades	Fortalezas
Compostaje doméstico	Modelo de compostaje a muy pequeña escala...	Capacidad: hasta 3 t/año por unidad Capacidad: hasta 3 t/m ² /año	Sistemas abiertos Sistemas semicerrados Sistemas cerrados	Tiempo de proceso Instalaciones Equipos Maquinaria Personal Otros recursos	Es un modelo de compostaje donde...	Aparte de los casos de voluntariado...	Dependiendo del tipo de sistema...	Las dimensiones de las pilas...
Compostaje comunitario	Modelo de compostaje a pequeña escala...	Capacidad: hasta 50-55 t/año por zona de 10 módulos	Sistemas abiertos Sistemas semicerrados Sistemas cerrados	Tiempo de proceso Instalaciones Equipos Maquinaria Personal Otros recursos	Es un modelo adaptable a cualquier...	Se convierte en un sistema muy adecuado...	Dependiendo del tipo de sistema...	Las dimensiones de las pilas...
Pilas volteadas	Hileras o pilas de residuos...	Capacidad: 100 - 10.000 t/año por planta Capacidad: 3 a 7 t/m ²	Sistemas abiertos Sistemas semicerrados Sistemas cerrados	Tiempo de proceso Instalaciones Equipos Maquinaria Personal Otros recursos	Es un sistema de compostaje donde...	Se convierte en un sistema muy adecuado...	Dependiendo del tipo de sistema...	Las dimensiones de las pilas...
Silos verticales	Reactores estancos rectangulares...	Capacidad: 100 - 10.000 t/año por planta Capacidad: 3 a 7 t/m ²	Sistemas abiertos Sistemas semicerrados Sistemas cerrados	Tiempo de proceso Instalaciones Equipos Maquinaria Personal Otros recursos	Es un sistema de compostaje donde...	Se convierte en un sistema muy adecuado...	Dependiendo del tipo de sistema...	Las dimensiones de las pilas...
Silos aireados	Espacios delimitados por tres paredes...	Capacidad: 400 - 20.000 t/año por planta Capacidad: - t/m ²	Sistemas abiertos Sistemas semicerrados Sistemas cerrados	Tiempo de proceso Instalaciones Equipos Maquinaria Personal Otros recursos	Es un sistema de compostaje donde...	Se convierte en un sistema muy adecuado...	Dependiendo del tipo de sistema...	Las dimensiones de las pilas...
Túneles de compostaje	Reactores estancos rectangulares...	Capacidad: plantas a partir de 2.000 t/año Capacidad: 10 a 20 t/m ²	Sistemas abiertos Sistemas semicerrados Sistemas cerrados	Tiempo de proceso Instalaciones Equipos Maquinaria Personal Otros recursos	Es un sistema de compostaje donde...	Se convierte en un sistema muy adecuado...	Dependiendo del tipo de sistema...	Las dimensiones de las pilas...

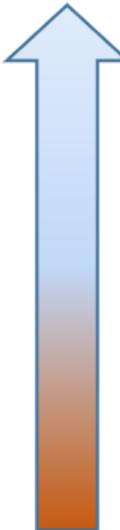
BASE DE DATOS

Posibilidades de descentralización

Los sistemas se han clasificado también atendiendo a sus posibilidades de descentralización.

Según las combinaciones de unidades de tratamiento se pueden concebir instalaciones de mayor o menor capacidad, según la necesidad de cada caso.

Por los elevados costes de inversión algunas sólo pueden ser planteables a partir de una capacidad mínima de tratamiento y aún así no siempre serán rentables.

Grado de descentralización	Sistema/tecnología	SISTEMA		SISTEMA			Capacidad tratamiento
		ESTÁTICO	DINÁMICO	CERRADO	SEMIABIERTO	ABIERTO	
 <p>Mayor DESCENTRALIZACIÓN</p> <p>Mayor CENTRALIZACIÓN</p>	Compostaje doméstico	X	X	X	X	X	Hasta 3 t/año por unidad
	Compostaje comunitario	X	X	X			Hasta 50-55 t/año por zonas de 10 módulos
	Electromecánicos		X	X			3-370 t/año por equipo
	Pilas volteadas		X			X	100-10.000 t/año
	Mesetas	X	X			X	100-30.000 t/año
	Compotúneles / contenedores	X		X			40-250 t/año por unidad
	Silos verticales		X	X			250-500 t/año por unidad
	Tambores		X	X			100-3.000 t/año por unidad
	Pilas ventilación forzada	X				X	300-10.000 t/año
	Pilas ventilación forzada cubiertas	X			X		300-10.000 t/año
	Silos aireados	X			X	X	400-20.000 t/año
	Túneles	X		X			A partir de 2.000 t/año
	Trincheras		X		X		A partir de 2.000 t/año

ANÁLISIS ECONÓMICO

Balance económico

Sistema	Capacidad tratamiento (t/año)	COSTES INVERSIÓN								COSTES EXPLOTACIÓN							COSTE TOTAL	Coste por tonelada (€/t) con	
		Coste inversión total	Preproyecto (0,4 % coste proyecto)	Proyecto (2-3 % coste proyecto)	Costes inversión total (desglosado)				Coste anual amortización Obra Civil	Coste anual amortización Maquinaria	Mantenimiento	Personal	Energía	Combustible	Otros	Coste explotación (con amortización)			Coste explotación (sin amortización)
					Obra Civil (no incluye cubiertas)	Maquinaria (no incluye costes de pretratamiento)	Equipos	Otros											
Compostaje doméstico ¹	3	125 €	n.a. muy variable	0 €	0 €	75 €	50 €	- €	- €	- €	60 €(10)	n.a.	n.a.	100 €	160 €	160 €	285 €	53,3 €/t	
Compostaje comunitario ¹	18	5.790 €	n.a. muy variable	1.500 €	250 €	3.840 €	200 €	466 €	51 €	97 €	2.100 €	n.a.	n.a.	CAMPAÑAS	2.714 €	2.197 €	8.504 €	150,8 €/t	
Compostadores electromecánicos	600	274.000 €	n.a. muy variable	2.500 €	269.000 €	n.a.	2.500 €	218 €	54.705 €	500 €	15.000 €	700 €	n.a.	50 €	71.173 €	16.250 €	345.173 €	118,6 €/t	
Pilas volteadas	1.000	345.500 €	2.000 €	8.500 €	2.500 €	329.000 €	3.500 €	218 €	66.906 €	500 €	15.000 €	1.200 €	n.a.	50 €	83.874 €	16.750 €	429.374 €	83,9 €/t	
Pilas volteadas	2.000	551.850 €	2.150 €	13.500 €	260.000 €	260.000 €	500 €	15.700 €	52.874 €	14.800 €	30.000 €	n.a.	20.500 €	n.a.	142.207 €	65.300 €	694.057 €	71,1 €/t	
Pilas con ventilación forzada cubiertas con lonas	2.500	783.331 €	3.200 €	20.000 €	340.131 €	420.000 €	n.a.	31.677 €	85.412 €	5.500 €	15.000 €	3.500 €	6.800 €	4.000 €	151.889 €	34.800 €	935.220 €	60,8 €/t	
Pilas con ventilación forzada cubiertas con lonas	5.000	1.146.853 €	4.600 €	30.000 €	542.253 €	570.000 €	n.a.	50.293 €	115.917 €	6.500 €	30.000 €	4.000 €	10.300 €	6.000 €	223.009 €	56.800 €	1.369.862 €	44,6 €/t	
Pilas con ventilación forzada cubiertas con lonas y volteadas ^{2,3}	10.000	1.633.007 €	6.500 €	42.000 €	1.014.507 €	570.000 €	n.a.	92.678 €	115.917 €	7.500 €	60.000 €	5.500 €	17.160 €	8.200 €	306.954 €	98.360 €	1.939.961 €	30,7 €/t	
Pilas cubiertas con lonas y volteadas ^{2,3}	1.000	599.495 €	2.500 €	15.000 €	278.395 €	175.000 €(8)	128.600 €	25.797 €	35.588 €	18.360 €	32.500 €	5.400 €	8.595 €	n.a.	126.241 €	64.855 €	725.736 €	126,2 €/t	
Pilas cubiertas con lonas y volteadas ^{2,3}	30.000	1.665.350 €	6.500 €	42.000 €	596.360 €	795.000 €	20.050 €	205.440 €	161.673 €	48.506 €	60.000 €	9.200 €	60.000 €	n.a.	395.601 €	177.706 €	2.060.951 €	13,2 €/t	
Mesetas (con volteadora lateral)	10.000	796.720 €	3.000 €	20.000 €	335.000 €	421.000 €(9)	2.000 €	15.720 €	31.212 €	21.100 €	30.000 €	2.500 €	76.132 €	15.000 €	261.560 €	144.732 €	1.058.280 €	26,2 €/t	
Trincheras (dinámicas) ^{2,4}	30.000	3.782.050 €	15.000 €	95.000 €	2.875.000 €	777.000 €	20.050 €	n.a.	260.246 €	158.013 €	110.164 €	60.000 €	59.900 €	95.723 €	n.a.	744.046 €	325.787 €	4.526.096 €	24,8 €/t
Silos ventilación forzada cubiertos con lonas	10.000	1.656.225 €	6.500 €	42.000 €	325.440 €	406.095 €	145.975 €	730.215 €	32.602 €	49.687 €	60.000 €	20.000 €	n.a.	n.a.	244.873 €	129.687 €	1.901.098 €	24,5 €/t	
Silos ventilación forzada cubiertos con lonas	5.000	1.145.975 €	4.500 €	30.000 €	171.755 €	406.095 €	111.625 €	422.000 €	17.982 €	82.585 €	34.379 €	30.000 €	9.500 €	n.a.	174.446 €	73.879 €	1.320.421 €	34,9 €/t	
Silos ventilación forzada	750	485.688 €	1.888 €	11.800 €	180.000 €	190.000 €	50.000 €	52.000 €	16.887 €	38.639 €	14.000 €	15.000 €	5.500 €	4.000 €	n.a.	94.026 €	38.500 €	579.714 €	125,4 €/t
Tambores	2.000	693.800 €	3.000 €	17.000 €	200.000 €	190.000 €	280.000 €	3.800 €	19.181 €	38.639 €	3.500 €	15.000 €	10.000 €	2.000 €	88.320 €	30.500 €	782.120 €	44,2 €/t	
Tambores	1.752	242.500 €	1.000 €	6.000 €	35.000 €	197.000 €	3.500 €	3.662 €	40.062 €	600 €	15.000 €	3.500 €	4.730 €	n.a.	64.054 €	20.330 €	306.554 €	36,6 €/t	
Silo vertical ⁵	3.950	403.000 €	1.500 €	10.000 €	78.000 €	310.000 €	n.a.	3.500 €	7.803 €	850 €	15.000 €	9.823 €	n.a.	96.518 €	25.673 €	499.518 €	24,4 €/t		
Silo vertical ⁵	10.000	578.500 €	2.500 €	15.000 €	125.000 €	432.500 €	3.500 €	3.500 €	12.424 €	87.954 €	1.000 €	15.000 €	18.921 €	n.a.	135.299 €	34.921 €	713.799 €	13,5 €/t	
Contenedores (fermentación) ⁶	2.000	620.500 €	2.000 €	12.500 €	193.000 €	120.000 €	290.000 €	3.000 €	18.091 €	24.404 €	20.000 €	15.000 €	3.500 €	1.000 €	83.994 €	41.500 €	704.494 €	42,0 €/t	
Túneles (fermentación) ⁷	25.000	4.525.900 €	20.000 €	110.000 €	3.639.000 €	586.900 €	20.000 €	150.000 €	328.599 €	119.354 €	109.170 €	81.250 €	60.000 €	87.800 €	12.000 €	798.172 €	350.220 €	5.324.072 €	31,9 €/t

n.a.: no aplica

¹ No hay que incluir los costes de recogida.

² Para estas tecnologías los proveedores contactados han facilitado una estimación de costes para una capacidad de 30,000 toneladas/año.

³ Datos facilitados por el proveedor Bianna.

⁴ Datos facilitados por metrocompost.

⁵ Datos facilitados por el proveedor Berca.

⁶ Incluye maduración en pilas estáticas.

⁷ Incluye maduración en pilas volteadas.

⁸ Con volteadora Bakhus.

⁹ Incluye volteadora lateral de mesetas.

¹⁰ Coste de visitas técnicas de seguimiento realizadas a una vivienda.

GRACIAS!

plana.compost@gmail.com Ramon.Plana@anthesisgroup.com

belen.puyuelo@anthesisgroup.com

 **Anthesis Lavola**



Ramón Plana
www.maestrocompostador.com