

UNIVERSITAT JAUME I

Escola Superior de Tecnologia i Ciències Experimentals



**UNIVERSITAT
JAUME·I**

**ENGINYERIA AGROALIMENTÀRIA
I DEL MEDI RURAL**

**Proyecto de Diseño de un Biorreactor
para la Producción de Compost a partir
de Biorresiduos**

Estudiant/a: Carlos Pastor Fernández

Tutor/a: Francisco J Colomer Mendoza

Convocatòria: Juliol

A mi tutor, Francisco J Mendoza
Al personal de la planta RSU de Cervera

Índice

Memoria.....	4
Anejos.....	82
Planos.....	122
Pliego de Condiciones	139
Presupuesto.....	142

MEMORIA

Índice

1. Antecedentes.....	7
2. Justificación.....	8
3. Objetivos.....	9
4. Alcance.....	9
5. Introducción.....	10
5.1. Residuo Orgánico.....	10
5.2. Compostaje.....	10
5.2.1. Proceso de Compostaje.....	13
5.2.2. Microbiología del Compostaje.....	17
5.2.3. Parámetros de Control.....	26
A. Aireación.....	26
B. Humedad.....	26
C. Temperatura.....	27
D. pH.....	28
E. Constituyentes.....	28
F. Textura y estructura.....	31
5.2.4. Métodos de Compostaje.....	33
5.2.5. Normativa y Legislación.....	37
5.3. Recogida Selectiva.....	43
5.3.1. Recogida en domicilio (puerta a puerta).....	45
5.3.2. Recogida en acera.....	45
5.3.3. Recogida en áreas de aportación (contenedores por sectores).....	46
5.3.4. Entrega en instalaciones de gestión (Ecoparque, planta rsu).....	46
5.3.5. Acciones auxiliares.....	47
6. Planta de compostaje.....	49
6.1. Materia prima.....	50
6.2. Residuo de alta degradabilidad y residuo de baja degradabilidad.....	53
6.3. Calidad de la materia prima.....	55

6.3.1.	Impropios.....	55
6.3.2.	Impropios aprovechables.....	57
7.	Método de compostaje.....	60
7.1.	Biorreactor.....	60
7.1.1.	Biorreactor vertical.....	61
8.	Parámetros de diseño.....	63
8.1.	Condiciones de compostaje.....	63
8.2.	Cantidades.....	63
8.3.	Caudal de agua.....	64
8.4.	Caudal de aire.....	64
8.5.	Estructura del biorreactor.....	64
8.6.	Instalación eléctrica.....	68
8.7.	Zona de compostaje.....	68
8.7.1.	Pretratamiento.....	69
8.7.2.	Biofiltro.....	70
8.7.3.	Maduración.....	71
8.7.4.	Balsas de recogida.....	72
8.7.5.	Entrada.....	73
8.7.6.	Salida.....	73
8.7.7.	Centro de transformación.....	74
8.7.8.	Maquinaria de carga y extracción.....	74
9.	Resumen del presupuesto.....	74
10.	Estudio de viabilidad económica.....	75
11.	Conclusiones.....	76
12.	Referencias.....	77

Conjuntamente, el consorcio converge en la planta de selección de Cervera del Maestre, donde llegan residuos de toda la zona norte (I) y son procesados; ya sea recuperando material reciclable, bioestabilizando materia orgánica o compactando y sepultando en vertedero aquel residuo que en las condiciones actuales no se le puede dar otro uso. Una vez el residuo entra en planta, pasa por un proceso de biosecado, en el cual se estabiliza la materia orgánica más degradable y se higieniza el material. Con el residuo biosecado, por un lado, hay una zona de triaje donde se recupera parte de los residuos reciclables que se recogen selectivamente, pero han acabado en resto (papel y cartón, vidrio, envases), por otro lado, la fracción con alto porcentaje de materia orgánica se bioestabiliza y, la fracción final que no se puede procesar, se compacta y se destina al vertedero.

2. Justificación

La realización de este un proyecto, destinado al diseño de un reactor de compostaje, se efectúa debido al hecho de que, actualmente, existe una necesidad imperiosa de procesar y revalorizar la gran cantidad de residuo sólido urbano de carácter orgánico. Debido a la reciente normativa de la Comunitat Valenciana, y a su vez nacional y europea, se ha establecido el Plan Integral de Residuos (PIR), en el cual hay especificado un anexo sobre biorresiduos; Anexo 8. Este anexo plantea una gestión particular y específica de los biorresiduos. Esta gestión obliga a, por un lado, recoger selectivamente los biorresiduos urbanos y, por otro lado, a compostar estos biorresiduos para así transformarlos en un producto revalorizado.

Debido a esta imposición sociopolítica en cuanto a la gestión del residuo orgánico, nace el presente proyecto. La decisión de realizar un trabajo que verse sobre el procesamiento del residuo sólido urbano de carácter orgánico generado en la zona norte de Castelló (zona I) se debe a que en la planta de selección de Cervera del Maestre se necesita hacer frente a la gestión del biorresiduo generado, siguiendo las directrices del PIR. Actualmente, en la zona I de los planes zonales de la CV, apenas hay implantada la recogida selectiva de orgánica en unos pocos municipios, sin embargo, en poco tiempo, los 49 municipios que la forman deben haber implantado este sistema de recogida. La implantación gradual de dicho sistema generara un aumento gradual y continuo en la llegada de biorresiduo a la planta de Cervera. Por esta razón, dicha planta necesita un sistema integrado que sea capaz de gestionar independientemente estos residuos y que sea adaptable tanto al aumento gradual de volúmenes entrantes como a la estacionalidad en la generación de residuos. Poder gestionar de forma efectiva y eficaz estas nuevas llegadas es el factor que ha motivado la realización de este proyecto.

La situación actual, y, con mayor relevancia, la situación futura en la que se encontrará el sistema de gestión del residuo orgánico urbano requiere de plantas de compostaje, ya sea independientes o integradas en plantas RSU como la de Cervera, que den solución a la coyuntura que se sucederá en los próximos años. La utilidad de este trabajo consiste en dar solución a esta problemática. El biorreactor que se diseña en este manuscrito tiene una aplicación directa y provechosa en el procesamiento y administración de los biorresiduos recogidos selectivamente en los diferentes municipios.

3. Objetivos

- Analizar y comprender el proceso de compostaje desde un punto de vista dinámico
- Diseñar un biorreactor capaz de procesar todo el biorresiduo de la zona de estudio de forma rápida, segura y eficiente
- Conocer las dinámicas poblacionales en cuanto a generación de residuos
- Evaluar el grado de concienciación ciudadana en cuanto al campo de los residuos y los medios de acción para aumentar dicha concienciación
- Proyectar una planta de compostaje, con todos sus elementos, que funcione de forma integrada y brinde soluciones eficaces en cuanto a gestión de residuos orgánicos

4. Alcance

El estudio del estado de madurez de la gente en cuanto al reciclaje y los residuos es analizado en este escrito, con fin de conocer la participación ciudadana, el conocimiento que esta tiene sobre el tema de los residuos y cuál es la perspectiva de futuro que se presenta.

En sintonía con el párrafo anterior, en este proyecto se estudian una serie de caracterizaciones de biorresiduos, con fin de conocer el procedimiento necesario para realizarlas adecuadamente y para saber los contenidos de impropios y material solicitado presente en los biorresiduos.

En este proyecto se estudian los distintos parámetros de compostaje, su funcionamiento e influencia en el proceso, así como su modulación y gestión para optimizar dicho proceso. A su vez, el compostaje en sí es analizado, desde todos sus distintos puntos de vista, para esclarecer y conocer sus bases científicas y su aplicación en el área de la ingeniería de residuos.

Las poblaciones microbianas, uno de los principales, si no el principal, elementos del compostaje, se estudian y analizan en este proyecto, de forma que se clarifica su función, composición, y dinamismo.

Con fin de lograr los objetivos propuestos y poder dar solución a la situación planteada, serán necesarios una serie de elementos y equipos que lo hagan posible y viable. El biorreactor de compostaje propuesto, juntamente con todos sus elementos auxiliares, forman conjuntamente un sistema integrado que logra cumplir su función asignada de forma óptima y eficaz.

En este proyecto se va a planificar el funcionamiento y estructura de una planta de compostaje independiente y modular. El elemento central de dicha planta es el biorreactor. Para ello, se va a diseñar tanto su estructura externa como interna. Para la estructura externa se va a definir la geometría y las dimensiones de todas sus partes, así como el material que la compondrá. Para la estructura interna se diseñarán una serie de elementos que mejoran el funcionamiento del compostaje. Para ello, se diseñan una serie de planchas metálicas inclinadas, con geometría definida, que se disponen siguiendo un patrón específico.

Para que el biorreactor opere en un rango funcional eficaz, y toda la planta de compostaje funcione eficientemente, se puntualizan los parámetros específicos con los que todo el sistema de compostaje va a funcionar (pH, humedad, caudales de aire y agua...).

Juntamente con la estructura del reactor, se planea un sistema de irrigación del compost cuyo fin es humedecer el sustrato a compostar. Este sistema consta de una red de canalización y una bomba hidráulica. Del mismo modo, se diseña un sistema de aireación, el cual, mediante un sistema de tuberías y unos ventiladores de accionamiento, es capaz de oxigenar el ambiente de compostaje.

Debido a la necesidad de instalar elementos eléctricos en el sistema (bomba hidráulica, ventiladores) también se diseña y dimensiona el cableado eléctrico de los equipos.

Adicionalmente, se definen y especifican todos aquellos elementos auxiliares que contribuyen al funcionamiento de la planta de compostaje. Uno de estos elementos son las balsas de recogidas de agua, las cuales actúan como suministradoras de agua para el sistema de irrigación.

A fin de poder introducir el biorresiduo en el compostador, se especifican los equipos de elevación y carga que cumplirán con este fin. Paralelamente, se definen los equipos encargados de la extracción de dicho material.

A su vez, se explica la composición y funcionamiento de una zona de pretratamiento del biorresiduo en la que, mediante el uso de maquinaria, este se mezcla y tritura para así poder introducirlo en el proceso de compostaje.

En cuanto al tratamiento de olores, se expone el sistema empleado, su situación y funcionamiento, así como su relevancia en el sistema.

Para poder albergar el material compostado una vez el proceso ha acabado, se hace necesaria la especificación de una estructura que sea capaz de albergarlo el tiempo necesario hasta que este sea retirado por los usuarios finales.

5. Introducción

5.1. Residuos Orgánicos

Los residuos orgánicos son aquellos materiales de origen biológico, procedentes de organismos vivos, que han sido participes en alguna actividad humana, cuyo uso haya sido desestimado y ya no son requeridos en ninguna actividad. La principal característica de estos residuos es su capacidad para ser degradados y transformados con relativa facilidad.

Este tipo de residuo representa un porcentaje elevado en el total de residuos generados por la población, y es por esto que se hace necesaria una labor de gestión de los mismos que permita su revalorización y transformación en un nuevo producto.

5.2. Compostaje

El compostaje es un proceso de degradación biológica en el cual una serie de distintos organismos, principalmente microorganismos (hongos, bacterias...) y en menor medida animales de pequeño tamaño (lombrices, insectos...), interactúan con la materia orgánica rápidamente biodegradable, consumiendo oxígeno y los sustratos presentes en esta (azúcares simples, compuestos nitrogenados, celulosa, ceras...) que incorporan en su metabolismo,

generando un producto final estable e higienizado, aplicable como abono o sustrato para la producción vegetal. Es decir, una mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas empleado para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes (FAO, 2013).

Esta degradación biológica de materia orgánica (MO) ocurre de forma natural y continua en los ecosistemas, siendo un factor decisivo en la reincorporación de nutrientes al suelo y el mantenimiento de su fertilidad, garantizando la supervivencia y sostenibilidad de los distintos ecosistemas. El compostaje se basa en esta interacción materia orgánica-descomponedores, sobre la cual se modifican ciertos parámetros para así influir en las poblaciones de organismos descomponedores, permitiendo aumentar la eficiencia del proceso e incrementar su calidad. La materia fresca que se incorpora al suelo de forma natural se degrada por acción de la microflora, produciendo metabolitos intermedios que no son los más adecuados para el desarrollo vegetal, pudiendo ser fitotóxicos (Zucconi *et al.*, 1981). A su vez, existe una competición por el nitrógeno entre los microorganismos y las raíces de las plantas, altos ratios carbono nitrógeno y la producción de amoníaco en el suelo. Por ello, el compost se postula como un sistema que supera todos estos problemas y produce un fertilizante orgánico beneficioso para el desarrollo vegetal y sin fitotoxicidad (ORBIT, 2001).

En el compostaje la materia orgánica sigue diferentes vías metabólicas; mineralización, humificación o degradación parcial, ya sea por respiración aerobia, anaerobia o fermentación. En un proceso bien gestionado, estas vías metabólicas provocan que un 50% de la materia orgánica biodegradable se transforme en agua, dióxido de carbono, minerales y energía. De la materia orgánica restante, sobre el 20 % se somete a transformaciones metabólicas complejas, generando sustancias húmicas, y el otro 30% se degrada parcialmente en procesos aeróbicos y anaeróbicos generando moléculas orgánicas menos complejas. Esta disminución de materia orgánica puede variar entre el 30 y el 60% y está afectada por el sistema de compostaje, la duración del proceso, la calidad de la materia orgánica inicial, la relación C:N, el tamaño de partícula y el patrón de temperaturas (Insam & de Bertoldi, 2007). Es decir, el compostaje de residuos orgánicos no solo permite obtener un producto útil para la actividad humana, sino que, también permite reducir en gran medida la cantidad de residuos acopiados en las instalaciones de gestión, siempre que se utilice el método adecuado y se gestione correctamente el proceso. Es importante tener en cuenta que en el compostaje ocurren todas las transformaciones que se llevan a cabo en la naturaleza, primando las fases de mineralización, nitrificación y asimilación. Esta última, la asimilación reductiva del nitrato y su conversión a compuestos orgánicos nitrogenados, en el interior de las células microbianas, son de gran relevancia en el compostaje para evitar pérdidas de nitrógeno en el compost y el suelo (Insam & de Bertoldi, 2007).

Los parámetros que se deben gestionar para obtener un compost óptimo son principalmente la temperatura, la aireación y la humedad, pues son los que mayor impacto tienen en el desarrollo de las poblaciones microbianas. Sin embargo, existen otras variables, como el pH, la relación carbono-nitrógeno (C: N), los nutrientes presentes en la MO o la textura del medio, que también tienen un papel fundamental en la obtención de un compost de calidad. Durante el compostaje, la actividad microbiana altera diversos de estos parámetros: la amonificación y mineralización de la materia es capaz de bajar el pH; la generación microbiana de calor puede bajar la humedad; la degradación de complejos orgánicos reduce los volúmenes del material compostable; la bajada de la temperatura indica proximidad a la madurez del compost (baja actividad microbiana; poca disponibilidad de complejos para

degradar)(Rebollido *et al.*, 2008)...Es decir, el compostaje es un proceso dinámico y activo, en el cual las condiciones ambientales varían con el tiempo, generando unos flujos de materia y energía que, por una parte influyen directamente en las poblaciones microbianas y por otra acaban por transformar materia orgánica activa en material estable. La figura 1 sintetiza estos flujos de materia y energía que ocurren en el sustrato durante su compostaje.

Mediante un control cuidadoso de estas condiciones se optimiza el proceso de compostaje, acelerando en gran medida el proceso natural, obteniendo abono orgánico en poco tiempo (comparado con el proceso de degradación natural) y permite obtener un producto final con unas características nutricionales óptimas y sin riesgos sanitarios (Hamoda *et al.*, 1998). Un compostaje eficaz genera como resultado una enmienda orgánica de primera calidad, con grandes beneficios sobre las cualidades del suelo, como se muestra en la figura 2.

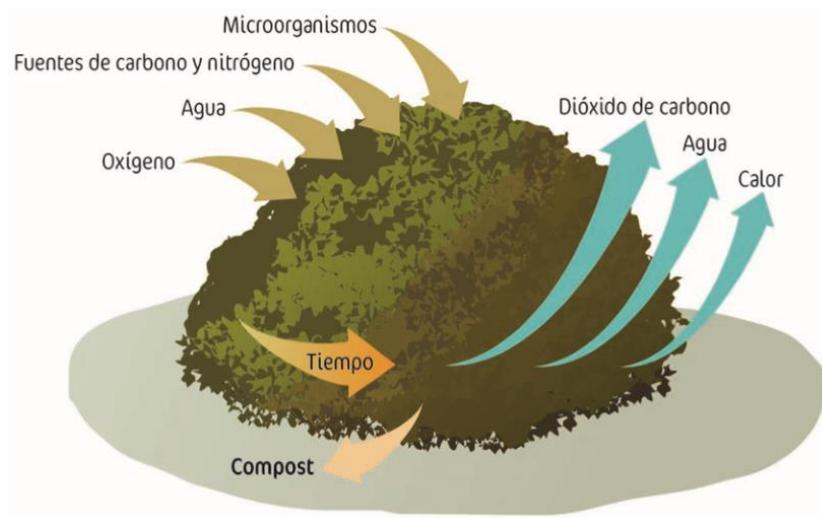


Figura 1. Simplificación proceso de compostaje (Agència de Residus de Catalunya, 2016).

Propiedades del suelo	Efectos de la materia orgánica humificada
FÍSICAS	Aumento de la capacidad calorífica
	Suelos más calientes en primavera
	Reducción de las oscilaciones térmicas
	Agregación de las partículas elementales
	Da soltura a los arcillosos y cohesiona los arenosos
	Aumenta la estabilidad estructural
	Aumenta la permeabilidad hídrica y gaseosa
	Suelos menos encharcados
	Facilita el drenaje
	Reduce la erosión
	Aumenta la capacidad de retención hídrica
	Reduce la evaporación
	Mejora el balance hídrico
	QUÍMICAS
Regula el pH	
Aumenta la capacidad de cambio catiónico	
Mantiene los cationes de forma cambiante	
Forma fosfohumatos	
Forma quelatos	
BIOLÓGICAS	Mantiene las reservas de nitrógeno
	Favorece la respiración radicular
	Favorece la germinación de las semillas
	Favorece el estado sanitario de los órganos subterráneos
	Regula la actividad microbiana
	Es fuente de energía para los microorganismos heterótrofos
	El CO ₂ desprendido favorece la solubilización de compuestos minerales
	Modifica la actividad enzimática
	Activa la rizogénesis
Mejora la nutrición mineral	

Figura 2. Beneficios del compost sobre el suelo (Urbano-Terrón, 1992).

5.2.1. Proceso de Compostaje

El proceso de compostaje empieza en el momento en el que los distintos tipos materia orgánica se mezclan y se apilan juntos. Durante el proceso se acaba generando dióxido de carbono, agua, minerales y materia orgánica estabilizada. A partir de este momento, se empiezan a desarrollar las distintas poblaciones microbianas, las cuales están directamente relacionadas con la temperatura que alcanza el compost y con los compuestos que se descomponen. El proceso empieza con la oxidación de los compuestos fácilmente degradables (descomposición) y acaba con la mineralización de las moléculas que se degradan lentamente y con la humificación de los compuestos ligno-celulósicos (estabilización) (Insam & de Bertoldi, 2007). Debido a la complejidad de sustratos y productos intermedios, la diversidad microbiana y la sucesión de las poblaciones microbianas es un requisito necesario para asegurar una biodegradación completa (Rebollido *et al.*, 2008). En el compostaje, se produce energía en forma de calor (proceso exotérmico), debido a la actividad microbiana, que incrementa la temperatura del sustrato. Por ello, ocurre un proceso espontáneo termofílico, seguido y precedido de dos fases mesofílicas. Durante el compostaje se liberan temporalmente diversas fitotoxinas que al final del proceso acaban siendo neutralizadas. A su vez, para que las poblaciones microbianas se puedan desarrollar de forma óptima y lleven a cabo sus procesos metabólicos, es necesario que se establezcan unas condiciones particulares en el medio que sean las sean favorables.

De acuerdo con el estudio llevado a cabo por Rebollido *et al.*, 2008, los principales microorganismos colonizadores de la masa compostable son bacterias (44,6%), seguidas de

actinomicetos (32,3%) y hongos (23,1%, principalmente representados por los géneros *Bacillus*, *Streptomyces*, *Actinomyces*, *Pseudomonas* y *Azospirillum*). En función de estas poblaciones y su desarrollo, se distinguen tres fases en el proceso de compostaje:

La primera fase del proceso se conoce como fase mesófila (o mesófila I). Esto se debe a que las temperaturas alcanzadas son medias (40-45°C), debido al metabolismo de poblaciones microbianas mesófilas (por encima de estas temperaturas mueren). En esta fase, las poblaciones microbianas conocidas como descomponedores primarios (hongos, bacterias y actino-bacterias), consumen oxígeno y los sustratos orgánicos ricos en energía y fácilmente degradables, como glúcidos simples y proteínas. En esta fase inicial del proceso, el sustrato está a temperatura ambiente, el pH suele ser ligeramente ácido y hay disponibilidad de compuestos orgánicos fácilmente degradables. En este momento los hongos y bacterias mesofílicas colonizan el sustrato y son los principales degradadores de la materia orgánica fresca. El residuo de cocina rico en vegetales suele tener un pH bajo (4,5-5), lo cual estimula la proliferación de hongos (Rebollido *et al.*, 2008). Estas poblaciones aumentan y se desarrollan conforme van consumiendo estos sustratos, lo que provoca un continuo aumento de la temperatura del medio debido al propio metabolismo de los microorganismos. En poco tiempo la temperatura es lo suficientemente alta como para inhibir el desarrollo de las propias poblaciones microbianas, como los hongos termófilos, induciendo su muerte, dejando paso a otro tipo de microorganismos capaces de sobrevivir a estas temperaturas; las poblaciones termófilas.

La segunda fase del compostaje es la fase termófila, en la cual las temperaturas siguen subiendo por la acción de microorganismos termófilos, como bacterias formadoras de esporas y actinomicetos. Estas poblaciones termófilas tienen la capacidad de sobrevivir a temperaturas altas (por encima de 45°C), por ello, colonizan la pila, sustituyen a las poblaciones mesófilas y empiezan a descomponer todo tipo de materia orgánica (incluidos compuestos complejos como lignina, celulosa o ceras). Al igual que las poblaciones mesófilas, estos nuevos microorganismos elevan la temperatura del medio a medida que se desarrollan sus poblaciones a causa de su actividad metabólica, alcanzando temperaturas de entre 60 y 70°C. Las altas temperaturas ayudan a la degradación de compuesto orgánicos recalcitrantes, como la lignocelulosa y a la destrucción de microorganismos patogénicos y alérgicos. Por ello, este es un momento esencial en el proceso de compostaje pues debido a las altas temperaturas se produce una higienización del material; se eliminan tanto los distintos patógenos (*E. coli*, *S. aureus*, *B. subtilis* o *C. botulinum*) como las semillas de malas hierbas y se rompen compuestos fitotóxicos presentes en el material de partida son eliminados por el calor generado (Cooperband, 2002; Negro *et al.* 2000). Las tablas 1 y 2 muestran la temperatura y el tiempo necesario para eliminar los distintos patógenos del compost y así lograr la higienización del material.

Microorganismo	Temperatura	Tiempo de exposición
<i>Salmonella spp</i>	55°C	1 hora
	65°C	15-20 minutos
<i>Escherichia coli</i>	55°C	1 hora
	65°C	15-20 minutos
<i>Brucella abortus</i>	55°C	1 hora
	62°C	3 minutos
<i>Parvovirus bovino</i>	55°C	1 hora
Huevos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	55°C	3 días

Tabla 1. Valores de temperatura y tiempo de exposición para la eliminación de algunos patógenos (FAO, 2013).

ORGANISMO	TEMPERATURA Y TIEMPO DE EXPOSICION
<i>Salmonella typhosa</i>	Se elimina rápidamente en el montón del compost. Son suficientes 30 min. a 55-60° C para su eliminación. No se desarrolla a temperaturas superiores a 46° C.
<i>Salmonella sp.</i>	Se destruye al exponerse 1 hora a 55° C o 15-20 minutos a 60° C
<i>Shigella sp.</i>	Se destruye al exponerse 1 hora a 55° C.
<i>Escherchia coli</i>	La mayoría mueren con una exposición de 1 hora a 55° C o 15-20 min. a 60° C.
<i>Tennia saginata</i>	Se elimina en unos pocos minutos a 55° C.
Larvas de <i>Trichinella spiralis</i>	Mueren rápidamente a 55° C e instantáneamente a 60° C
<i>Brucella abortus</i>	Se elimina con exposiciones a 62-63° C durante 3min. o a 55° C durante 1 hora
<i>Micrococcus pyogens var. Aureus</i>	Muere después de 10 minutos de exposición a 50° C
<i>Streptococcus pyogens</i>	Muere después de 10 minutos a 54° C
<i>Mycobacterium tuberculosis var. Hominis</i>	Muere después de 15-20 min. a 66° C o instantáneamente a 67° C
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	Se elimina por exposición durante 45 min. a 55° C
Huevos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	Mueren en menos de 1 hora a temperaturas superiores a 55° C

Tabla 2. Valores de temperatura y tiempo de exposición para la eliminación de ciertos patógenos (Negro *et al.* 2000; Golueke, 1972)

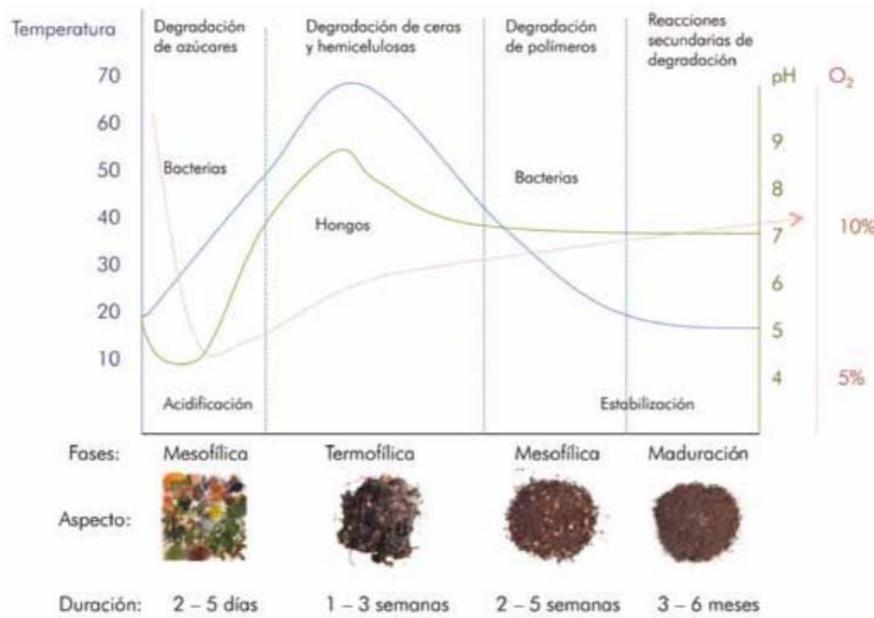
Finalmente, gran parte de los compuestos orgánicos degradables ya han sido consumidos, por ello las poblaciones termófilas empiezan diezmarse, debido a la falta de alimento, lo que provoca una disminución gradual de la temperatura, acabando con la fase termófila.

La última fase del proceso se conoce como enfriamiento (o mesófila II). En esta última fase las poblaciones microbianas mesófilas recolonizan el medio, debido a que la caída de las temperaturas favorece su desarrollo. Las temperaturas bajan debido al agotamiento de los sustratos. En este momento los microorganismos consumen los compuestos degradables restantes del medio, como el almidón o la celulosa, acabando la estabilización del material. A medida que estas poblaciones consumen la materia degradable restante, sus poblaciones van decayendo, generando una caída de las temperaturas gradual en el medio.

Una vez este proceso ha finalizado, le sigue una fase de maduración en la cual los materiales se siguen descomponiendo lentamente hasta que los últimos compuestos fácilmente degradables son consumidos. Es en este punto cuando el compost se convierte en un material relativamente estable y fácilmente manejable (Pace *et al.*, 1995).

El compostaje es un proceso complejo y completo, en el cual distintos agentes y parámetros interactúan durante un cierto tiempo, determinado por las condiciones del medio, que genera un producto versátil, con una importante cantidad de beneficios y usos, como se muestra en la tabla 3, que lo sitúan como una enmienda verdaderamente favorable en el entorno de la producción vegetal.

La grafica 3 muestra sintéticamente un esquema de las distintas fases del compostaje, relacionando los parámetros de temperatura, tiempo, concentración de oxígeno pH y microorganismos predominantes.



Gráfica 1. Síntesis del proceso de compostaje (FAO, 2013)

Tabla 3. Usos y beneficios del compost.(Adaptado de: ORBIT, 2001).

<ul style="list-style-type: none"> -Valor (uso) Agronómico -Fertilizante orgánico -Enmienda - Colabora con la fertilización química -Preparación de medios de cultivo -Sustratos para horticolas -Viveros -Control de enfermedades vegetales -Efecto beneficioso en las micorrizas y la fijación biológica de nitrógeno -Producción de champiñones -Recuperación de suelos arenosos -Viticultura y pomología -Recuperación de vertederos -Biofiltros para la depuración del aire y control de olores -Prevenir enfermedades al replantar -Mejorar la materia orgánica del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> -Aumentar la fertilidad biológica del suelo -Beneficioso para la actividad microbiana del suelo -Mejorar la disponibilidad de nutrientes para las plantas -Prevenir la desertificación -Prevenir la erosión del suelo -Aumentar la retención de agua en el suelo -Reducir la lixiviación de nutrientes -Aumentar la sostenibilidad en la agricultura -Reducir costes en la gestión de residuos orgánicos -Evitar la contaminación derivada de la gestión /disposición del residuo orgánico - Biorremediación -Degradación de residuo orgánico toxico
---	---

-Mejorar la porosidad y la textura del suelo	-Procesado de residuos y medio de cultivo regenerativo para la exploración humana extraterrestre -Control de la contaminación, beneficios para la salud pública y regeneración de recursos in países en vías de desarrollo
--	---

5.2.2. Microbiología del proceso de compostaje

El compostaje, pese a ser un proceso tecnificado y gestionado a conciencia para obtener un producto útil para la actividad humana, está basado y ejecutado por las distintas poblaciones de microorganismos que se encuentran en los múltiples ecosistemas naturales. Por ello, los microorganismos representan el componente esencial del proceso de compostaje, sobre los cuales influyen y se modifican los parámetros ambientales que se describen en el siguiente apartado. El compost es una mezcla fertilizante de materia orgánica parcialmente descompuesta proveniente de plantas y animales (Derikx *et al.*, 1990). El principal elemento que lleva a cabo esta descomposición y permite la generación de fertilizante orgánico son las poblaciones microbianas, por lo cual, la optimización de la calidad del compost, así como el proceso en sí, está directamente relacionado con la gestión de la composición y sucesión de las diferentes comunidades microbianas (Taiwo and Oso, 2004; Peters *et al.*, 2000; Ryckeboer *et al.*, 2003). Las poblaciones bien desarrolladas de microorganismos mejoran la degradación de alifáticos, proteínas y polisacáridos, incrementan el peso molecular, el contenido en ácidos húmicos y fúlvicos, así como el grado de humificación de los materiales a compostar (Xi *et al.*, 2012). Por esta razón, no solo es necesario obtener poblaciones microbianas en la masa compostable, sino que debe producirse un desarrollo óptimo y eficaz de estas poblaciones.

En el compost se han encontrado más de 110 especies distintas de microorganismos, principalmente hongos (*Aspergillus*, *Trichoderma*, *Mucor*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Monilia*, *Helminthosporium*, *Coccidioides*, *Scedosporium*), actinomicetos (*Nocardia*) y bacterias (*Bacillus*, *Lactobacilli*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Clostridium*). Esta gran variedad de microorganismos colonizadores del compost se muestra tanto en la tabla 4 como en la figura 3. Los géneros *Aspergillus* y *Bacillus* aparecen en gran cantidad (38% y 20%, respectivamente). Asimismo, también se ha observado que en sustratos variados (dos o más tipos de residuos en el mismo sustrato) tanto el número como la diversidad de organismos saprofitos, de gran relevancia en la descomposición de materia orgánica, aumenta, frente a sustratos de residuo único (Ashraf *et al.*, 2007). Este dato resulta favorable debido a la naturaleza diversa de los residuos orgánicos urbanos (restos de todo tipo de alimentos, material de poda, celulósicos...); esta alta variedad de sustratos orgánicos fomenta el desarrollo en cantidad y diversidad de los distintos microorganismos, optimizando el proceso de compostaje. A su vez, esta diversidad de microorganismos favorece el proceso de descomposición, pues cada microorganismo descompone los distintos materiales de una manera y con una facilidad particular, en función del material. El estudio de Nakasaki & Ohtaki (2002) revela que cuando un microorganismo se desarrolla en presencia de dos o más sustratos, estos sustratos serán degradados por orden de facilidad de degradación. Por lo tanto, a mayor diversidad de microorganismos mayor será la eficiencia del proceso de descomposición. Un proceso de compostaje adecuado promueve el desarrollo de un gran número de microorganismos saprofitos edáficos, con todas las ventajas que estos brindan. A su vez, el compost no solo

aumenta el número de organismos beneficiosos (o, al menos, no patogénicos) del suelo, mejorando la degradación y mineralización de la materia orgánica, sino que además tiene un efecto supresivo. De entre las distintas enmiendas del suelo (materia orgánica, compost, fertilizante, residuos de cosecha...) el compost ha demostrado ser el material más supresivo (Hadar, 2011), presentándose como una enmienda que, además de proporcionar nutrientes para el desarrollo de los vegetales, es capaz de reducir las incidencias de organismos patógenos, incrementando la eficiencia de la producción vegetal. Este efecto supresivo se debe a distintas acciones derivadas de la existencia de gran cantidad de microorganismos descomponedores en el compost; parasitismo de los patógenos, antibiosis, competición por los nutrientes, resistencia inducida en plantas derivada de los microorganismos del compost y mejora de la nutrición de la planta (mayor vigor) (Hoitink & Boehm, 1999; Hoitink *et al.* 1993). Todas estas interacciones pueden ocurrir por separado o simultáneamente, y su existencia, así como su efectividad y su acción sobre los diferentes patógenos varía en función de la tipología del compost. Se ha observado que estas acciones supresivas dependen de comunidades de microorganismos, siendo la variedad microbiana la mejor baza de este efecto. De esta manera, pueden ocurrir los diferentes efectos supresivos, como la competición por nutrientes que impide el crecimiento de patógenos e incluso la germinación de esporas o esclerotios, el parasitismo de los organismos patógenos impidiendo su supervivencia o la inhibición de la germinación de semillas, ya que cada tipo de microorganismo es capaz (o es más eficiente) llevando a cabo uno de estos efectos (Hadar, 2011).

Tabla 4. Organismos aislados en diferentes sustratos compostables (Adaptado de; Ashraf *et al.*, 2007; Neklyudov *et al.*, 2006).

Sustrato	Organismo Descomponedor
Piel de Patata	<i>Aspergillus niger</i> <i>Mucor sp.</i> <i>Penicillium rubrum</i>
Residuo de Caña de Azúcar	<i>Nocardia sp.</i> <i>Bacillus cereus</i>
Cortezas de árbol	<i>Alternaria alternata</i> <i>Monilia sp.</i> <i>Trichoderma sp.</i> <i>Aspergillus flavus</i> <i>Lactobacilli sp.</i>
Medio de cultivo microbiológico usado	<i>Aspergillus terreus</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Trichoderma sp.</i> <i>Alternaria alternata</i>
Papel de Periódico	<i>Micrococcus roseus</i> <i>Bacillus polymyxa</i>
Serrín	<i>Nocardia sp.</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Mucor sp.</i>
Medio de cultivo microbiológico usado, Piel de Frutas, Hierba y Hojas	<i>Aspergillus niger</i> <i>Aspergillus microviridocitrinus</i> <i>Aspergillus flavus</i> <i>Bacillus licheniformis</i> <i>Nocardia sp.</i>

	<i>Mucor sp.</i>
Residuo de Caña de Azúcar, Leguminosa Forrajera (<i>Cyamopsis tetragonoloba</i>), Hierba y Hojas	<i>Aspergillus terreus</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Helminthosporium sp.</i> <i>Lactobacilli sp.</i> <i>Cladosporium cladosporioides</i>
Serrín, Virutas de Madera, Hierba y Hojas	<i>Aspergillus nidulans</i> <i>Clostridium sp.</i> <i>Aspergillus terreus</i> <i>Trichoderma sp.</i>
Medio de Cultivo Microbiológico Usado, Frutas y Verduras, Hierba y Hojas	<i>Aspergillus nidulans</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Aspergillus terreus</i> <i>Coccidioides sp.</i> <i>Penicillium sp.</i> <i>Bacillus licheniformis</i>
Té usado, Ramitas de Espinaca (<i>Spinacia oleracea</i>), Hierba y Hojas	<i>Aspergillus niger</i> <i>Aspergillus nidulans</i> <i>Aspergillus flavus</i> <i>Scedosporium sp.</i> <i>Bacillus subtilis</i> <i>Bacillus cereus</i>
Lodos de Aguas Residuales	<i>Bacillus badius</i> <i>Cellulomonas</i>
Mezcla de Lignocelulosa y Estiércol	<i>Bacillus schlegeli</i>
Residuo Orgánico Doméstico	<i>Bacillus licheniformis</i> (NH 1)
Salvado de arroz/Restos de Patata	<i>Pichia sp.</i> <i>Aspergillus sp.</i> <i>Rhizopus sp.</i> <i>Mucor sp.</i>
Residuo Municipal	<i>Saccharopolyspora rectivirgula</i> <i>Saccharopolyspora viridis</i> <i>Streptomyces thermoviolaceus</i> <i>Thermoactinomyces thalophilus</i> <i>Thermoactinomyces vulgaris</i> <i>Thermomonospora curvata</i>
Residuo Doméstico	<i>Bacillus sp.</i> <i>Aspergillus sp.</i> <i>Penicillium sp.</i> <i>Trichoderma sp.</i> <i>Myriodontium sp.</i> <i>Pleurotus sp.</i> <i>Bacillus stearothermophilus</i>
Papel Triturado	<i>Cellulomonas sp.</i>
Paja de Trigo	<i>Lentinus sajor-caju</i> <i>Trichoderma harzianum</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Azotobacter chroococcum</i>
Restos de Industria Maderera (<i>Larix sp.</i> , <i>Populus sp.</i>)	<i>Trametes villosa</i>
Compost Inmaduro de Hierba	<i>Trichoderma viride</i>

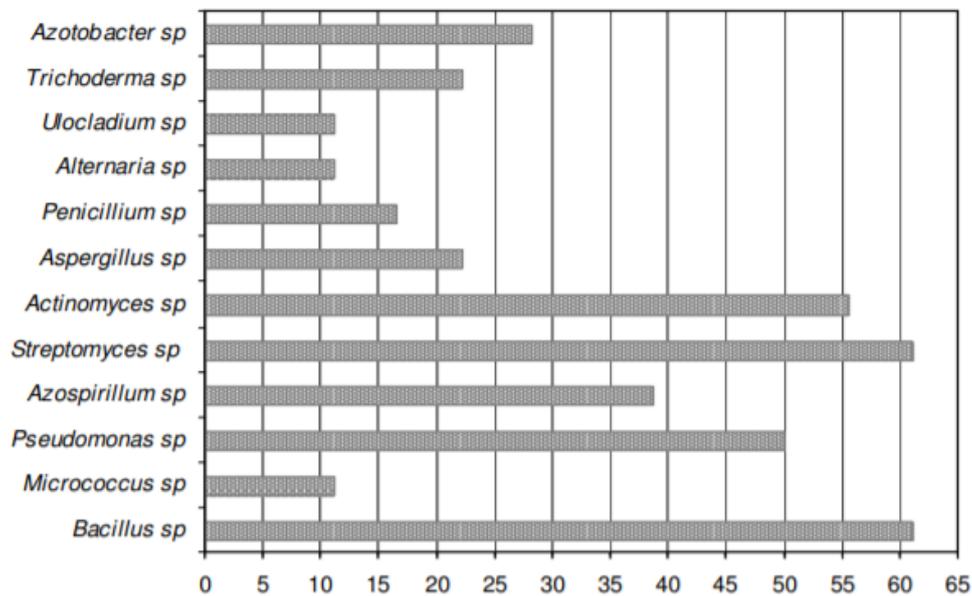


Figura 3. Composición microbiana en compost proveniente de RSU (Rebollido *et al.*, 2008).

Derivados del metabolismo de las poblaciones microbianas, en el compostaje, los procesos aerobios de fijación de nitrógeno y desnitrificación ocurren, pero en tasas muy bajas. Generalmente el contenido en nitrógeno disminuye principalmente por la volatilización del amoníaco, dependiendo de la cantidad inicial de nitrógeno, y la relación C:N también disminuye, en mayor medida, debido a la pérdida de compuestos de carbono (CO₂ principalmente). Para evitar las pérdidas de nitrógeno por volatilización del amoníaco, es necesario que las bacterias nitrificantes oxiden rápidamente el amoníaco libre generado por la mineralización de los compuestos orgánicos nitrogenados. A su vez, la desnitrificación puede llevar a la pérdida de nitrógeno debido a la generación de huecos llenos de aire en el sustrato, suministrando un ambiente muy oxigenado que permite la reducción aerobia de nitrato a nitrógeno molecular (N₂), por parte de bacterias desnitrificantes termofílicas (*Bacillus sp*) o mesofílicas (*Pseudomonas*, *Paracoccus*) (Insam & de Bertoldi, 2007). Paralelamente a estas pérdidas, existe una recuperación parcial de nitrógeno debido a la fijación biológica de nitrógeno. Esta fijación biológica se lleva a cabo en fases mesofílicas por bacterias de estas características (*Azospirillum*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Bacillus*, *Clostridium*) y queda inhibida por las altas temperaturas y por la presencia de amoníaco. Todas las reacciones bioquímicas que ocurren durante el compostaje (desnitrificación, fijación de N, degradación de polímeros, consumo de C...) están catalizadas por enzimas, ya sean intracelulares (enzimas que realizan la catálisis en el interior de células viables) o extracelulares (enzimas liberadas al exterior para catalizar la degradación de compuestos demasiado grandes para atravesar la membrana celular) y es por esta razón que estos catalizadores tienen una gran importancia en el compostaje. Los microorganismos no pueden metabolizar directamente las partículas insolubles de la materia orgánica, por ello, sintetizan enzimas que despolimerizan los compuestos complejos en fragmentos simples que se solubilizan en agua y así pueden ser absorbidos a través de la membrana celular (Tiquia *et al.*, 2002). Por ejemplo, las amidohidrolasas y las deshidrogenasas catalizan las reacciones mineralización del nitrógeno orgánico (liberación de N de enlaces C-N no peptídicos de aminoácidos y urea) o las

fosfatasa acida y alcalina tienen gran relevancia en la mineralización del fósforo orgánico y la nutrición vegetal (Tiquia *et al.*, 2002). Evidentemente, las enzimas están sujetas a la actividad microbiana y, por ello, su evolución va a la par de la evolución de los microorganismos. En distintos estudios (Godden *et al.*, 1983; García *et al.*, 1992b) se observa claramente esta evolución; en los primeros días del compostaje de estiércol de vacuno la actividad de la celulasa, invertasa y de la fosfatasa alcalina aumentan, mientras que en la fase termofílica se mantiene constante, o, en cambio, durante el compostaje de lodos de depuradora las actividades de fosfatasa, ureasa y proteasas decrecen. En el estudio de Tiquia *et al.*, (2002) se observa como el incremento de las poblaciones microbianas al inicio del proceso, debido a la presencia de materiales ricos en nutrientes, genera un incremento en esa misma fase de la actividad de la fosfatasa alcalina y acida y de leucina aminopeptidasa (hidrólisis proteica para liberar aminoácidos), puesto que el incremento en las poblaciones microbianas supone un aumento en la síntesis de enzimas. Es decir, generalmente, conforme el proceso de compostaje avanza, la actividad enzimática aumenta, debido a la sucesión y solapamiento de las poblaciones microbianas, condicionadas por el ambiente variable al que están sometidas (temperatura, humedad, concentración de oxígeno, degradación de compuestos...).

Pese a que las comunidades de microorganismos se establecen espontáneamente sobre la materia orgánica sin intervención alguna, una cantidad insuficiente o un mal desarrollo de estas puede provocar una baja eficiencia en el compostaje e incluso la obtención de una calidad no deseada en el producto final (Xi *et al.* 2007). Para lograr el desarrollo óptimo de la comunidad microbiana en el material a compostar, es necesario modificar las condiciones ambientales que afectan los microorganismos y generar un ambiente favorable para su crecimiento. Pese a que la investigación de Xi *et al.* 2008 pone de manifiesto que la inoculación de microorganismos puede mejorar y optimizar el proceso de compostaje, cabe mencionar que el cultivo/adquisición de dichos inóculos, así como su mantenimiento y administración aumentan la complejidad y el coste del proceso. Adicionalmente, estos inóculos ni son necesarios; el compostaje puede ser perfectamente efectivo sin su uso, ni generan una diferencia importante frente a un compostaje sin inoculaciones microbianas. En consecuencia, el uso de inóculos externos, provenientes de medios de cultivo artificiales, queda en segundo plano, primando el desarrollo natural de los microorganismos y/o el uso de inóculos provenientes de material ya compostado. Los factores más importantes y decisivos en la evolución microbiana del compostaje son los de carácter ambiental, tales como la temperatura y la humedad (Hamoda *et al.*, 1998; Rynk *et al.*, 1992), entre otros. Por esta razón, la clave para un compostaje óptimo y eficaz es la correcta monitorización de las condiciones ambientales con el fin de generar un medio de cultivo en el que los microorganismos de adapten y desarrollen correctamente.

Dependiendo de en qué fase se encuentre el proceso de compostaje, mesofílica o termofílica, predominan diferentes tipos de poblaciones microbianas, cada una de ellas adaptada a un ambiente particular. La composición de estas comunidades depende de muchos factores; temperatura, pH, humedad, C/N... Sin embargo, en condiciones aerobias, la temperatura es el factor más selectivo para las poblaciones microbianas y determina la tasa de las actividades metabólicas (Rebollido *et al.*, 2008). Los géneros dominantes, en abundancia relativa (>30%), de microorganismos en el compost de residuo sólido urbano, estudiado por Rebollido *et al.*, (2008), son *Bacillus* y *Streptomyces*(61,1%), seguidos de *Actinomyces*(55,5%), *Pseudomonas*(50%) y *Azospirillum*(38,8%). Muchos de estos microorganismos forman parte de la microbiota del

suelo, poniendo de manifiesto la similitud entre el compost y un suelo en buenas condiciones. Las bacterias son nutricionalmente el grupo más diverso entre los microorganismos del compost, utilizando un amplio abanico de enzimas que degradan los diferentes compuestos orgánicos, por lo cual suelen aparecer en mayor cantidad que el resto de los microorganismos. Además, la alta relación superficie/volumen que poseen las bacterias les permite transferir rápidamente los sustratos solubles hacia la célula, propiciando sus poblaciones. Esto supone que las bacterias son las principales causantes de la descomposición y generación inicial de calor, creando un medio óptimo para el crecimiento de los microorganismos. Las bacterias representan uno de los grupos más importantes en el proceso de compostaje, principalmente debido a su adaptabilidad a diferentes factores y a su diversidad. A diferencia de otros microorganismos, la cantidad de bacterias presentes en las diferentes fases (mesofílica y termofílica) varía muy poco (a excepción de los estreptomicetos) (Ryckeboer, 2003), poniendo de manifiesto su amplia adaptabilidad a las condiciones cambiantes del compostaje. Una de las principales adaptaciones de este grupo de microorganismos es su tolerancia a amplios rangos de temperatura; si las temperaturas no suben de 60°C, más del 40% de los sólidos son degradados en los 7 primeros días casi en su totalidad a causa de la actividad bacteriana (Strom, 1985). A su vez, entre 50 y 65°C las condiciones son favorablemente selectivas para las bacterias, concretamente para el género *Bacillus*, siendo *B. stearothermophilus* dominante por encima de los 65°C y siendo el único género en temperaturas pico (Insam & de Bertoldi, 2007; Ryckeboer *et al.*, 2003). A temperaturas y humedades elevadas (45-55°C, 60-70%) el género *Bacillus* y relacionados, junto con el género *Thermus*, predominan en el compost (Narihiro & Hiraishi, 2005). Por esta razón, pese a que, en la fase termofílica, al igual que el resto de los microorganismos, sus poblaciones disminuyen, las bacterias son el principal agente descomponedor en esta fase (Ryckeboer *et al.*, 2003). Del mismo modo, en sustratos de pH ácido (4-6) se ha observado el predominio de bacterias del género *Lactobacillus* (Narihiro & Hiraishi, 2005), poniendo de manifiesto la adaptabilidad de estos microorganismos.

Por otro lado, las poblaciones de bacterias que oxidan el nitrito (*Nitrobacter* sp) y el amonio (*Nitrosomonas* sp) se mantienen altas durante el proceso de descomposición mientras que las poblaciones de bacterias desnitrificantes (*Bacillus*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*) son más altas al principio del proceso. La existencia de poblaciones numerosas de bacterias desnitrificantes se relaciona con la existencia de microhábitats anaerobios en el sustrato (muchas de estas bacterias pueden ser facultativas), debido a una alta humedad del material (65%) y/o debido a la existencia de materiales ricos en nitrógeno que incrementen la actividad microbiana y generan una depresión en el contenido de oxígeno. Conforme el proceso avanza y el flujo de aire oxigena el sustrato, las poblaciones de bacterias desnitrificantes caen, limitando la desnitrificación a valores muy pequeños (Tiquia *et al.* 2002). Otro grupo relevante de microorganismos presentes en el compost son las hadobacterias (*Deinococcus-Thermus*). Este grupo se desarrolla sobre sustratos orgánicos en un abanico de temperaturas entre 40 y 80°C (65-75°C rango ideal). Esto las posiciona como un grupo perfectamente adaptado a las condiciones termófilas del proceso de compostaje, teniendo un papel esencial en el estadio de temperaturas pico (Insam & de Bertoldi, 2007). Semejantemente, el grupo de las arqueas representan unos organismos termofílicos (e incluso hipertermofílicos) que, pese a que solo se hayan aislado en unos pocos casos en compost, el hecho de que los procesos metanogénicos sean considerables en el compostaje (Cabanas-Vargas & Stentiford, 2006) es muy posible que se encuentren arqueas metanogénicas si se buscan específicamente. El hecho de que este tipo de bacterias sean normalmente oligotróficas y que sus tiempos de

generación sean mayores que los del resto de bacterias, las hace más susceptibles a las condiciones cambiantes del compost y por ello sus abundancia es baja (Insam & de Bertoldi, 2007). A su vez, los actinomicetos son también uno de los principales grupos responsables de la degradación de la materia orgánica durante las últimas fases del compostaje, así como durante la fase termofílica. Estos microorganismos compiten por los nutrientes, pudiendo inhibir el crecimiento microbiano mediante la producción de antibióticos, enzimas líticas e incluso mediante parasitismo. Tienen gran relevancia degradando polímeros naturales y colonizando compuestos orgánicos una vez las otras bacterias y los hongos han consumido la fracción fácilmente degradable (fase de maduración): sintetizan enzimas que les permiten degradar desechos difícilmente degradables (papel de periódico, cortezas, tallos leñosos...) (Rebollido *et al.*, 2008). Las actinobacterias (actinomicetos) se desarrollan en ambientes neutros o ligeramente alcalinos, y son capaces de degradar sustancias relativamente complejas. Muchas de estas bacterias son termotolerantes e incluso termofílicas, soportando de 50 a 60°C y, generalmente, crecen más adecuadamente en sustratos húmedos y con buen suministro de oxígeno. Estas condiciones se suelen dar cuando los compuestos más fácilmente degradables han sido consumidos por otros microorganismos y las temperaturas suben por encima de los 45°C, siendo los actinomicetos termofílicos un grupo relevante en la fase de temperaturas pico. A estas temperaturas (60-75°C) los actinomicetos termofílicos siguen degradando compuestos y, al mismo tiempo, colaboran con la higienización del material debido a su capacidad para sintetizar antibióticos (Insam & de Bertoldi, 2007). Sin embargo, es en la fase mesofílica cuando los actinomicetos (junto con hongos y bacterias) se desarrollan en mayor medida y descomponen los materiales fácilmente degradables y actúan como descomponedores primarios. Las poblaciones de estos microorganismos caen conforme las temperaturas llegan a valores pico y se recuperan cuando las temperaturas empiezan a bajar. Por esta razón, y debido a que los hongos colonizan ampliamente el sustrato en la fase de enfriamiento y maduración, que los actinomicetos encuentran una situación óptima cuando el sustrato se empieza a enfriar, justo después de haber alcanzado las temperaturas pico. Al igual que los hongos, las poblaciones finales de actinomicetos son superiores a las existentes al principio del proceso (Tiquia *et al.* 2002).

Junto con las bacterias, los hongos suponen otro grupo de gran relevancia en la descomposición de materia orgánica. Los hongos participan activamente en el proceso de compostaje, ya que sobreviven en condiciones extremas y usan gran variedad de sustratos como fuente de carbono; principalmente polímeros lignocelulósicos, por lo que tienen una gran relevancia en la maduración del compost (Miller, 1996). Entre estos hongos, los celulíticos, como los géneros *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Penicillium* y *Trichurus*, aceleran el proceso de compostaje, pudiendo reducir los tiempos del proceso sobre un mes, debido a que mejoran la eficiencia del proceso al degradar compuestos secos y con una relación C:N alta (Dubey & Maheshwan, 2005). A su vez, si se instauran las condiciones adecuadas, estos saprofitos actúan como agentes de bio-control, ya que pueden ser antagonistas de una gran cantidad de patógenos microbianos del suelo, como *Rhizoctonia solani*, *Fusarium sp.*, *Pythium sp.*, *Phytophthora sp.*, *Armillaria sp.*, *Phomopsis sp.*, *Sclerotinia sclerotiorum* y *Sclerotium rolfsii* (Whipps, 2001). Estos organismos se encuentran en gran número tanto en la fase mesofílica como en la de maduración, así como en la fase termofílica, aunque en menor medida, junto con los actinomicetos (Strom, 1985). A temperaturas elevadas, el crecimiento de los hongos es más aparente en las capas externas del compost, poniendo de manifiesto la naturaleza aeróbica estricta de estos y su menor tolerancia a altas temperaturas. En el estudio llevado a cabo por Tiquia *et al.* (2002) se observa que la mayoría de los hongos son eliminados a temperaturas

por encima de 50°C, recolonizan el medio cuando las temperaturas se moderan (>45°C) y al final del proceso, sus poblaciones superan su cantidad inicial. Los hongos alcanzan sus poblaciones más altas después del enfriamiento (mayores que en la primera fase mesofílica). A temperaturas altas (fase termófila), los géneros *Aspergillus* y *Mucor* son predominantes (Ryckeboer, 2003).

Además, los hongos son capaces de descomponer polímeros complejos como compuestos poliaromáticos o plásticos, siendo utilizados como biorremediadores de suelos contaminados, posicionándose como un elemento de gran importancia en la descontaminación del compost (Ashraf *et al.*, 2007). En las primeras etapas del proceso, los hongos compiten con las bacterias por los compuestos fácilmente degradables. Sin embargo, debido a que los ratios de máximo crecimiento específico de las bacterias superan al de los hongos en un orden de magnitud (Griffin, 1985), estos son rápidamente superados. A su vez, los hongos dependen de un buen suministro de oxígeno en mayor medida que las bacterias, lo cual no siempre está garantizado, ni siquiera en sistemas con aireación forzada. Por estas razones, así como por su baja termo-tolerancia, los hongos suelen tener un papel menor en la fase termofílica, a excepción del compostaje rico en materiales ricos en celulosa y lignina. En este caso, los hongos representan el principal microorganismo durante todo el proceso, puesto que son ávidos descomponedores de estos materiales. En las fases finales del proceso, el potencial hídrico disminuye lo cual es una ventaja para estos microorganismos (Insam & de Bertoldi, 2007).

Todos estos microorganismos confluyen en el sustrato compostable y degradan, por orden de facilidad, todos los compuestos que en él se encuentran. Cada tipo de microorganismo está especializado en la degradación de un tipo de material orgánico, lo cual hace posible el compostaje sin importar la naturaleza de las materias primas. Con el tiempo y las condiciones necesarias, cualquier componente orgánico se descompone y contribuye a la generación de compost. Los sustratos sobre los que se establecen los microorganismos en el compostaje sufren una degradación natural; idéntica a la que ocurre en cualquier ecosistema sin intervención humana y, es por ello por lo que se suceden los mismos caminos metabólicos. Todos los sustratos son de origen orgánico (*i.e.* biogénicos), es decir, todos los materiales a descomponer provienen de plantas, animales o microorganismos. Entre estos, los más numerosos son los de origen vegetal, siendo el principal biorresiduo generado en ambientes urbanos, seguidos de residuos animales. Uno de los materiales vegetales más común es la lignina. Es el uno de los principales componentes de las plantas y tiene una elevada relevancia en el compostaje ya que, pese a poseer un número reducido de monómeros, la gran variedad de enlaces entre estos hace que su degradación sea muy compleja y, por ello, lenta. La degradación de este compuesto se lleva a cabo principalmente por hongos, como *Trametes versicolor* o *Stereum birustum*, que suelen ser patógenos que sobreviven en plantas vivas. Muchos de estos hongos degradan la lignina y dejan las partes pálidas celulósicas, aunque algunos, como *Pleurotus osteratus*, degradan ambos compuestos (Insam & de Bertoldi, 2007). Otro de los principales componentes de los vegetales es la celulosa. Este compuesto es el más abundante en las plantas y se encuentra en prácticamente cualquier material vegetal. Por ello, cualquier residuo orgánico tendrá una elevada riqueza en celulosa, aun mas en el caso de residuos agrícolas, residuos de industria maderera e incluso en residuos domésticos (pieles de frutas, tallos de vegetales, partes duras de verduras...). La celulosa es un polisacárido formado por cadenas de glucosa (polimerización de β -D-Glucosa mediante enlace β -1,4-glicosídico) formando una red compleja de microfibrillas altamente cohesionadas (Azcón-

Bieto & Talón, 2008). En condiciones aerobias la celulosa puede ser degradada por hongos, bacterias o mixomicetos, sin embargo, generalmente son los hongos los principales agentes descomponedores de este compuesto, sobre todo si la celulosa se encuentra entremezclada con lignina (paja, madera...). En el caso de la celulosa, la acción catalítica de la microfauna supone un factor relevante en su degradación, ya que rompen mecánicamente las estructuras haciéndolas más asequibles a los microorganismos. Los géneros fúngicos *Aspergillus*, *Fusarium* y *Chaetomium* actúan como descomponedores de este compuesto. En cuanto a las bacterias, los géneros *Cytophaga*, *Polyangium*, *Sorangium* y *Pseudomonas* también son capaces de degradar la celulosa, en condiciones aerobias. Por el contrario, en condiciones anaerobias son las bacterias termo y mesofilicas del género *Clostridia* las principales descomponedores (Insam & de Bertoldi, 2007). Juntamente con estos dos componentes vegetales, existe un grupo de polisacáridos presentes en las plantas; las hemicelulosas. Entre estas, la más importante es el xilano, presente en gran medida en paja, bagazo y madera. Esta molécula, formada por pentosas (xilosa, arabinosa) o hexosas (glucosa, manosa, galactosa) es degradada principalmente por hongos y bacterias debido a su capacidad para sintetizar xilanasas. Al igual que el xilano, la pectina (cadenas de ácido poli-galacturónico no ramificadas) también es degradada por hongos y bacterias debido a su capacidad de sintetizar pectinasa, como muchos patógenos vegetales. Finalmente, el almidón es también degradado en el compostaje. Este compuesto está formado por amilosa (cadenas de d-glucosa sin ramificar) y amilopectina (cadenas de d-glucosa ramificadas(1,6) con grupos fosfato y iones Ca y MG) y se degrada principalmente mediante fosforólisis mediada por fosforilasas e hidrólisis de la amilasa. Además de los componentes vegetales, en el compost también hay presentes compuestos no procedentes de las plantas que se degradan y son fuente de nutrientes y energía para los microorganismos. Unos de estos componentes es la quitina. Este compuesto es un polisacárido muy abundante en la naturaleza, formado por monómeros de N-acetilglucosamina (enlaces β -1 \rightarrow 4 glicosídico), y está presente en gran parte de los residuos vegetales ya que es el principal constituyente del exoesqueleto de los artrópodos, así como de la pared celular de los hongos (Blanco & Blanco, 2017). Debido a que tanto los artrópodos (insectos, arácnidos, miriápodos...) como los hongos son grupos ampliamente extendidos en la naturaleza, aparecerán en el sustrato a compostar en cantidades relativamente grandes, ya sea en los materiales iniciales o por colonización natural de la masa compostable. La quitina tiene una concentración relativamente alta en nitrógeno, por lo cual su relación C:N es aproximadamente 5. Por ello, muchos hongos (e.g. *Aspergillus*) y bacterias (e.g. *Flavobacterium*, *Cytophaga*, *Pseudomonas*) pueden utilizar esta molécula como fuente de nitrógeno y carbono. Para su asimilación, estos microorganismos utilizan exoenzimas que degradan la quitina en N-acetilglucosamina, se reabsorbe y se transforma en fructosa-6-Fosfato, que se incorpora en el metabolismo de los carbohidratos (Insam & de Bertoldi, 2007). Finalmente, además de vegetales, hongos y de artrópodos, un grupo de gran peso en el compostaje son las bacterias. Estas, están presentes tanto en los sustratos originales, como en el suelo o simplemente colonizan los materiales espontáneamente. Por esta razón, las paredes celulares de las bacterias supondrán un residuo más en el complejo proceso del compostaje. Estas paredes están formadas por mureína, un polisacárido que forma hebras paralelas, cuyas unidades estructurales son N-acetil-D-glucosamina y ácido N-acetilmurámico, y se interconectan con oligopéptidos, rodeando la bacteria (Blanco & Blanco, 2017). Este compuesto es degradado principalmente por la lisozima.

Desde otro ángulo, los microorganismos presentes en el compost no son solo capaces de degradar materia orgánica o competir con organismos patógenos/competidores; además,

pueden actuar como agentes biorremediadores. Las poblaciones microbianas que colonizan el sustrato a compostar y que se mantienen en el compost final tienen capacidad para degradar compuestos contaminantes presentes en los suelos como hidrocarburos aromáticos y alifáticos, pesticidas, diésel, o metales pesados. Uno de los contaminantes más problemáticos, el grupo de las dioxinas (dibenzodioxinas policloradas, PCDD/Fs), se ha visto afectado por esta característica. Las dioxinas tienen capacidad de bioacumulación debido a sus propiedades lipofílicas, y son capaces de desencadenar irregularidades en el desarrollo de seres vivos (e.g. cáncer). Sin embargo, se ha observado como ciertos microorganismos presentes en el compost (e.g. *Dehalococcoides*) son capaces de disminuir la presencia en el sustrato de estas dioxinas debido a su capacidad de dechloración (Narihiro & Hiraishi, 2005).

5.2.3. Parámetros Controlados

A. Aireación

La degradación de la materia orgánica se puede dar tanto en condiciones aerobias, con buena aireación, como en condiciones anaerobias, con falta de oxígeno. Sin embargo, el proceso de compostaje es estrictamente aerobio. Con una buena aireación, la disponibilidad de oxígeno en el medio es alta, permitiendo la proliferación de microorganismos aerobios que llevarán a cabo una descomposición aeróbica mediante el uso del oxígeno para realizar los procesos de biooxidación de MO en dióxido de carbono, y así obtener energía (responsable del aumento de la temperatura en el medio). Este tipo de descomposición es el más eficiente, obteniendo producto final en el menor tiempo posible. Un contenido en oxígeno demasiado bajo (<5%) provoca un estado de anoxia en el medio, evitando el desarrollo de microorganismos aerobios que son sustituidos por los anaerobios. Estos degradan la MO mediante fermentaciones, llevando a cabo un proceso mucho más lento, generando malos olores y proporcionando un material final con una degradación incompleta. Por ello, para un buen compostaje es necesaria una buena aireación, adaptada a cada etapa del proceso. Las poblaciones microbianas consumirán cantidades relativamente altas de oxígeno, alcanzando el máximo en la fase termófila (coincidiendo con la mayor actividad microbiana) y valores más bajos en las fases mesófilas.

Además del suministro de oxígeno a las poblaciones microbianas, la gestión de la aireación cumple otros cometidos relevantes en el proceso de compostaje. Por un lado, permite una mejor evacuación del CO₂ del medio, y, por otro lado, juega un papel importante en el control de la humedad y la temperatura del medio. Un aumento en la aireación aumenta la actividad microbiana, aumentando la temperatura, por un lado, pero secando el medio por otro (debido a la evaporación inducida por el propio aire y al aumento de la temperatura producido), e incluso, si la aireación es excesiva, además de la pérdida de humedad puede enfriar el medio, afectado negativamente al proceso. Por ello la aireación debe ser un parámetro bien gestionado para poder obtener un producto final de calidad.

B. Humedad

La humedad está estrechamente relacionada con el parámetro anterior, siendo ambos imprescindibles para el desarrollo de los microorganismos. La humedad es necesaria para

llevar a cabo los procesos metabólicos de los microorganismos; el agua es el vehículo que transporta los nutrientes y elementos metabólicos a través de la membrana celular, así como es el medio en el cual ocurren la gran mayoría de reacciones bioquímicas del metabolismo de los microorganismos. Los microorganismos absorben los nutrientes disueltos y el agua sirve de medio para su distribución en el heterogéneo sustrato a compostar. Por ello, una humedad adecuada es esencial para que el compostaje se desarrolle adecuadamente. Un sustrato seco no se descompone adecuadamente debido a que los microorganismos no son capaces de llevar a cabo sus reacciones metabólicas. De la misma forma, un exceso de humedad inhibe la descomposición ya que se generan ambientes anaeróbicos (Ashraf *et al.*, 2007). Para un óptimo desarrollo y funcionamiento de las poblaciones microbianas es necesario entre un 45 y un 60% de humedad en el medio. El descenso de la humedad ralentiza el proceso de compostaje, quedando inhibido por debajo del 40%, momento en el cual no hay suficiente agua disponible para que las reacciones metabólicas microbianas se lleven a cabo (Pace *et al.*, 1995). Por el contrario, un exceso de humedad (>65%) genera un ambiente anaerobio pues el agua ocupa una gran cantidad de poros, desplazando al aire y limitando el flujo y distribución del oxígeno. A su vez, la humedad también regula la temperatura del medio, principalmente como amortiguador térmico, y se ve afectada por la misma (explicado en el apartado anterior), provocando la pérdida de esta por evaporación. Es decir, la humedad es un parámetro de vital importancia para el desarrollo microbiano, influyendo directamente en su desarrollo. La influencia de la humedad en el desarrollo de las poblaciones microbianas se ilustra en el experimento llevado a cabo por Narihiro & Hiraishi (2005), donde a una temperatura fijada (30°C), los cambios de humedad generaban la proliferación de diferentes microorganismos: al 20% de contenido de humedad predominaban las poblaciones de *Enterococcus* y distintas cepas de levadura, al 30-60% *Cellulomonas* y *Xanthomonas* o al 70-80% *Enterobacter* y *Xanthomonas*.

C. Temperatura

Este parámetro está fuertemente ligado a la actividad de las poblaciones microbianas, actuando como factor limitante y regulador de la distribución de estas. La temperatura influye en gran medida en la descomposición microbiana de sustratos orgánicos. Conforme aumenta, el proceso se acelera y conforme baja, el proceso se vuelve más lento (Ashraf *et al.*, 2007), siendo un parámetro selectivo de las comunidades microbianas. Una temperatura relativamente alta es necesaria para el correcto funcionamiento de los microorganismos, por ello, el proceso de compostaje variara en función de la temperatura ambiente, siendo más lento a bajas temperaturas (invierno) y más activo con temperaturas más favorables (primavera/verano). En cuanto a la obtención de un producto final de calidad, la temperatura afecta activamente al procesamiento de los materiales. Por un lado, el aumento de la temperatura favorece la ruptura de compuestos orgánicos, lo cual facilita su consumo por los microorganismos y mejora la eficiencia del proceso. Por otro lado, las altas temperaturas de la fase termófila son de vital importancia pues, a estas temperaturas, la mayoría de los microorganismos patógenos mueren, muchas semillas de malas hierbas quedan inactivas y muchas sustancias fitotóxicas se desbaratan. Esto provoca una higienización del material, haciéndolo apto para su uso en la producción de alimentos (horticultura, fruticultura...). Sin embargo, temperaturas muy altas pueden secar el sustrato, lo cual ralentizaría el proceso. Cabe mencionar que en proceso de compostaje la temperatura está en constante cambio, siendo cada franja térmica importante para los distintos procesos. Stentiford (1996) propone

que las temperaturas por encima de 55°C maximizan la higienización, entre 45 y 55°C se maximiza la tasa de biodegradación y entre 35 y 40°C se maximiza la diversidad microbiana del compost. La temperatura actúa como factor condicionante en el crecimiento de las poblaciones microbianas, ya sea eliminando poblaciones patogénicas como modificando las comunidades descomponedoras. Por ejemplo, fijando el contenido humedad al 60%, se observa que a los 10°C los microorganismos predominantes son de los géneros *Enterobacter*, *Pantoea* y *Xanthomonas*, a 20-30°C hay predominancia de *Bacillus* y *Cellulomonas* y a 40°C predomina el género *Bacillus* (Narihira & Hiraishi, 2005).

A su vez, debido a que la temperatura está directamente relacionada con la actividad microbiana, actúa como indicativo del funcionamiento del compostaje. El conocimiento de la temperatura permite ajustar los parámetros modificables, como aireación y humectación, para que las condiciones de compostaje se mantengan continuamente en sus rangos óptimos. Las mediciones de temperaturas se realizan con elementos sencillos, baratos y precisos, facilitando la gestión del proceso. Todas estas particularidades de la temperatura en el compostaje la posicionan como el indicador más importante de eficiencia y efectividad del proceso de compostaje (Lau *et al.*, 1991).

D. pH

El pH es un parámetro que influye en gran medida tanto en el desarrollo de las poblaciones microbianas durante el proceso de compostaje como a las plantas que utilizarán el compost como suministro de nutrientes. El valor del pH está determinado por los componentes de la materia prima (Contenido en carbonatos, huesos o polvo de cemento, que aumentan el pH o restos de comida o acículas de pino, que bajan el pH) y por la acción de las poblaciones microbianas. Las bacterias descomponedoras prefieren un valor del pH en torno a 6'0-7'5, mientras que los hongos descomponedores prefieren valores más amplios, 5'5-8'0 (Cooperband, 2002). Sin embargo, el valor del pH no es constante, sino que va variando a lo largo del proceso debido a las sucesiones de las poblaciones microbianas. Así pues, en las primeras etapas del proceso el pH desciende, debido a que las poblaciones, fundamentalmente bacterianas, transforman complejos carbonatados en ácidos orgánicos. A continuación, el pH aumenta debido a la formación de amoníaco en la fase termófila, hasta un valor de 8'5 aproximadamente. Finalmente, en la última fase el pH desciende (en torno a 7'0) por amortiguación de la propia materia orgánica. Es necesario un buen equilibrio entre los aumentos y disminuciones del pH para que el proceso se lleve a cabo de forma adecuada y no haya pérdidas de nutrientes (*e.g.* por encima de 7'5 se puede perder amoníaco gas) o provoque la muerte prematura de poblaciones microbianas.

E. Constituyentes

El compost se puede hacer con cualquier tipo de materia orgánica (restos de comida, restos de cosechas, papel, cartón, serrín, estiércol, plumas, huesos, restos de poda...); con las condiciones adecuadas se alcanzará la descomposición total de los componentes orgánicos de la mezcla. No obstante, en función de las características de los materiales constituyentes, el proceso evoluciona y se gestiona de forma distinta. Para desarrollar un proceso de compostaje óptimo y obtener un sustrato de calidad, es necesario gestionar adecuadamente dos parámetros referentes a los constituyentes; los nutrientes presentes en el medio y la

relación carbono- nitrógeno (C:N). La siguiente tabla (tabla 5) presenta una clasificación de materiales atendiendo a su capacidad para ser compostados.

Tabla 5. Constituyentes compostables y no compostables (Fuente: Elaboración propia).

MATERIAL COMPOSTABLE	MATERIAL NO COMPOSTABLE
<ul style="list-style-type: none"> -Restos de cocina (frutas, verduras, hortalizas...) y de cosecha (paja, hierbas, hojas, ramas...) -Alimentos estropeados/caducados -Cáscaras de huevo/frutos secos -Restos de café/té/infusiones -Pielés de vegetales (cítricos, plátano, piña...) y animales -Patatas y tubérculos germinados o estropeados -Aceites y grasas comestibles -Serrín, virutas de madera, cortezas de árbol -Papel y cartón (servilletas, pañuelos, restos celulósicos, embalajes...) -Pelo, plumas y uñas -Huesos -Restos de jardín y poda -Material compostable (bolsas, vasos, platos ...) -Lodos digeridos, -Estiércoles (vacuno, equino, avícola...) -Purines -Pulpa de papel y cartón y restos de su procesado -Cenizas y carbón -Turbas -Restos del procesado de carnes y pescados -Algas y vegetales acuáticos -Restos de matadero -Fertilizantes y urea -Medios de cultivo microbiológico y vegetal 	<ul style="list-style-type: none"> -Vidrio -Metales y envases metálicos -Detergentes, productos clorados, antibióticos o residuos de medicamentos -Plásticos (PE, PAD, PBD, film ...) -Pinturas, disolventes, pegamentos, residuos químicos sintéticos -Gasolina, petróleo, aceite de vehículo -Fibras sintéticas (Nailon, Aramidas, poliéster, fibras acrílicas ...) -Infusibles (Porcelana, cerámica, piedras) -Revistas ilustradas -Restos de aspiradora -Filtros de cigarrillos -Heces de perro, gato o humano (en muy poca cantidad) -Pilas, baterías, componentes electrónicos

Los principales nutrientes que debe haber presentes en el compost son aquellos que necesiten tanto los organismos descomponedores, para que puedan desarrollar sus poblaciones durante el proceso, como los usuarios finales (las plantas). Los microorganismos básicamente necesitan nutrientes que les permitan obtener energía para su buen funcionamiento y nutrientes que puedan usar para desarrollar sus estructuras vitales. El carbono es de vital importancia para los microorganismos, pues supone su fuente de energía. Gran parte del carbono (2/3) se transforman en CO₂ y el restante lo adquiere el protoplasma

celular de los nuevos microorganismos. En cuanto a la formación de las estructuras vitales, los microorganismos recurren a la síntesis de proteínas, para la cual el nitrógeno es de suma importancia, al igual que el fósforo y el azufre. Las formas más asequibles para los microorganismos para obtener carbono son los azúcares y las materias grasas. El nitrógeno está en forma orgánica en casi su totalidad, por lo que debe ser extraído o modificado por los propios organismos para poder asimilarlo (Negro *et al.*, 200). El resto de los nutrientes se encuentra habitualmente en cantidades menores pero suficientes para el desarrollo de los microorganismos pues su demanda es mucho menor o inexistente.

Al igual que los microorganismos, las plantas, como usuarios finales del producto, deben obtener del compost los nutrientes necesarios para su correcto desarrollo, pero, a diferencia de estos, los vegetales requieren un sustrato estable, altamente degradado, sin variaciones de temperatura y con poblaciones microbianas de menor envergadura. Un compost maduro garantiza estos requerimientos. Una vez el proceso de compostaje a finalizado, las poblaciones de microorganismos descienden, pues no quedan prácticamente compuestos degradables. Esto significa, por un lado, que el sustrato maduro es estable; no habrá una alta tasa de descomposición microbiana, evitando el bloqueo y depresión de nutrientes en el medio planta-sustrato y que las variaciones de temperatura que podrían dañar las estructuras vegetales no serán posibles. Y, por otro lado, la muerte de los microorganismos devuelve al medio los nutrientes presentes en sus estructuras (N, C, P, K...), que se suman a los ya presentes en el sustrato, fruto de la degradación microbiana.

La relación carbono-nitrógeno (C:N) está ligada al parámetro anterior; los nutrientes presentes en el compost. Esta relación es de suma relevancia para los microorganismos ya que estos utilizan carbono para obtener energía y nitrógeno para formar proteínas y estructuras celulares. Al tratarse de elementos necesarios para todas las formas de vida, ambos abundarán en el sustrato a compostar, ya que toda materia orgánica posee, al menos, estos dos elementos. Sin embargo, el factor a controlar no es la presencia o cantidad de estos elementos en los sustratos a compostar sino la fracción entre el carbono y el nitrógeno existente en dicho sustrato. Una relación C:N alta, significa que hay mucho carbono frente al nitrógeno existente, lo cual no es favorable pues los componentes con mucho carbono (serrín, papel, virutas de madera, cortezas...) son de baja degradabilidad, ralentizando el proceso, pues el exceso de carbono debe ser oxidado y el nitrógeno actúa como factor limitante, dificultando el desarrollo de las poblaciones microbianas e incluso llegando a parar el compostaje; los microorganismos necesitan el N para sintetizar enzimas y proteínas. De la misma forma, una relación baja, mucho nitrógeno frente al carbono presente en el sustrato, tampoco es favorable ya que el exceso de nitrógeno puede perderse en forma de amoníaco gas, generando malos olores y pérdida de nitrógeno. En la tabla 6 se muestran distintos insumos en relación con su ratio C:N.

Una relación C:N inicial de 30:1 aproximadamente es óptima para un buen proceso de degradación. Esta relación se obtiene mezclando distintas materias primas que, combinadas, proporcionan la cantidad óptima de carbono y nitrógeno, así como las formas de estos elementos asequibles para la degradación microbiana. A medida que el proceso avanza, esta relación va disminuyendo debido al consumo de los diferentes elementos por los microorganismos, obteniendo una relación final variable (alrededor de 15:1 o menor, dependiendo de la materia prima, el método de compostaje, el grado de degradación de los materiales...).

Tabla 6. Relaciones carbono nitrógeno elevadas y reducidas (Fuente: Elaboración propia).

RATIO C:N bajo	RATIO C:N Alto
-Purines frescos (5:1)	-Restos cultivo de champiñón (30-40:1)
-Restos de lechugas (14:1)	-Turbas (30-100:1)
-Gallinaza pura (7:1)	-Hierba recién cortada (43:1)
-Orines (1:1)	-Hojas de árbol (47:1)
-Gallinaza camada (18:1)	-Paja caña de azúcar (49:1)
-Matas de leguminosas (12:1)	-Paja avena (48:1)
-Orujo de uva (19:1)	-Caña de maíz (52:1)
-Estiércol porcino (10:1)	-Cáscara de arroz (66:1)
-Hojas de abedul, roble, sauce (20-30:1)	-Sarmientos de vid (70:1)
-Restos cocina (14:1)	-Paja avena/centeno (70:1)
-Estiércol de bovino con paja (15-30:1)	-Paja arroz (77:1)
-Mezcla de hortícolas (15:1)	-Hierba seca de gramíneas (81:1)
-Residuos de pesca (4:1)	-Bagazo/Pulpa caña de azúcar (104:1)
-Poda de naranjo (27:1)	-Mazorca maíz (117:1)
-Restos de matadero (2:1)	-Paja trigo (128:1)
-Excrementos humanos (6-10:1)	-Papel (150-200:1)
-Algas Marinas (19:1)	-Cartón (254:1)
-Restos cultivo patata (25:1)	-Paja maíz (312:1)
	-Serrín (638:1)

F. Textura y Estructura

El sustrato por compostar, al igual que el suelo, es una masa en la que se van a desarrollar organismos vivos, por ello, tanto la textura que presente (tamaño de las partículas) como su estructura (disposición de los agregados y compactación) van a ser determinantes para su desarrollo. Además, el proceso de compostaje es un proceso estrictamente aerobio, por ello, estas dos características se hacen aún más relevantes para su correcta realización.

Por una parte, la textura, entendiendo este parámetro como la distribución del tamaño de las partículas presentes en el sustrato, afecta a la porosidad, al flujo de aire y agua en el sustrato, a la estructura del medio, a la superficie expuesta a los microorganismos y, en definitiva, al desarrollo de las poblaciones microbianas. Por otra parte, la estructura, que hace referencia a la forma en la que se encuentran organizadas estas partículas, en agregados más o menos cohesionados, influye directamente en el grado de compactación del medio, lo cual determina la capacidad de circulación de fluidos a través de este y las conexiones entre los poros (porosidad efectiva). Al igual que en el resto de los parámetros, existe un rango óptimo para estas características que no se consigue mediante el uso de un solo tipo de material, sino que, para obtener el rango óptimo de textura y estructura, es necesario mezclar diversos materiales con características variables hasta obtener la mezcla adecuada. Una textura muy fina, presenta la ventaja de exponer una mayor superficie para la degradación, optimizando el proceso de compostaje, no obstante, las partículas muy finas compactan la estructura y reducen la porosidad efectiva, presentando gran cantidad de poros demasiado pequeños y sin

conexiones entre ellos mismos. Esto limita el flujo de aire y agua a través de la matriz, generando falta de oxígeno y zonas saturadas de agua, provocando anaerobiosis. Igualmente, si la textura es muy gruesa, la retención de agua disminuye (poros demasiado grandes para retener agua en contra de la gravedad), lo cual seca el compost, desfavoreciendo el proceso, y aumentan los riesgos de lixiviación de nutrientes. A su vez, el flujo de aire aumenta, contribuyendo al secado del compost y favoreciendo el flujo de oxígeno y se reduce la superficie expuesta a los microorganismos descomponedores (Cristian *et al.*, 2009). El tamaño de partícula depende en cierta medida del material en cuestión; así pues, materiales de degradación lenta y compleja pueden poseer diámetros mayores, ya que su función se orienta a mejorar la porosidad y evitar la compactación del sustrato. La textura óptima se consigue mediante la aportación homogénea de distintos tamaños de partícula. Entre los 5, 10 y 20 mm no existen prácticamente diferencias en cuanto al grado de descomposición de la materia orgánica, mientras que con tamaños de 40mm la descomposición es ligeramente mayor (Hamoda *et al.*, 1998). Esto se debe a que, con tamaños de partícula mayores, la circulación de fluidos a través del medio es más eficiente, por lo cual el grado de oxigenación es mayor, permitiendo una degradación más efectiva. Sin embargo, el tamaño de partícula en relación con su degradabilidad depende en gran medida del tipo de material. Klass *et al.*, (1973) observó que pese a compostar hierba con distintos tamaños las diferencias en la degradación fueron insignificantes. Por ello, la textura óptima se logra con tamaños de hasta 35mm para materiales más fácilmente degradables, de forma que se aumenta la superficie expuesta a las poblaciones microbianas en este tipo de material, activando rápidamente el proceso y suministrando nutrientes de forma accesible a las poblaciones microbiológicas. Y en cuanto a materiales de degradación lenta, el tamaño de partícula puede ser mayor, de hasta 200mm, puesto al ser de baja degradabilidad no actúan como activadores ni mantenedores del proceso; los nutrientes que suministran son complejos y requieren de poblaciones microbianas bien desarrolladas y de un medio óptimo para su desarrollo. Por ello este tipo de materia orgánica actúa como estructurante, brindando porosidad al sustrato que mejora el flujo de aire y agua a través de este.

En síntesis, en el proceso de compostaje es necesario que se establezcan unas condiciones particulares para que así las distintas comunidades microbianas se desarrollen de adecuadamente y el proceso se suceda de la forma más eficaz posible. Estas condiciones se muestran en la tabla 7. Estas condiciones son consideradas las ideales para el proceso, sin embargo, el proceso puede continuar, aunque algún parámetro no se encuentre en el rango ideal. La consecuencia de darse este caso sería un proceso de compostaje menos eficiente e incluso incompleto.

Tabla 7. Rangos de valores de los parámetros en la biodegradación controlada (FAO, 2013).

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2-5 días)	Rango ideal para compost en fase termofílica II (2-5 semanas)	Rango ideal de compost maduro (3-6 meses)
C:N	25:1 – 35:1	15/20	10:1 – 15:1
Humedad	50% - 60%	45%-55%	30% - 40%
Concentración de oxígeno	~10%	~10%	~10%
Tamaño de partícula	<25 cm	~15 cm	<1,6 cm
pH	6,5 – 8,0	6,0-8,5	6,5 – 8,5
Temperatura	45 – 60°C	45°C-Temperatura ambiente	Temperatura ambiente
Densidad	250-400 kg/m ³	<700 kg/m ³	<700 kg/m ³
Materia orgánica (Base seca)	50%-70%	>20%	>20%
Nitrógeno Total (Base seca)	2,5-3%	1-2%	~1%

5.2.4. Métodos de compostaje

Los métodos de compostaje son los distintos modos o sistemas en los que se gestiona todo el proceso de descomposición controlada del material de partida; la disposición de la materia orgánica, la forma en la que se suministra aire o humedad, el aislamiento del medio, el lugar donde se realizara el proceso... Existe una gran cantidad de métodos distintos para realizar el compostaje, sin embargo, todos ellos siguen el mismo esquema; gestionar los parámetros necesarios para garantizar las condiciones necesarias que susciten el desarrollo óptimo de las poblaciones microbianas (y no microbianas) y la descomposición eficaz de la materia orgánica, generando un sustrato estable, higienizado y apto para la nutrición vegetal. Cabe resaltar que la calidad del proceso, así como del producto final, no se ve influida por el método utilizado sino por el desarrollo del proceso en sí mismo. El método de compostaje influye en la gestión del proceso, las propiedades químicas y físicas del compost final dependerán de la naturaleza del material de partida, de las condiciones en las que se lleva a cabo el proceso de compostaje y del grado de descomposición que se alcance (Hamoda *et al.*, 1998). Es decir, independientemente del modo empleado, la calidad del compost está determinada por la materia prima utilizada y de la instauración de las condiciones biofísico-químicas adecuadas para el correcto desarrollo del proceso. Atendiendo a esta premisa indispensable, básicamente existen dos sistemas de compostaje; los sistemas cerrados y los sistemas abiertos (Junta de Andalucía; Documento informativo).

Los sistemas cerrados son aquellos en los que el proceso de compostaje se lleva a cabo en el interior de un contenedor cerrado, conocido como reactor o digestor. En este tipo de dispositivos la materia prima se deposita en su interior y todo el proceso está altamente controlado de forma continua. Los tiempos de residencia, así como la superficie necesaria son menores, los olores generados están bajo un control más adecuado que en otros sistemas y el control de los parámetros necesarios para la descomposición están eficazmente monitorizados (aireación forzada, control de la temperatura, sistemas de mojado...). Pese a las ventajas que estas características presentan, estos sistemas requieren una de las inversiones iniciales mayores, precisan de un mantenimiento más tecnificado, su vida útil es menor frente al resto de métodos y el manejo y adaptabilidad a distintos volúmenes de producción es algo más complejo; su volumen de trabajo es limitado y la única forma de aumentarlo es adquiriendo otro reactor o modificando el existente. Este tipo de sistemas suelen ser utilizados para el compostaje a pequeña y/o media escala, a nivel de vecindarios, zonas poco pobladas o complejos urbanos/industriales. Esto se debe a que los equipos para el compostaje en reactores (horizontales, principalmente) suelen ser pequeños y poco adaptables a cambios en los procesos de compostaje o a grandes volúmenes de producción. Asimismo, pese a que es posible emplear reactores para el compostaje de grandes volúmenes de residuo, a gran escala su gestión es más compleja; resultan más costosos (tanto de adquirir como mantener) y su manejo se complica (electrónica, fallos, volúmenes mínimos de funcionamiento, los excesos no se pueden tratar...). Por el contrario, tiene ventajas relevantes frente al resto de sistemas; los tiempos de residencia son más cortos, reduciendo la permanencia del material, los olores están mejor controlados y requieren mucho menos espacio que el resto de los sistemas. De este modo, los sistemas cerrados se presentan como un método de compostaje más tecnificado, adaptable a instalaciones de gran calibre, más industrializadas, o gestionadas por órganos de alta capacidad, en las que hay disponibilidad de maquinaria, suministro eléctrico de tamaño considerable (generalmente media tensión) o

servicio de mantenimiento fijo. Sin embargo, esto no excluye su uso en otros contextos menos industriales, ni tampoco los sistemas abiertos quedan excluidos de este tipo de instalaciones.

Dentro de los sistemas cerrados, existen básicamente dos configuraciones; biorreactores verticales y horizontales. En los primeros, el reactor es un recipiente cerrado cuya altura supera con creces la superficie que ocupa su base. En estos biorreactores el material compostable se añade por la parte superior y este va descomponiéndose poco a poco en el seno del reactor, de forma gradual hacia abajo. El material ya compostado/maduro se extrae por la parte inferior. Los reactores verticales pueden ser discontinuos (la materia prima se encuentra dividida en distintos niveles dentro del reactor, ordenada de por madurez: el piso más alto corresponde con la materia fresca y el más bajo con el compost maduro) o continuos (toda la materia prima comprende una columna única que se composta gradualmente). Esta configuración presenta grandes ventajas en cuanto a espacio utilizado, ya que al ser verticales pueden procesar una gran cantidad de biorresiduos en muy poco espacio. Además, en el caso de los continuos principalmente, el material cae por gravedad de las zonas más altas a las más bajas, eliminando la necesidad de un sistema mecánico de movilización del compost. Sin embargo, en esta configuración hay que prestar especial atención a la compactación del material. La conformación vertical aporta una mayor cohesión de la masa compostable, facilitando la comunicación y migración de las comunidades microbianas bien desarrolladas de las zonas más maduras con las zonas frescas, aumentando la eficiencia del proceso. No obstante, el apilamiento en vertical de grandes cantidades de materia genera altos grados de compactación, debido al peso de la columna de material, pudiendo afectar negativamente al proceso. Un material muy compactado no permite el flujo adecuado los fluidos (agua, oxígeno, CO₂...) generando ambientes impares en el seno del material y dificultando los procesos de humectación/aireación del material. Además, típicamente la aireación en este tipo de sistemas se realiza de abajo hacia arriba, corriendo el riesgo de que las zonas bajas se enfríen y las más altas no sean aireadas correctamente. Lo mismo ocurre con la humectación, si esta se realiza de arriba hacia abajo, existe el riesgo de que las zonas altas queden muy mojadas y las más bajas no se humecten adecuadamente. Así pues, se hace necesario gestionar adecuadamente el material entrante para evitar estos efectos negativos y así poder aprovechar todas las ventajas de este sistema. Mediante la realización de mezclas adecuadas, en las cuales haya un buen porcentaje de material estructurante que permita un adecuado flujo de aire y agua, junto con sistemas de humectación/aireación óptimos, este modelo de biorreactor se posiciona como una de las opciones más eficientes y viables para el compostaje de biorresiduos.

Los sistemas horizontales tienen la característica de tratar mecánicamente y de forma continua el material a compostar; ya sea por rotación del cilindro o por poseer dispositivos de agitación (Junta de Andalucía). Al igual que cualquier otro método, estos sistemas son modificables, es decir, su configuración y estructura pueden variar en función del diseño que se realice, pudiendo desarrollar múltiples variantes de un mismo sistema. Básicamente estos sistemas están formados por un contenedor horizontal en el cual por un extremo se añade la materia prima y por el otro extremo se extrae el material compostado. Estos reactores requieren de un sistema auxiliar para mover el sustrato desde un extremo al otro, permitiendo la entrada de nuevo material y la extracción del material maduro. Esta configuración ocupa más espacio que la anterior y permite gestionar menos materia por reactor. Además, en el caso de que se diseñe uno de estos reactores de gran tamaño, por un lado, la altura lo

convertiría en un reactor vertical, y la longitud en un reactor horizontal. Esta combinación aunaría los problemas de compactación de los reactores verticales con la dificultad para mover una gran masa de sustrato a lo largo del reactor. Finalmente cabe mencionar que este tipo de reactores se emplean comúnmente como elementos de estabilización de la materia orgánica más que como agentes compostadores. Al pasar por estos sistemas la materia orgánica se estabiliza parcialmente, consumiendo sus componentes más fácilmente degradables, y a continuación esta materia orgánica se incorpora en otro sistema para realizar el compostaje propiamente dicho. Sin embargo, sujetos a un diseño adecuado, los reactores horizontales son perfectamente viables para el compostaje completo de materia orgánica.

Por contraposición, los sistemas abiertos son aquellos en los que el proceso de compostaje se realiza en espacios abiertos o parcialmente abiertos. Estos métodos de compostaje son los más empleados y extendidos, a todos los niveles (industrial, doméstico, granjeo, agrícola...) y los que presentan una mayor variedad en cuanto configuraciones disponibles, debido a su gran versatilidad y capacidad de adaptación a las distintas circunstancias. Los sistemas abiertos, pese a que requieren relativamente mayor superficie y tiempo que los sistemas cerrados, presentan una serie de ventajas que los postulan, generalmente, como la opción óptima. Las principales características ventajosas de estos métodos son que requieren una inversión inicial mucho menor y un mantenimiento escaso o nulo; se pueden instalar en prácticamente cualquier ambiente, modificando las variables necesarias; se adaptan cómodamente a variaciones en los volúmenes de producción; se pueden gestionar con una gran variedad de dispositivos (maquinaria volteadora, tuberías de aire, aspersores, sondas de temperatura y humedad, medidores de pH...) o que se pueden instalar en zonas aisladas (sin disponibilidad de suministro eléctrico e incluso de agua) (Rynk *et al.* 1992; Roben, 2002).

A causa de estas características existen multitud de conformaciones y variantes para los sistemas de compostaje abiertos. Si bien muchos autores y asociaciones de distinta índole han descrito e investigado sobre múltiples formas de llevar a cabo el compostaje en sistema abierto, todos los formatos son variaciones de una misma conformación única sobre la cual se añaden elementos o se modifican algunos aspectos. Este escrito se centra en el método de *ringleras* (*i.e.* hileras.), término análogo del inglés *windrows*, como conformación básica sobre la cual se construyen el resto de los métodos y se especifican las alteraciones de las *ringleras* para obtener el resto de las configuraciones descritas, no obstante, otros métodos básicos pueden ser modelo para construir el resto. La estructura básica en *ringlera* se muestra en la figura 4.

El sistema de compostaje mediante *ringleras* o *windrows* consiste en apilar los materiales sobre una superficie formando una estructura semicircular/trapezoidal/triangular, cuya anchura de la base puede oscilar entre 2 y 6 metros, su altura entre 1 y 4 metros aproximadamente y su longitud se puede extender indefinidamente. Este sistema permite ampliar la capacidad simplemente aumentando la longitud de la *ringlera* y se adapta al diseño modular; se pueden reproducir indefinidas *ringleras* de forma contigua. Así mismo, frente a menores volúmenes de trabajo, simplemente eliminando *ringleras* y/o reduciendo sus respectivas longitudes el sistema se adapta a las nuevas condiciones. Sobre esta base, se pueden añadir distintos elementos y estructuras para mejorar la gestión del proceso y aumentar la eficiencia del compostaje y así concebir las distintas variantes del sistema.

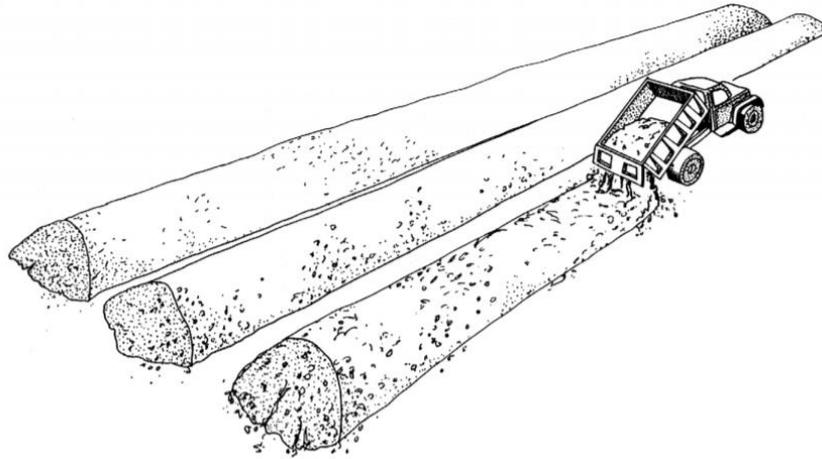


Figura 4. Conformación en ringleras o *windrows* (Archer *et al.*, 2009).

La forma más sencilla consiste en ringleras estáticas simples, en las cuales simplemente se dispone la materia orgánica sobre la superficie en ringleras y se deja que las poblaciones microbianas se desarrollen por sí solas y lleven a cabo el proceso de compostaje. Esta forma, pese a ser la menos costosa, al estar desprovista de sistemas de aireación y humectación, no es recomendable ya que hay un alto riesgo de anaerobiosis, degradación incompleta y compactación. Para subsanar estas desventajas es necesario aportar algún sistema de descompactación/aireación a la ringlera, como pueden ser los volteos de todo el material, mediante pala cargadora o maquinaria especializada. Este proceso descompacta el montón y favorece la aireación simplemente por agitación/rotación mecánica. A su vez, se pueden implementar otros sistemas de aireación más complejos, ya sean pasivos o forzados. La aireación pasiva consiste en instalar algún elemento en la ringlera que favorezca la circulación natural de aire a través de su seno. Esto pueden ser tuberías perforadas a lo largo de la ringlera o incluso en vertical a modo de chimeneas; estas tuberías facilitan la entrada de aire en la pila por la propia circulación natural e incluso por el flujo de calor, ya que en el centro de la pila el aire se calienta y asciende, generando un vacío capaz de succionar aire de forma natural. El sistema de aireación forzada se basa en el mismo principio, con la particularidad de que el aire circula activamente a través de la ringlera por la acción de algún sistema mecanizado. Esto podrían ser tuberías perforadas acopladas a un compresor; una base sobre la que se construye la pila agujereada y con capacidad para movilizar aire... En definitiva, cualquier sistema capaz de mover aire a través de la masa compostable, ya sea por expulsión o succión a través de la pila. Adicionalmente a las formas de airear la pila, también se puede gestionar la humedad, pues es de vital importancia. Para ello, se puede regar el sustrato al voltear o periódicamente, mediante mangueras, aspersores sobre una estructura o insertados en el seno del material... existen múltiples formas de añadir humedad a la ringlera, todas ellas correctas siempre que se aplique la humedad adecuada. De igual modo, el resto de los parámetros se pueden modular mediante la adición de elementos y/o estructuras que cumplan este propósito; cal o soluciones básicas para bajar el pH, estructurantes (virutas de madera, serrín, papel...) para soltar la estructura, materia fresca o seca para corregir la relación entre constituyentes... Todos los parámetros son modificables, y deben ser modificados siempre para que el proceso alcance las condiciones óptimas. Para que esto sea posible, es necesario conocer el estado del compost, en relación con los parámetros que influyen en el proceso, en tiempo real y en todo momento. Esto se consigue mediante el uso de distintas sondas; sondas de temperatura, humedad o medidores de pH, insertadas en el seno de la ringlera.

A partir de este modelo básico de compostaje, elegido como tal por su analogía a las *windrows*, se pueden idear múltiples variantes que sirvan al mismo proceso, como el compostaje en trinchera; obtenido mediante la excavación de fosos alargados (trincheras) y llenándolos de material a compostar, es decir, construyendo una ringlera en un foso en lugar de en la superficie. Otro método muy extendido, que también se podría utilizar como conformación básica, es el compostaje en pilas, que consiste en construir montones regulares (montículos) de sustrato compostable y llevar a cabo el proceso en esta estructura, la cual, puede generarse mediante el acortamiento de una ringlera; una ringlera no alargada es una pila. A su vez, se pueden construir muros a ambos lados de la ringlera, generando “cajoneras” o se puede tapar la ringlera por completo, formando un cajón cerrado ... Es decir, una vez conocido el proceso de compostaje y los parámetros necesarios para su correcto desarrollo, la conformación de la estructura que alberga el sustrato y en la cual se desarrolla todo el proceso está completamente sometida al criterio del diseñador; todos los métodos son válidos siempre que se adapten a las condiciones particulares de trabajo (Rynk R *et al.* 1992; Chen *et al.*, 2012; Junta de Andalucía; Diaz *et al.*, 2007).

5.2.5. Legislación y Normativa

El compost que se obtiene tras realizar el proceso de biodegradación de residuos orgánicos, pese a ser un producto estabilizado y apto para la nutrición vegetal, debe cumplir una serie de parámetros y requisitos para poder considerarlo propiamente compost y, en función de estos requisitos, determinar la calidad del producto. La legislación establece unas cantidades de metales, gravas, vidrios, plásticos, diámetros de partícula, humedad o materia orgánica que se deben cumplir y/o no superar tanto en la materia prima como en el producto final para poder utilizarlo como compost. Este producto, al tratarse de un residuo revalorizado, está sujeto a distintas legislaciones, ya que ocupa diversos campos técnicos/legales. Por un lado, el hecho de que se obtenga a partir de biorresiduos provoca que se encuentre regulado y catalogado dentro de la normativa referente a los residuos. Esto obliga a cumplir las diferentes normativas que reglamentan este campo; normativa comunitaria de la Unión Europea, normativa nacional española y normativa del Comunitat Valenciana.

El compost queda recogido, por el Real Decreto 506/2013 sobre productos fertilizantes, que a su vez recae en el Reglamento (CE) n.º 2003/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 2003. En este decreto se encuentran las siguientes definiciones:

“Residuo orgánico biodegradable: residuo o subproducto de origen vegetal o animal utilizado como materia prima” (29)

“Compostaje: proceso controlado de transformación biológica aeróbica y termófila de materiales orgánicos biodegradables que da lugar a los tipos de abonos o enmiendas orgánicos” (31)

A su vez, queda recogido en este Real Decreto, en el Anexo IV, todos los residuos considerados biodegradables (de acuerdo con la decisión 2002/118/CE de 16 de enero) y los parámetros de calidad que debe cumplir el compost (Tabla 8), a saber:

02 RESIDUOS DE LA AGRICULTURA, HORTICULTURA, ACUICULTURA, SILVICULTURA, CAZA Y PESCA; RESIDUOS DE LA PREPARACIÓN Y ELABORACIÓN 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 animales (salvo lo exceptuado en el Reglamento 1069/2009)
 - 02 01 03 Residuos de tejidos vegetales
 - 02.01.06 Deyecciones de animales, estiércoles y efluentes recogidos selectivamente y tratados fuera del lugar donde se generan
 - 02 01 07 Residuos de la silvicultura
 - 02 01 99 Residuos no especificados en otra categoría: sustrato agotado y posteriormente higienizado del cultivo de setas.
- 02 02 Residuos de la preparación y elaboración de carne, pescado y otros alimentos de origen animal (salvo lo exceptuado en el Reglamento 1069/2009)
 - 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 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 04 Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración
 - 02 03 05 Lodos de tratamiento «in situ» de efluentes
- 02 04 Residuos de la elaboración de azúcar

- 02 04 03 Lodos de tratamiento «in situ» de efluentes
- 02 05 Residuos de la industria de productos lácteos
- 02 05 01 Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración
- 02 05 02 Lodos de tratamiento «in situ» de efluentes
- 02 06 Residuos de la industria de panadería y pastelería
- 02 06 01 Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración
- 02 06 03 Lodos de tratamiento «in situ» de efluentes
- 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 separación mecánica de materias primas
- 02 07 02 Residuos de la destilación de alcoholes
- 02 07 04 Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración
- 02 07 05 Lodos de tratamiento «in situ» de efluentes

03 RESIDUOS DE LA TRANSFORMACIÓN DE LA MADERA Y DE LA PRODUCCIÓN DE TABLEROS Y MUEBLES, PASTA DE PAPEL, PAPEL Y CARTÓN.

- 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 05 Serrín, virutas, recortes, madera, tableros de partículas y chapas que no contienen sustancias peligrosas.
- 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 08 Residuos procedentes de la clasificación de papel y cartón destinados al reciclado
- 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

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 del encalado
- 04 01 07 Lodos, en particular los procedentes del tratamiento in situ de efluentes, que no contienen cromo
- 04 01 99 Residuos no especificados en otra categoría: residuos del curtido vegetal de piel (virutas) que no contienen cromo.
- 04 02 Residuos de la industria textil
- 04 02 10 Materia orgánica de productos naturales (por ejemplo grasa, cera)
- 04 02 20 Lodos de tratamiento in situ de efluentes que no contienen sustancias peligrosas
- 04 02 21 Residuos de fibras textiles no procesadas

19 RESIDUOS DE LAS INSTALACIONES PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS.

- 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 (salvo lo exceptuado en el Reglamento 1069/2009) o vegetal

- 19 06 Residuos del tratamiento anaeróbico de residuos
 - 19 06 03 Licores («digestato») del tratamiento anaeróbico de residuos municipales
 - 19 06 04 Materiales de digestión del tratamiento anaeróbico de residuos municipales
 - 19 06 05 Licores («digestato») del tratamiento anaeróbico de residuos animales (salvo lo exceptuado en el Reglamento 1069/2009) y vegetales
 - 19 06 06 Materiales de digestión del tratamiento anaeróbico de residuos animales (salvo lo exceptuado en el Reglamento 1069/2009) y vegetales.
- 19 08 Residuos de plantas de tratamiento de aguas residuales no especificadas en otra categoría
 - 19 08 05 Lodos del tratamiento de aguas residuales urbanas, con contenidos en metales pesados inferiores a los establecidos en el real decreto 1310/1990.
 - 19 08 12 Lodos procedentes del tratamiento biológico de aguas residuales industriales, que no contienen sustancias peligrosas
 - 19 08 14 Lodos procedentes de otros tratamientos de aguas residuales industriales, que no contienen sustancias peligrosas

20 RESIDUOS MUNICIPALES (RESIDUOS DOMÉSTICOS Y RESIDUOS ASIMILABLES PROCEDENTES DE LOS COMERCIOS, INDUSTRIAS E INSTITUCIONES), INCLUIDAS LAS FRACCIONES RECOGIDAS SELECTIVAMENTE.

- 20 01 Fracciones recogidas selectivamente
 - 20 01 08 Residuos biodegradables de cocinas y restaurantes
 - 20 01 25 Aceites y grasas comestibles
 - 20 01 38 Madera que no contiene sustancias peligrosas
- 20 02 Residuos de parques y jardines
 - 20 02 01 Residuos biodegradables
- 20 03 Otros residuos municipales
 - 20 03 02 Residuos de mercados de origen vegetal y animal
 - 20 03 04 Lodos de fosas sépticas

En el siguiente anexo, Anexo V, se detallan los criterios aplicables a los fertilizantes procedentes de residuos biodegradables. A saber:

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

Escherichia coli: < 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 el Cuadro siguiente, según sea su clase A, B o C:

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	No detectable según método oficial	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 en el capítulo IV, 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 modificarán, 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.

Tabla 8. Parámetros para tener en cuenta en el compost. (BOE, 2013)

N.º	Denominación del tipo	Informaciones sobre la forma de obtención y los componentes esenciales	Contenido mínimo y máximo (porcentaje en masa) Otros requisitos	Otras informaciones sobre la denominación del tipo o del etiquetado	Contenido en nutrientes que debe declararse y garantizarse. Formas y solubilidad de los nutrientes Otros criterios
1	2	3	4	5	6
02	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	<ul style="list-style-type: none"> - Materia orgánica total: 35%. - Humedad máxima: 40%. - C/N < 20. Las piedras y gravas eventualmente presentes de diámetro superior a 5 mm, no superarán el 2%. Las impurezas (metales, vidrios y plásticos) eventualmente presentes de diámetro superior a 2 mm, no superarán el 1,5%. El 90% de las partículas pasarán por la malla de 25 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> - pH. - Conductividad eléctrica. - Relación C/N. - Humedad mínima y máxima. - Materias primas utilizadas. - Tratamiento o proceso de elaboración, según la descripción indicada en la columna 3 	<ul style="list-style-type: none"> - Materia orgánica total. - C orgánico. - N total (si supera el 1%). - N orgánico (si supera el 1%). - N amoniacal (si supera el 1%). - P₂O₅ total (si supera el 1%). - K₂O total (si supera el 1%). - Ácidos húmicos. - Granulometría.
03	Enmienda orgánica Compost vegetal.	Producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), exclusivamente de hojas, hierba cortada y restos vegetales o de poda, bajo condiciones controladas	<ul style="list-style-type: none"> - Materia orgánica total: 40%. - Humedad máxima: 40%. - C/N < 15. No podrá contener impurezas ni inertes de ningún tipo tales como: piedras, gravas, metales, vidrios o plásticos. 	<ul style="list-style-type: none"> - pH. - Conductividad eléctrica. - Relación C/N. - Humedad mínima y máxima. - Tratamiento o proceso de elaboración, según la descripción indicada en la columna 3 	<ul style="list-style-type: none"> - Materia orgánica total. - C orgánico. - N total (si supera el 1%). - N orgánico (si supera el 1%). - N amoniacal (si supera el 1%). - P₂O₅ total (si supera el 1%). - K₂O total (si supera el 1%). - Ácidos húmicos. - Granulometría.
04	Enmienda orgánica Compost de estiércol.	Producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), exclusivamente de estiércol, bajo condiciones controladas	<ul style="list-style-type: none"> - Materia orgánica total: 35%. - Humedad máxima: 40%. - C/N < 20. No podrá contener impurezas ni inertes de ningún tipo tales como: piedras, gravas, metales, vidrios o plásticos. 	<ul style="list-style-type: none"> - pH. - Conductividad eléctrica. - Relación C/N. - Humedad mínima y máxima. - Tratamiento o proceso de elaboración, según la descripción indicada en la columna 3 	<ul style="list-style-type: none"> - Materia orgánica total. - C orgánico. - N total (si supera el 1%). - N orgánico (si supera el 1%). - N amoniacal (si supera el 1%). - P₂O₅ total (si supera el 1%). - K₂O total (si supera el 1%). - Ácidos húmicos. - Granulometría.
05	Enmienda orgánica Vermicompost.	Producto estabilizado obtenido a partir de materiales orgánicos, por digestión con lombrices, bajo condiciones controladas	<ul style="list-style-type: none"> - Materia orgánica total: 30%. - Humedad máxima: 40%. - C/N < 20. - El 90% de las partículas pasarán por la malla de 25 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> - pH. - Conductividad eléctrica. - Relación C/N. - Humedad mínima y máxima. - Se podrán añadir las denominaciones usuales en el comercio 	<ul style="list-style-type: none"> - Materia orgánica total. - C orgánico. - N total (si supera el 1%). - N orgánico (si supera el 1%). - P₂O₅ total (si supera el 1%). - K₂O total (si supera el 1%). - Ácidos húmicos. - Granulometría. - Tipo o tipos de estiércoles empleados.

Amén de estas clasificaciones y requisitos, cabe resaltar una particularidad presente en toda la legislación; la procedencia de las materias primas para compostar. Al tratarse de biorresiduos, es decir, la fracción orgánica de los residuos generados a causa de la actividad humana, el origen de la materia orgánica que llega a las instalaciones de compostaje tiene una relevancia destacable y condiciona el producto final, así como su uso y aptitud legal. En función de el origen de la materia prima el sustrato procesado se conoce como compost o como bioestabilizado. Ambos son el fruto de un proceso de degradación biológica controlada, tal y como se ha explicado anteriormente, y se obtiene un sustrato final higienizado y estabilizado. Sin embargo, existe una diferencia sustancial entre ambos productos. El bioestabilizado es el sustrato compostado procedente de biorresiduo recogido no selectivamente, es decir, residuo orgánico mezclado con otros residuos no orgánicos. Esta materia prima puede compostarse directamente o puede pasar por un proceso de separación en el que se eliminan los elementos no compostables (plásticos, vidrios...), sin embargo, el producto final no posee las características necesarias, ya que el contenido en metales pesados o plásticos es elevado, y por ello en ningún caso puede conocerse como compost (Galera, A, *et al.* 2014). Por el contrario, el residuo orgánico obtenido selectivamente, es decir, aquel que no se ha mezclado con ningún otro tipo de residuo en ningún momento, una vez sometido al proceso de degradación biológica controlada, se conoce como compost. Este producto es de alta calidad, no posee impurezas y tiene una gran capacidad comercial. Esta circunstancia pone de manifiesto la necesidad de implementar un sistema de recogida selectiva de residuo

orgánico para poder obtener un compost en planta de calidad y vendible. Así lo recoge la legislación vigente.

Finalmente se hace necesario hacer mención del Plan Integral de Residuos de la Comunidad Valenciana (PIRCV), en el cual se recoge la normativa comunitaria sobre la gestión de todo tipo de residuos. Esta normativa se acoge a la existente a nivel nacional y europeo, sobre la cual añade medidas más concretas y singulares, incidiendo directamente sobre el caso de estudio. Los biorresiduos quedan claramente acotados en esta normativa, siendo el Anexo 8 la sección pertinente.

Este proyecto sigue estrictamente las directrices del PIR97 en cuanto a los biorresiduos.

5.3. Recogida selectiva

La materia prima en el proceso de compostaje son los biorresiduos, y estos, proceden de la actividad humana y son consecuencia del desarrollo de las distintas labores realizadas por la población, vinculando directamente el compostaje de biorresiduos y todo el sistema en el que se desenvuelve con la sociedad en la que se encuentra dicho sistema. En consecuencia, la organización de la infraestructura del compostaje de biorresiduos, así como su gestión al completo, debe adaptarse a la sociedad que los genera y conformar un esquema integral donde todos los componentes estén enlazados y cohesionados.

En este sistema integral, el paso previo al compostaje en planta de la materia prima es la obtención de dicha materia prima y para ello, es necesario adquirirla en los puntos donde se genera. Estos puntos de generación, lejos de ser escasos o concentrados, se encuentran disgregados por todo el territorio a gestionar; zonas de cultivo rurales, restaurantes, zonas pobladas, prisiones, granjas... de forma que para poder reunir suficiente materia prima y realizar un compostaje en planta a media/gran escala, un sistema de recogida común de estos residuos es imprescindible y determinante en todo el proceso. Un sistema de recogida común de biorresiduos permite reunir masas considerables de materia prima, fruto de la convergencia de todos los puntos de generación, para así poder llevar a cabo los procesos de compostaje de mayor complejidad y obtener de forma continua y en cantidades funcionales compost utilizable para la producción vegetal. Sin un sistema de recogida en el que confluyan los biorresiduos de todos los puntos de generación y se gestionen conjuntamente no es posible realizar un proceso de compostaje especializado ni garantizar un suministro importante (ni continuo) de producto final al mercado ya que no se podrían alcanzar masas críticas.

Asimismo, para obtener un producto final vendible y de calidad, una condición ineludible es que la materia prima empleada en el proceso sea de calidad. Por esta razón, el sistema de recogida de los biorresiduos debe garantizar la separación efectiva, en origen, de los materiales valorizables contenidos en los residuos, es decir, debe haber un sistema de recogida selectiva. Para poder obtener un compost final de calidad, sin impropios ni contaminantes, apto para todo tipo de usos (agrarios, paisajísticos, hortícolas, viverístico, ornamentales...), no solo el proceso de compostaje debe realizarse correctamente, sino que los insumos del proceso deben estar libres de estos agentes no deseados. Como se explica en apartados anteriores, la degradación biológica de la materia orgánica es un proceso en el que la actividad de distintos microorganismos (principalmente) higieniza y estabiliza los residuos

orgánicos, generando un producto apropiado para la nutrición vegetal, sin embargo, dicha actividad microbiana se centra en los componentes orgánicos del sustrato (glúcidos simples y complejos, grasas, proteínas...), sin interactuar con los componentes sintéticos e inorgánicos presentes en el medio. Por esta razón, si los constituyentes iniciales del proceso presentan dichos elementos no compostables e inadecuados para el desarrollo vegetal, al final del proceso el producto generado seguirá poseyéndolos, siendo este un producto de mala calidad, no pudiendo considerarse compost y, en definitiva, no apto para su uso en producción vegetal (MITECO, 2018). Por lo cual, la única forma de obtener una materia prima sin contaminantes ni agentes indeseados es mediante la generación de biorresiduos separadamente, sin mezclar en ningún momento materia orgánica con el resto de los residuos (ni en contenedores domésticos ni en contenedores municipales) y mediante una recogida selectiva de estos biorresiduos, garantizando la situación de aislamiento en todo momento de estos residuos desde los puestos de recogida hasta la llegada al recinto de compostaje.

Como se especifica en el apartado anterior, un sistema de recogida selectiva de materia orgánica no solo es indispensable para obtener una materia prima separada en origen, sin impurezas o impropios, proporcionando un sustrato de calidad a las plantas de compostaje, sino que, a efectos legales, ningún producto generado por degradación biológica controlada (*i.e.* compostaje) que no proceda de biorresiduos recogidos selectivamente puede considerarse compost. Solo se considera compost al producto biodegradado proveniente de materia orgánica que no haya tenido ningún contacto con otros residuos. En el caso de realizar un proceso de “compostaje” sobre un sustrato de biorresiduo procedente de recogida en masa, es decir, mezclado con otro tipo de residuo, el producto final resultante se considera material bioestabilizado.

Si bien la recogida selectiva de orgánica es un sistema eficiente y óptimo para poder producir un compost adecuado y de calidad, cabe mencionar que, al suponer una metodología más compleja, se encarece el proceso pues, toda la nueva gestión e infraestructura tiene unos costes añadidos para tener en cuenta (Gallardo, A *et al.* 2008) **8**. Esto se debe a que un sistema integral de recogida selectiva supone una modificación del sistema preexistente, sobre el cual se añaden nuevos elementos e infraestructuras y se mantienen los ya existentes, pues sigue siendo necesaria la recogida del resto de los residuos, lo cual genera nuevos gastos, tanto fijos como variables, y una inversión inicial para sufragar la adición de la nueva red de recogida. Esta red requiere, como mínimo, contenedores municipales específicos de orgánica, para poder acopiar el biorresiduo que se genera en las zonas de actividad humana y camiones recolectores específicos de biorresiduo, para evitar cualquier contacto entre el residuo orgánico y el no orgánico. En el primer caso, es necesario disponer de contenedores específicos, independientemente del método de recogida empleado, para depositar el biorresiduo sin que haya contacto con el residuo no orgánico. La infraestructura mínima sería los contenedores municipales en zonas públicas (aceras, zonas de aportación, ecoparques...) sin embargo, también se podrían distribuir pequeños contenedores domésticos a los hogares para facilitar el proceso, o bolsas degradables para optimizar el proceso en planta, o cualquier otro elemento que incremente la eficiencia del proceso. De la misma forma, en el segundo caso, para asegurar el aislamiento de la materia orgánica y evitar su contacto con otros residuos, en la propia recogida y transporte de esta, los camiones que la recogen deben ser específicos de orgánica, o, al menos, deben ser lavados antes de cargar con orgánica, y estar libres de cualquier residuo ajeno que pueda acabar como impropio en el sustrato a compostar.

Finalmente cabe mencionar que, al tratarse de residuo orgánico, es altamente degradable, sobre todo los restos de comida de los hogares, compuestos principalmente de materia fresca (RAD), esto implica que con pocas cantidades y en poco tiempo, los microorganismos descomponedores pueden colonizar el cubo en el que se almacena el biorresiduo en los puntos de generación y empezar una degradación natural. En ese caso, se generan lixiviados y, sobre todo, malos olores que resultan muy molestos, convirtiendo en un incordio, y un problema, para los ciudadanos y la vía pública, obligando a establecer una recogida de estos residuos más frecuente y accesible.

Debido a todas estas circunstancias, la adición del sistema de recogida selectiva de materia orgánica al sistema actual de recolección de residuos supone un modelo más costoso y complejo que el tradicional, incorporando nuevos agentes y elementos y agregando distintos gastos inexistentes en el modelo anterior. Por ello el nuevo sistema debe ser gestionado cuidadosa y profesionalmente, para optimizar al máximo el proceso, obteniendo materia orgánica para el compostaje sin impropios y evitando crear un sistema poco eficiente y costoso, ya que pese al coste añadido es un proceso completamente necesario. Para realizar este sistema de recogida existen básicamente cuatro modelos: Recogida en los domicilios mediante colecta puerta a puerta, recogida en acera mediante contenedores particulares, recogida en áreas de aportación mediante contenedores en zonas próximas a domicilios y recogida en instalaciones de gestión mediante la entrega del ciudadano (Marrero, X *et al.* 2018).

5.3.1. Recogida en domicilio (puerta a puerta)

La recogida en domicilio, o puerta a puerta, es una de las formas más específicas de recogida selectiva, donde la ciudadanía participa más activamente y se obtienen resultados de alta calidad. En este sistema la separación se hace directamente en los puntos de generación (hogares, restaurantes, bares, hoteles...) y son los generadores (ciudadanos, hosteleros...) los que separan los residuos. En los hogares (o puntos de generación) debe haber un contenedor específico de orgánica, en el cual se van depositando los biorresiduos y, en el día asignado, estos contenedores se sacan a la calle y son recogidos por los camiones pertinentes. Para la recogida de los cubos en la calle se establece un calendario de recogida, especificando el momento y la frecuencia en la que los camiones oficiales pasan a recoger los cubos particulares y es en ese momento cuando deben sacarse a la calle. Mediante este sistema los contenedores de la calle van desapareciendo, liberando la vía pública y se fuerza la participación ciudadana pues, para deshacerse de los residuos deben sacarlos el día asignado y debe haberse realizado una separación correcta, en caso contrario, no son recogidos. De esta forma se garantiza un control eficaz de la separación de residuos y facilita la aplicación de medidas correctoras. Evidentemente, este sistema contempla una asistencia para casos excepcionales (como granjas, masías aisladas, incompatibilidad de horarios etc.) en los que el residuo se depositaría en áreas de aportación donde hay disponibles todos los contenedores necesarios.

5.3.2. Recogida en acera

En el sistema de recogida en acera consiste en habilitar contenedores específicos de orgánica en las aceras de los domicilios, ya sea el ayuntamiento o el propio ciudadano, para que el residuo orgánico generado en domicilio se vaya depositando en este contenedor, a placer del ciudadano (un día a la semana, diariamente, etc.), y los agentes de recogida municipal

recolecten el contenido de estos contenedores en el momento asignado. Una vez más, si el contenido del contenedor no es adecuado no se recoge. Este modelo sigue siendo muy específico e involucra activamente al ciudadano, a la par que garantiza un control activo de la separación en origen del biorresiduo. Al igual que en el anterior, debe haber disponibilidad de áreas de aportación para casos excepcionales.

5.3.3. Recogida en áreas de aportación (contenedores por sectores)

Este modelo de recogida es el más extendido en cuanto a recolecta de residuos sólidos urbanos, sobre todo para la fracción resto, y consiste en básicamente un contenedor para un área determinada. Para esta forma de recogida, se establecen sectores de recolección, que corresponden a zonas repartidas por todo el territorio, en las que hay puntos de generación (hogares, hoteles, bares...) y en las que se genera un volumen de residuo concreto (esperado) y cada uno de estos sectores posee un contenedor (o varios) en el que todos los residuos orgánicos generados en dicha zona deben ser depositados. Los distintos generadores acumulan el residuo por su cuenta y lo van depositando en las zonas de aportación a placer y los camiones oficiales recogen el residuo únicamente en estas zonas y en los momentos establecidos. De esta forma se agiliza la recogida por parte de los camiones municipales, abaratando el proceso, pero se desvincula en mayor medida al ciudadano y hay un menor control sobre la separación de residuos en origen.

Basado en este modelo de recogida, se ha desarrollado el sistema del quinto contenedor de orgánica. Este sistema consiste en implantar un quinto contenedor en el cual se deposite la materia orgánica generada en los municipios (FORSU), tal como ya se hace con el vidrio, el papel y cartón o los envases (plástico, brik y metal), dejando un último contenedor para la fracción resto. Este modelo para la recogida del biorresiduo está siendo ampliamente utilizado en España, principalmente en comunidades como Catalunya, Euskadi, la Rioja o Comunitat Valenciana (Gallardo *et al.*, 2017). En las experiencias llevadas a cabo por Gallardo *et al.*, se observó que el porcentaje de materia orgánica en el contenedor FORSU fue aumentando conforme el experimento avanzaba (Partiendo de un 70% hasta un 90%). Este modelo es el más ampliamente utilizado y el que se está implantando en las distintas municipalidades debido a su adaptabilidad al sistema; simplemente se coloca un nuevo contenedor junto con los ya existentes en las áreas de aportación. El ciudadano no altera la ruta ni el lugar donde deposita los residuos, los camiones de recogida no deben ampliar su itinerario, los servicios de limpieza mantienen su recorrido...

5.3.4. Entrega en Instalaciones de gestión (ecoparques, centros RSU...)

Finalmente existe un último modelo de recogida selectiva de materia orgánica en el cual los residuos se deben entregar en instalaciones específicas. Estas instalaciones, usualmente conocidas como ecoparques, son bastante comunes y funcionan como elementos auxiliares; se depositan aquellos residuos que no se pueden manejar en los hogares o en las aceras, como serían los voluminosos o los restos de obras. Un modelo basado en esta forma de entrega de residuos descargaría toda la responsabilidad y trabajo en el ciudadano, obligándolo a llevar todos sus residuos a una zona particular. En este caso el control sobre el trasiego de residuos, así como las medidas correctoras son más difíciles de implementar, no pudiendo hacer un seguimiento minucioso de la separación en origen de los residuos.

5.3.5. Acciones Auxiliares

Juntamente con los modelos planteados para la recogida selectiva de los residuos orgánicos se pueden aplicar distintas medidas auxiliares por parte de la gestión para así mejorar el funcionamiento del sistema, consiguiendo mejores resultados y optimizando recursos en todos los procesos.

Una de las acciones más importantes para lograr este fin es la de informar y enseñar al ciudadano. Mediante algún sistema de información y propaganda en el cual se haga llegar al ciudadano la importancia de la recogida selectiva y su posterior compostaje, así como se le explique y enseñe como realizar la separación en casa y donde y cuando sacarla a las dependencias oficiales es de vital importancia para el funcionamiento de todo el sistema (Gallardo *et al.*, 2017; Marrero *et al.*, 2018). Es el ciudadano el que genera el residuo y el que lo entrega en primera instancia a los servicios de recogida; es el ciudadano el primer elemento de todo el plan de aprovechamiento efectivo de los biorresiduos y es por ello por lo que debe haber una conciencia y un conocimiento sólido y bien arraigado en la sociedad y sus ciudadanos sobre recogida y aprovechamiento de residuos para así poder partir de materia prima bien clasificada. Esta instrucción del ciudadano puede realizarse a cualquier escala (nacional, autonómica, local...), en cualquier medio (panfletos, tarjetas, revistas, anuncios televisivos, programas audiovisuales...), en cualquier momento (en repetidas ocasiones a lo largo del año, por estaciones, semanalmente...) e incluso de forma directa al ciudadano mediante el uso de monitores/as en zonas públicas (plazas, casas de cultura, polideportivos, colegios, centros cívicos...) o privadas (hogares, restaurantes, supermercados, almacenes...) (Marrero, X *et al.* 2018). A su vez, para facilitar la tarea del ciudadano y agilizar el proceso en planta se pueden suministrar contenedores para depositar la fracción orgánica (preferiblemente degradables) y sobre todo bolsas degradables. Este material incentiva al ciudadano, ya que no tiene que conseguir bolsas y cubos por sus propios medios, y beneficia en gran medida las labores en la planta de compostaje ya que supone el ahorro del proceso de ruptura de bolsas y separación del plástico de la materia orgánica. Esto se traduce en menor tiempo de residencia de la materia orgánica en los almacenes de pre-compostaje, menor requerimiento de maquinaria y mano de obra y menor grado de contaminación de las materias primas.

Por otro lado, el correcto manejo de los residuos también puede estar sujeto al factor económico, mediante el uso de incentivos y multas que, sin generar normas de obligado cumplimiento, promuevan la adopción de medidas correctoras por parte de los generadores de biorresiduos para reducir y mejorar su separación simplemente porque resulta económicamente ventajoso. Para ello es necesario gravar a cada contribuyente de forma proporcional a su generación, tipología y separación de residuos e integrarlo en un sistema de penalización-bonificación que tenga en cuenta todos estos criterios. En la gestión de los biorresiduos la responsabilidad no recae únicamente en el gestor final (*i.e.* plantas RSU, plantas de compostaje), sino que el ciudadano tiene también una responsabilidad muy importante dentro del sistema, siendo el actuador inicial, determinante en la calidad de la materia prima que entra en el proceso. Por ello, sobre el ciudadano debe recaer parte de la responsabilidad, incluyéndolo como un componente más del sistema el cual recibe penalizaciones o beneficios en función de su desempeño en la separación y entrega de residuos. Estas medidas económicas cumplen una doble función; por un lado, incorpora al generador dentro del sistema, volviéndolo más circular, y, por otro lado, al relacionar el coste del tratamiento del residuo directamente con el generador de dicho residuo, se genera un

estímulo para reducir la propia generación y mejorar la fiscalidad municipal en cuanto a la generación y recuperación de residuos. Las medidas de penalización se basan en “multas” y tasas impuestas a municipios y ciudadanos en función de la cantidad y calidad del residuo generado. Estas tasas sobre la cantidad de residuo generado, ya sea a nivel municipal o particular, normalmente, establecen un límite legal en cuanto a cantidad de residuo y todo exceso queda penalizado con una cuantía variable. De la misma forma, se pueden aplicar multas sobre particulares cuyos residuos no estén correctamente separados (PaP principalmente) (Puig, 2002). Simultáneamente y de la misma forma que las medidas penalizadoras, también se pueden establecer bonificaciones a aquellos generadores que manejen correctamente los biorresiduos, ya sea por reducción de la propia generación o por separaciones de alta calidad. El modo en el que se monitorice la generación de residuos por contribuyente, así como los límites y las tasas vinculadas a dichos límites dependen de la autoridad competente y del criterio del organismo encargado de su diseño; cada municipio o zona territorial tiene potestad para instaurar el modelo que desee, siempre que cumpla la máxima de reducir la generación de residuos y recuperar/aprovechar en la mayor medida posible los residuos generados. En la actualidad existen múltiples modelos para este fin, como pueden ser el pago por bolsa, en el cual el ayuntamiento proporciona bolsas homologadas (las únicas que se recogen) y se paga tanto el coste de recogida y tratamiento como el coste de las bolsas, de modo que, a más bolsas consumidas, mayor es el coste y el coste total es proporcional al volumen de bolsas generadas. De la misma forma, se puede emplear el pago por etiqueta (más barato y fácil de distribuir), en el cual el ayuntamiento proporciona etiquetas adhesivas que se deben pegar a las bolsas de basura convencionales y estas son las que se registran y gravan la generación de biorresiduos por parte de los ciudadanos. Otra forma de monitoreo de los biorresiduos particulares es el pago por contenedor, en la cual los contenedores de la recogida puerta a puerta (anteriormente comentada) son los que cuantifican la generación de los residuos en función de la cantidad de residuo (peso y/o volumen) y la periodicidad en la que se recogen (dentro de las opciones que permita el Ayuntamiento). El pesado manual de las bolsas, es decir, que los operarios pesen individualmente todas las bolsas/residuos en el momento de su recogida es uno de los métodos más fieles y exactos para conocer los residuos generados en cada hogar, sin embargo, presenta el inconveniente de ser muy costoso) (Puig, 2002; Puig, 2004). Finalmente, se pueden desarrollar métodos con un mayor grado de automatización y/o interacción con el ciudadano, como serían los carnés/cédulas vinculados a los residuos. Este sistema plantea el establecimiento de tarjetas electromagnéticas individuales vinculadas a un programa informático que grave la generación y/o la calidad de la separación de los residuos generados por los ciudadanos y automáticamente relacione estas acciones con un sistema de penalización-bonificación interactivo. Estas tarjetas pueden utilizarse para pagar directamente el servicio (previo prepago y recarga de estas), pueden utilizarse para abrir el contenedor y este registra las entradas para su pago posterior, e incluso se puede establecer un sistema por puntos en el cual en función de la cantidad de residuo generado y/o la calidad de dicho residuo se genere una interacción automática que suma o resta puntos. Estos puntos pueden ser canjeables por los distintos productos/servicios disponibles en la municipalidad; descuentos en los impuestos, en establecimientos públicos (bibliotecas, teatros, museos, aparcamientos, cooperativas...) e incluso en establecimientos privados si se alcanza algún acuerdo). Es decir, cualquier actuación complementaria que mejore el sistema de recogida selectiva de biorresiduos puede implementarse, tanto a escala municipal como regional, y ser perfectamente funcional.

6. Planta de Compostaje

Una planta de compostaje es una instalación técnica diseñada para llevar a cabo el proceso de descomposición mediante procesos biooxidativos de cualquier fuente de materia orgánica que se disponga para así generar, a partir de residuos, un producto revalorizado con potencial para la nutrición vegetal, conocido como compost. El objeto de este documento es diseñar una instalación de estas características para el caso particular de la planta biotecnológica de gestión de residuos sólidos urbanos de Cervera del Maestre. En esta planta, al igual que en muchas otras, se debe implantar un sistema paralelo de compostaje debido al establecimiento de la recogida selectiva de forma obligatoria en todos los municipios, lo cual generará, en un corto lapso, la aparición de nuevas entradas independientes de residuos (biorresiduos) que deberán ser procesados de forma independiente al resto de residuos. Esta es la razón por la que se hace necesario el diseño de una planta capaz de gestionar y procesar dicha materia orgánica de forma efectiva y eficiente. En este caso se debe tener en cuenta que la tendencia de entradas es al alza; debido a la reciente implantación del sistema de recogida selectiva de materia orgánica, las cantidades recibidas son relativamente pequeñas, pero, conforme pase el tiempo se irán aumentando hasta que se alcance un valor constante (o constante estacional). Esta particularidad condiciona el diseño; por una parte, es necesario crear una instalación de compostaje eficiente que reduzca en la medida de lo posible los tiempos de residencia del biorresiduo en planta y así producir compost de calidad en tiempos cortos, para evitar el acumulamiento excesivo de residuo orgánico y suministrar al mercado fertilizante de forma continua y estable. Por otra parte, también se hace necesario un diseño adaptable a diferentes volúmenes de trabajo, primando el diseño modular y evitando cualquier impedimento o mal funcionamiento de la instalación debido tanto a volúmenes escasos de materia prima como a excesos de esta.

En esta planta se gestionan los residuos de la zona norte de Castelló, con un total de 49 municipios y un sistema de recogida selectiva de residuos orgánicos básicamente en áreas de aportación (contenedores por sectores). La recogida selectiva de residuos orgánicos en esta zona es bastante primeriza (sobre 1 año) y todavía se está estableciendo en los distintos municipios; existen muchos en los que ya está establecida (Benicarló, Alcalá de Xivert, Cálig, Albocàsser, Benlloch, Les Coves de Vinromà...) pero existen algunos en los que está por llegar. Pese a ello, es de esperar que en relativamente poco tiempo todos los municipios ya tengan implantado un sistema de recogida selectiva de materia orgánica, ya que, por un lado, desde la primera implantación ha habido un continuo de municipios implantando el sistema y, por otro lado, tanto la necesidad social como legal suponen un fuerte apremio ineludible por las localidades.

Atendiendo a los datos de pesadas de materia orgánica referentes al 2018, se sabe que en la planta de Cervera han llegado 888330 kg de biorresiduo. A su vez, los municipios de los cuales este biorresiduo procede suman un total de 39834 habitantes. De esta forma, se puede estimar una producción de biorresiduo por habitante y año de 22'3 kg/persona. Este dato podría ser extrapolable al conjunto poblacional de la zona 1, lo cual serviría para futuros proyectos sobre procesamiento de biorresiduos.

A su vez, no solo la propia implantación es un factor para tener en cuenta, sino que, la calidad de la separación en origen también supone una cuestión de relevancia en este trabajo. Para ello, se hace necesario el establecimiento de un programa de información y concienciación ciudadana que permita mejorar el sistema. Se ha demostrado en diversos

estudios (Marrero *et al.*, 2018; Pastor *et al.*, 2019; Gallardo *et al.*, 2017) que la calidad en la separación en origen de los residuos está directamente relacionada con el nivel de formación/conocimiento que poseen los ciudadanos sobre biorresiduos (origen, destino, posibles usos, importancia de su revalorización...).

6.1. Materia Prima

Como ya se ha comentado, la base de todo el proceso de compostaje y del éxito en el funcionamiento del sistema de revalorización efectiva del biorresiduo es la materia prima que se utilice. Este insumo es el que se obtiene de los diferentes municipios de la zona norte de Castelló procedente del sistema de recogida actualmente implementado. Para establecer el tipo de materia prima, su calidad, contenido y propiedades se emplea la información facilitada por las diferentes caracterizaciones llevadas a cabo por KPMG Auditores S.L. para el biorresiduo procedente de recogida selectiva, gestionado en la planta de selección de Cervera del Maestre.

Las características que definen la tipología de la materia prima con la que se trabaja serán, por un lado, la calidad de dicha materia (en relación con el contenido de impropios), la cual será el factor limitante en cuanto a la calidad y capacidades de uso del producto final y, por otro lado, la existencia de residuo de alta degradabilidad (RAD) y residuo de baja degradabilidad (RBD), dos parámetros decisivos para el conocimiento de las propiedades del material a tratar. Estas dos tipologías biorresiduo determinan que clase de materia hay presente en el sustrato a compostar y su relación con el proceso de compostaje de cada tipo de material. Para realizar el estudio se dispone de 13 caracterizaciones, realizadas en diferentes momentos y sobre residuo orgánico perteneciente a diferentes municipalidades. Estas son: Cálíg (30/03/2017, 29/11/2018, 05/02/2019), Alcalá de Xivert (04/04/2017, 24/07/2018, 10/12/2018, 20/02/2019), Albocàsser (26/11/2018,), Benicarló (27/11/2018, 04/02/2019) y Benlloch y Les Coves (28/11/2018, 06/02/2018). En estas caracterizaciones se aprecia la tipología de residuo que se debe procesar en planta, actuando como muestras representativas del conjunto de biorresiduos de estudio. En las tablas 9, 10, 11, 12 y 13, se muestran los resultados de dichas caracterizaciones (Pastor *et al.* 2019).

Tabla 9: Resultados de las tres caracterizaciones realizadas en Cálíg

Fecha caracterización	30/3/2017	29/11/2018	5/2/2019
Municipio	Càlig		
Humedad (%)	39,4		
Peso de la muestra	209,43 kg	203,18 kg	201,05 kg
FORM (%)	63,27	52,78	49,21
No FORM (%)	36,73	47,22	50,79
Vidrio	2,22	10,07	3,23
Envases plásticos	5,15	7,3	7,98
Briks	0,64	0,47	0,58
Metales	1,21	2,11	1,66

Papel y cartón	6,75	8,59	5,33
Textil	5,55	6,24	4,03
Textil sanitario	2,22	1,61	1,98
Madera	3,34	0	6,08
Otros	8,59	10,83	19,92
Total	100,00	100,00	100,00

Tabla 10: resultados de las cuatro caracterizaciones realizadas en Alcalá de Xivert

Fecha caracterización	3/4/2017	27/7/2018	10/12/2018	20/2/2019
Municipio	Alcalá de Xivert			
Humedad (%)	69,6		63,3	
Peso de la muestra	199,28 kg	160,24 kg	197,92 kg	175,55 kg
FORM (%)	69,27	63,56	71,03	89,28
No FORM (%)	30,73	36,44	28,97	10,72
Vidrio	2,15	5,4	4,98	1,8
Envases plásticos	7,58	8,06	3,03	2,06
briks	0,67	0,44	0,22	0,15
Metales	1,79	1,39	0,84	0,2
Papel y cartón	4,85	8,08	3,53	1,08
Textil	4,04	2,34	2,94	0,94
Textil sanitario	3,35	1,51	0,3	0
Madera	0,70	0,24	0	1,24
Otros	5,60	8,98	13,13	3,25
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabla 11: resultados de las dos caracterizaciones realizadas en Albocàsser

Fecha caracterización	26/11/2018	6/2/2019
Municipio	Albocàsser	
Humedad (%)	38,4	
Peso de la muestra	201,88 kg	199,04 kg
FORM (%)	86,41	80,45
No FORM (%)	13,59	19,55

Vidrio	0	1,36
Envases plásticos	9,82	9,55
briks	0,44	0,1
Metales	0,49	1,44
Papel y cartón	0,84	1,22
Textil	0,59	2,4
Textil sanitario	0	0
Madera	0	0
Otros	1,41	3,48
Total	100,00	100,00

Tabla 12: resultados de las dos caracterizaciones realizadas en Belloch – Les Coves de Vinromà

Fecha caracterización	6/2/2018	28/11/2018
Municipio	Belloch-Coves	
Humedad (%)		59,8
Peso de la muestra	203,02 kg	201,6 kg
FORM (%)	96,22	90,18
No FORM (%)	3,78	9,82
Vidrio	0,34	0,97
Envases plásticos	0,68	1,88
briks	0,04	0,11
Metales	0,18	1,41
Papel y cartón	0,33	1,96
Textil	0,95	0,83
Textil sanitario	0,27	0,23
Madera	0	0
Otros	0,99	2,43
Total	100,00	100,00

Tabla 13: resultados de las dos caracterizaciones realizadas en Benicarló

Fecha caracterización	27/11/2018	4/2/2019
-----------------------	------------	----------

Municipio	Benicarló	
Humedad (%)	48,2	
Peso de la muestra	203,52 kg	199,03 kg
FORM (%)	98,84	96,37
No FORM (%)	1,16	3,63
Vidrio	0	0
Envases plásticos	0,61	0,83
briks	0	0,05
Metales	0	0,03
Papel y cartón	0,16	0,58
Textil	0	0
Textil sanitario	0	0
Madera	0,03	1,09
Otros	0,36	1,05
Total	100,00	100,00

6.2. Residuo de Alta Degradabilidad y Residuo de Baja Degradabilidad

La clasificación RAD-RBD cataloga a los distintos tipos de materiales orgánicos según su capacidad de degradación o grado de compostabilidad. Esta clasificación brinda una visión bastante completa sobre la tipología del material en cuestión ya que hace referencia a distintos parámetros intrínsecos de este. Los residuos de alta degradabilidad poseen todos los componentes esenciales para el desarrollo microbiano, y es por esta razón que son susceptibles de ser biodegradados con facilidad; suponen un medio perfecto para la proliferación de microorganismos. Por lo tanto, los RAD deben poseer alta humedad, deben ser ricos en nitrógeno, poseer nutrientes fácilmente asimilables (azúcares simples, proteínas)... Los biorresiduos que cumplen estos requisitos son los purines, lodos y estiércol fresco, ya que poseen mucha humedad y altas cantidades de nitrógeno; partes carnosas de frutos y plantas, mermeladas, miel y distintas melazas, ya que poseen gran cantidad de azúcares simples... Por el contrario, los residuos de baja degradabilidad son materiales que poseen una actividad microbiana escasa, ya que carecen de uno o varios de los componentes necesarios para que se desarrollen las poblaciones microbianas. Por lo tanto, en esta categoría se engloban materiales muy secos, con poco nitrógeno, con nutrientes difícilmente asimilables (azúcares complejos, polímeros)... Estos pueden ser residuos leñosos (alta lignificación/suberización) como las maderas(leña, cajas, palés...), el corcho, cortezas o restos forestales; materiales secos, como paja, papel y cartón o serrín o materiales ácidos

como los posos del café o las acículas de pino. La tabla 14 indica distintos materiales en función de su grado de degradabilidad.

Tabla 14. Materiales en función de su grado de degradabilidad (Fuente: Elaboración propia)

RAD	RBD
-Hojas frescas	-Paja y heno viejo
-Restos de siega de césped	-Lechos de mascotas (conejos, hámsteres...)
-Estiércol fresco (animales de corral, bovinos, porcinos...)	-Serrín y virutas de madera
-Malezas jóvenes	-Huesos de frutos
-Purines	-Cascaras de huevo y frutos secos
-Bolsas compostables	-Pelos, plumas y uñas
-Partes carnosas de frutos (mesocarpio)	-Fibras naturales (lana, algodón, lino...)
-Lodos de EDAR	-Ramas y madera de podada (menos del 30% de césped)
-Compost fresco	-Desbroces de setos duros
-Estiércol viejo	-Acículas de pino
-Digestos procedentes de digestión anaerobia de FORM	-Corcho (tapones)
-Restos de verduras y hortalizas	-Huesos de animales
-Lodos/ restos de industria alimentaria	-Cortezas vegetales (piña, coco...)
-Lodos/restos de matadero	-Restos forestales
-Césped	-Cortezas de arboles
-Restos de conservas, congelación y cuarta gama de vegetales (hortalizas, verduras, maíz...)	-Cajas de verdura
-Melazas (miel, azúcar, mermeladas...)	-Palés de madera natural
	-Posos de café
	-Lodo (residuo) de papelera
	-Mazorcas
	-Escobajo

En la caso de estudio, se observa que los materiales RAD, en prácticamente todos los casos, supera al de los RBD, siempre que se trate exclusivamente de biorresiduo urbano. Estos datos no son sorprendentes ya que, debido a la naturaleza domestica de los biorresiduos, es de esperar que entren en planta residuos altamente degradables. Los hogares, así como los grandes productores (bares, restaurantes, cocinas de hoteles...) generan, básicamente, residuos en forma de restos de comida procedentes de alimentación humana y estos suelen ser RAD, como restos de hortalizas, frutas o verduras, bolsas compostables, restos de carnes... Este tipo de puntos de generación apenas producen residuos RBD, del tipo serrines, maderas, paja o cortezas de árboles. Los residuos RBD generados representan un porcentaje mucho más bajo que el de los residuos RAD, y suelen ser cascaras de huevo y frutos secos, conchas de bivalvos, posos de café... Por esta razón, los biorresiduos municipales a gestionar en la planta de compostaje suponen una materia prima de degradación rápida, con altos porcentajes de humedad y relaciones C:N bajas. Estas características deben tenerse en cuenta pues se hace necesaria otra fuente de materia prima que contrarreste las propiedades del biorresiduo municipal y así poder realizar mezclas adecuadas que garanticen unas condiciones de compostaje optimas. Como fuente auxiliar de residuos orgánicos, con predominancia de RBD, están los restos de poda, ya sean provenientes de recogida urbana o de zonas rurales, y otros materiales orgánicos RBD como el papel y cartón, cajas de frutas y

verduras e incluso palés. Estos materiales, por un lado, compensan el exceso de humedad y N de los residuos urbanos y, por otro lado, actúan como agentes estructurantes de la masa compostable al generar huecos y evitar compactaciones del material. De esta forma, combinando adecuadamente los distintos tipos de residuos orgánicos que llegan a planta, se pueden establecer las condiciones óptimas para un correcto desarrollo del proceso de compostaje.

6.3. Calidad de la materia prima

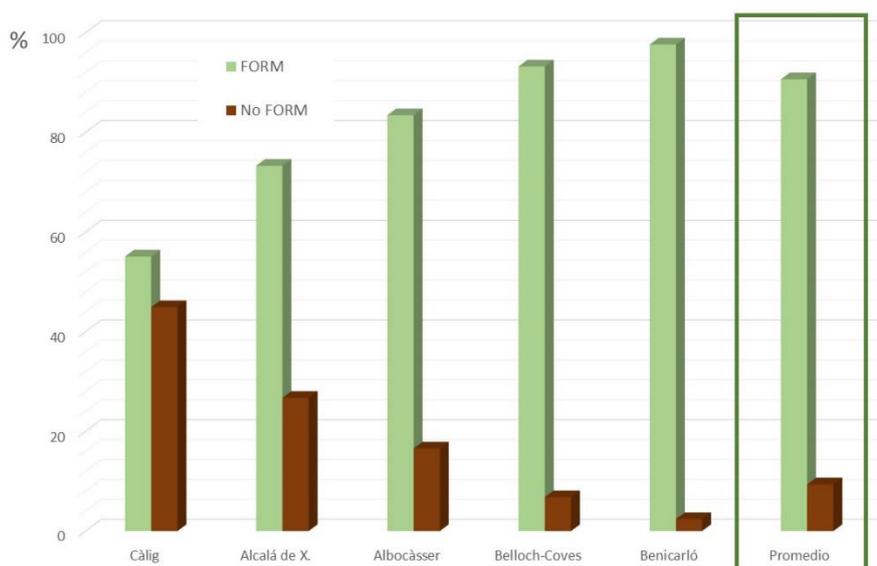
6.3.1. Impropios

En cualquier sistema de recogida selectiva, ya sea de vidrio, papel y cartón o envases, pese a que los respectivos contenedores sean (o deban ser) específicos del residuo en cuestión, siempre hay un cierto porcentaje de materiales que no corresponden con el residuo solicitado. Estos materiales no solicitados son los impropios. Es decir, cualquier material existente en un contenedor específico que no sea solicitado se considera impropio. De esta forma, se considera impropio papel o cartón en el contenedor de vidrio, y viceversa, o envases en el contenedor de papel y cartón... Incluso la presencia de cualquiera de los materiales recogidos selectivamente en el contenedor de resto, son considerados impropios (Ecoembes, 2019). Del mismo modo, el contenedor específico de fracción orgánica está sujeto a la presencia de materiales considerados impropios. En este caso, en el contenedor de fracción orgánica se solicitan residuos biodegradables de alimentos (cascaras y pieles de frutas, restos de carnes y pescados, posos de café, restos de infusiones...) y desechos orgánicos (papeles y cartón manchados de aceites/grasas, pequeños restos vegetales de flores y hojas, tapones de corcho y serrín) (Ecoembes, 2019).

La composición de los residuos orgánicos gestionados en la planta de selección de Cervera del Maestre, empleados en este estudio, como se menciona anteriormente, está determinada por las caracterizaciones realizadas por KPMG Auditores S.L. en distintos lapsos de tiempo y sobre fracción orgánica procedente de diferentes localidades. Basándonos en estas caracterizaciones, se puede observar que el criterio de selección es el de FORM (Fracción orgánica residuo municipal) y NoFORM (No fracción orgánica residuo municipal). La fracción orgánica del residuo municipal son todas aquellas materias orgánicas generadas en la localidad que se solicitan en el contenedor de biorresiduo y la parte que no es fracción orgánica del residuo municipal son todos los materiales que no se solicitan en la recogida selectiva de biorresiduo. De este modo, se considera FORM todo residuo orgánico que el ciudadano deposita en el cubo de orgánica, como restos de comida, cascaras de huevo o restos de carne y pescado. Es decir, el biorresiduo que se genera de forma continua en un ambiente urbano y en los hogares de los ciudadanos. En contraste, se considera NoFORM el residuo que o bien no es orgánico o bien no es de naturaleza doméstica. En el primer caso, se trata de residuo que por definición no puede depositarse en el contenedor de orgánica ya que no es orgánico, como el vidrio, plásticos, metales, envases... Estos residuos deben depositarse en su contenedor específico (en caso contrario se consideran impropios). En este caso, existe una excepción; el papel y cartón. Estos residuos deben depositarse en su contenedor específico, sin embargo, al ser orgánicos no siempre se excluyen del contenedor orgánico. El papel y cartón que se encuentre empapado en líquidos orgánicos (aceites/grasas, fluidos de frutas y verduras...) o que estén diseminados entre el residuo orgánico no se consideran impropios en el contenedor de fracción orgánica. El segundo caso hace referencia al residuo que pese a ser orgánico, no se solicita en el contenedor municipal de biorresiduo.

Estos son por ejemplo los restos de poda y jardín o restos de cosechas (menos común). Aunque se trate de residuo orgánico, no debe depositarse en el contenedor de orgánica ya que, generalmente, no son de generación doméstica y aparecen en cantidades mucho mayores que el resto de los biorresiduos. Estos residuos, en pequeñas cantidades (flores, hojas, restos vegetales pequeños) sí que se solicitan en el contenedor de biorresiduo, ya que se generan en un ambiente doméstico, sin embargo, el grueso de estos residuos procede de grandes jardines, avenidas, áreas verdes, parques... Haciendo inviable su entrega en las áreas de aportación. Cabe mencionar que esta clasificación no hace referencia a la degradabilidad o capacidad de compostaje de los residuos, por ello en el siguiente apartado se recatalogan los residuos obtenidos desde el punto de vista del compostaje.

Atendiendo a la clasificación mencionada, en los residuos a tratar en la planta de estudio, se obtiene una media general en impropios del 33,26%. Siendo en las caracterizaciones del 2017 del 49,14%, en las del 2018 del 39,196% y en las del 2019 del 19,388%. Atendiendo a estos datos se puede observar una evolución positiva en el proceso de clasificación por parte del ciudadano, obteniendo conforme pasa el tiempo, mejores resultados. Esta evolución positiva supone una mejora de la calidad en la materia orgánica entrante en planta, con su consecuente mejora en la calidad del compost final, y abre las posibilidades a obtener, en los años siguientes, mejores calidades e incluso porcentajes de impropios iguales o cercanos a 0. Finalmente, en cuanto a la naturaleza de los impropios que llegan a planta, se observa que gran parte de ellos es bastante constante; Vidrio, Papel y cartón, envases ligeros (PET, PEAD, Film, Brick, Metales y otros plásticos). Y, además, en algunos casos hay una parte de restos de jardín y poda y maderas de distinta índole que pueden aparecer por separado o conjuntamente (con cualquier combinación). Esta tipología de impropios son los que se encuentran de forma invariable en los contenedores de recogida selectiva de biorresiduo entrante en la planta de Cervera del Maestre, con apenas variaciones. Por otro lado, existe siempre una fracción restante, correspondiente a material variado, denominada otros (escombros, textil, textil sanitario, envases de medicamentos, multimaterial, infusibles, cables, material inclasificable...), que tiene una variación más amplia en cuanto a su composición, pero que el porcentaje que representa no suele superar el 5%.



Gráfica 1. Comparación residuos FORM y NoFORM (Pastor *et al.* 2019).

6.3.2. Impropios Aprovechables

Como se menciona en el apartado anterior, en los contenedores de recogida de materia orgánica selectiva se obtiene un volumen de residuo el cual se clasifica en FORM y en NoFORM. El primer término hace referencia a aquella materia orgánica “deseable”, es decir, biorresiduo utilizable de forma “legítima” para el proceso de compostaje y el segundo término se refiere a aquellos residuos encontrados en la fracción orgánica que no son deseados o no han sido solicitados para el compostaje. Sin embargo, esta clasificación no es determinante en cuanto a la capacidad o viabilidad para el compostaje de dichos residuos. Evidentemente, los residuos considerados FORM son perfectamente aptos para el compostaje y suponen una materia prima adecuada para producir un compost seguro y de calidad, como los restos de comida y de su preparación o residuos celulósicos. Pero, además, dentro del abanico de residuos conocidos como NoFORM, hay presentes materiales que, pese a que no sean solicitados en los contenedores de recogida selectiva de materia orgánica municipal, son de naturaleza orgánica y se pueden utilizar sin problema en el proceso de compostaje. Un claro ejemplo de esto son los restos de podas y jardín: residuos vegetales procedentes de jardines (públicos y privados), poda de árboles de avenidas, limpieza de montes, retirada de ejemplares ornamentales dañados/en mal estado... Es decir, residuos orgánicos, de diferente tipología (material fresco, material seco, diferente composición mineralógica...), perfectamente compostables que añaden riqueza al sustrato orgánico a compostar. Por ello, se hace necesaria una labor de reorganización de los biorresiduos que entran en planta para así extraer aquellos residuos compostables de la fracción NoFORM para su posterior utilización. Esta labor tiene relevada importancia ya que, a partir de unas caracterizaciones previas de composición y calidad del residuo recogido, se aplica esta corrección, reclasificando el residuo en compostable y no compostable. Gracias a esta reclasificación, una significativa cantidad de residuo que no se considera solicitado pasa a serlo, aumentando la cantidad de residuos disponibles para el compostaje respecto a las caracterizaciones de partida. De esta forma, en todas las caracterizaciones se observa un aumento de la riqueza en materia compostable, en algunos casos muy acusada (del 4 al 60%), lo cual mejora la calidad de la materia entrante en planta y permite ajustarse a los porcentajes mínimos de impropios aceptables para realizar compost de calidad, utilizable para cualquier ámbito.

El primer grupo de materiales NoFORM reclasificado como compostable es el ya mencionado restos de jardín y poda y restos de cosecha. Es decir, restos vegetales provenientes de grandes áreas verdes. Este grupo no se solicita en residuo municipal debido a que su origen se encuentra en zonas verdes y/o rurales y a que los volúmenes puntuales generados son muy elevados. Sin embargo, se trata de una materia orgánica degradable por los microorganismos, que suele ser más rica en RBD (ramas, troncos, astillas, virutas de madera) aunque posee bastante RAD (hojas, tallos carnosos, frutos caídos...) y que el porcentaje de impropios es prácticamente nulo (ya que su generación es muy específica). Por esta razón estos biorresiduos se consideran compostables y quedan desclasificados del grupo de impropios. Su aplicación en la masa compostable es perfectamente viable, aportando una buena fuente de material estructurante (materia dura, seca), para mejorar las condiciones del compostaje.

El siguiente grupo no solicitado en el contenedor de orgánica que aparece en mayores cantidades es el de papel y cartón. En este caso, como ya se ha mencionado, cabe destacar que aquel papel/cartón que este empapado en fluidos orgánicos o se encuentre diseminado

entre la fracción orgánica (restos de alimentos principalmente) sí que se considera material solicitado. En cambio, el papel y cartón que no cumpla estas premisas sí que se considera material NoFORM. No obstante, semejantemente a los restos de jardín y poda, son materiales orgánicos compostables y, por ello, se reclasifican como tales. El papel y cartón no deben depositarse en el contenedor de residuo orgánico, ya que pese a ser posible su compostaje, estos poseen un contenedor específico para su recogida selectiva y posterior reciclaje. Por ello, la prioridad es no encontrar papel y cartón en la fracción orgánica ya que es más eficiente y beneficioso su reciclaje y reutilización. Sin embargo, si debido a una separación en origen por los generadores inadecuada (el ciudadano deposita el papel/cartón en el contenedor de orgánica en lugar de en el de papel y cartón) aparece cierto porcentaje de estos materiales en la masa a compostar, estos no se considerarán inadecuados, y se incorporan al proceso de descomposición. El papel y cartón son materiales extremadamente secos y compuestos básicamente de celulosa. Estas características los posicionan como materiales RBD por excelencia; el bajo porcentaje de humedad impide la proliferación y desarrollo de las poblaciones microbianas al no tener disponibilidad de agua para sus reacciones metabólicas y su composición basada en celulosa los convierte en materiales complejos, con una degradación lenta y costosa (reservada a ciertos tipos de microorganismos). Por ello, se deben aplicar en la masa compostable con cuidado, actuando como materiales “secantes” (cuando la masa contiene mucha agua, debido a restos de alimentos muy húmedos estos materiales, al no poseer casi humedad, bajan la relación humedad-sólidos), estructurantes (su composición de polímeros complejos provoca una degradación lenta, permaneciendo como partículas cohesionadas más tiempo que el resto de los residuos) y ricos en C (aumentando la relación C:N). El papel y, sobre todo el cartón, está presente en multitud de embalajes para todo tipo de productos y es por esta razón que aparece continuamente en los distintos contenedores de recogida de residuos (tanto municipales como rurales o industriales). Estos, pese a ser materiales con muy poca humedad se ha observado que su utilización en el proceso de compostaje no supone ningún cambio negativo en el proceso o el producto final. En el estudio llevado a cabo por Itavaara *et al.* (1997) se observa que la adición de estos materiales a las pilas de compostaje no genera ningún efecto negativo en la actividad del compost ni tampoco se observa ningún efecto negativo de este compost sobre el crecimiento vegetal. Todos los materiales utilizados (compuestos de poliácido láctico (PLA) y cartón recubierto con PHB (polihidroxibutirato)) se degradaron completamente, poniendo de manifiesto la viabilidad del compostaje de estos materiales. Un contenido intermedio de papel-cartón en el sustrato (21-38%) incrementa la proporción de celulosa, lo cual genera una estabilización de la materia orgánica más rápida. Sin embargo, una cantidad alta de estos materiales (más del 50% en materia seca) afecta negativamente a la estabilización de materia orgánica y ralentiza la degradación, debido a ratios C:N altos (falta de N) y a una alta proporción de lignina en el sustrato (material difícilmente degradable) (Francou *et al.*, 2008). El papel y el cartón, al ser materiales orgánicos, son biodegradables y se pueden gestionar como cualquier otro material compostable. Por ello, su idoneidad para el proceso de descomposición se evalúa como cualquier otro material de la misma índole; en función de sus características y de la influencia de estas en las condiciones del medio de compostaje. Por un lado, al poseer ratios C:N altos, deben aportarse para complementar a los materiales ricos en N y así equilibrar el balance de estos elementos en el sustrato. Por otro lado, su bajo contenido de humedad los posiciona como materiales aptos para corregir la excesiva humedad de otros componentes (frutas y verduras, hierbas...) y, finalmente, su composición de polímeros complejos supone un buen recurso

para aportar estructura al sustrato, evitando una compactación excesiva y mejorando el flujo de aire a través de este.

Otros de los componentes que pueden aparecer en la planta de compostaje son la lana, el pelo o el algodón. Estos materiales aparecen en menor cantidad que los anteriores e incluso muchas veces son inexistentes. Al igual que otros impropios, la mejor disposición de estos materiales es en sus contenedores específicos, para así ser recogidos selectivamente y poder recuperarlos de nuevo como materiales reciclados/reutilizados. Sin embargo, estos materiales pueden acabar en los depósitos de orgánica, donde se mezclan con los restos orgánicos, dificultando su reutilización (necesidad de limpieza más exhaustiva, higienización, recuperación...). De estos, el pelo es el material más propenso a llegar a las plantas de compostaje, ya que su generación es continua y doméstica y, además, es un material sobradamente conocido como orgánico por la ciudadanía. El algodón y la lana son componentes que aparecen con menos frecuencia, siendo principalmente sus desechos los más propensos a requerir una gestión más exhaustiva (restos de su procesamiento). Pese a que no sea su procesamiento idóneo, si en la fracción orgánica aparece alguno de estos materiales, el compostaje puede ser una opción para su recuperación. Empezando por la lana, y en menor medida el pelo (humano, cabra, bóvidos...) nos encontramos ante un material abundante, cuya industria de procesado genera una gran cantidad de desechos, y que posee un porcentaje de entre el 5 y el 15% en N proveniente de la queratina (Tiwari *et al.*, 1989). Este material, pese a que el grueso de su producción no provenga de los municipios, sigue siendo un residuo que gestionar que además puede ofrecer nutrientes y cualidades al compost. El compostaje de residuos de lana troceados (para aumentar la superficie expuesta a microorganismos y evitar bloques compactos de este material) es funcional si este se maneja adecuadamente. En el experimento llevado a cabo por Tiwari *et al.* (1989) se observó que, al compostar restos de lana, la adición de un 10% de estiércol de vaca (peso seco) junto con un 2% de roca fosfatada se desarrollaba un compostaje eficiente de estos restos y se obtenía un compost de calidad. Es decir, con el correcto manejo de las mezclas y componentes, se puede obtener una degradación óptima de materiales difícilmente degradables (como la lana) y generar compost de calidad. Además, al ser compuestos ricos en nitrógeno, la incorporación de lana y/o pelo en el suelo aumenta el $\text{NH}_4\text{-N}$ y el $\text{NO}_3\text{-N}$, así como el rendimiento de la menta (*Mentha x piperita*), la albahaca (*Ocimum basilicum*) o el tártago (*Datura innoxia*) y aumenta la absorción de N con (Zheljazkov, 2005). Esto pone de manifiesto que estos materiales son una buena fuente de nutrientes, principalmente N, los cuales, sometidos a un proceso de descomposición controlada, pueden suponer un insumo adecuado para el proceso de compostaje.

Al igual que el resto de las fibras naturales, el algodón también está compuesto por polímeros orgánicos de degradación compleja. Las fibras de algodón son tricomas o pelos que recubren las semillas, diferenciados desde las celular epidérmicas, cuyo componente principal es la celulosa (aprox. 95%). Además de este polímero, el algodón está formado por pectina y cutina, y, en porcentajes aun menores, por proteínas, aminoácidos, pigmentos, ceras, azúcares, sales inorgánicas y ácidos orgánicos (Wakelyn *et al.* 2007). Esta composición bioquímica resulta favorable para su descomposición en el compostaje, ya que la celulosa es un compuesto extremadamente común en el compostaje, presente en prácticamente todos los materiales vegetales, el cual puede ser degradado por una variedad de microorganismos descomponedores presentes en el sustrato a compostar (*Aspergillus*, *Fusarium*, *Chaetomium*, *Cytophaga*, *Polyangium*, *Sorangium*, *Pseudomonas*, *Clostridia*...). El resto de los componentes del

algodón, pese a aparecer en porcentajes muy pequeños, también suponen un aporte de nutrientes al sustrato, como N, azúcares o sales, que benefician tanto a los microorganismos descomponedores como a los vegetales que consumirán el producto final. Finalmente cabe mencionar que el algodón y sus desechos, al suponer materiales complejos, muy a menudo procesados en masas de fibras tejidas entre sí, aparecen como bloques muy cohesionados cuya degradación en dicho estado es mucho más difícil. Por ello es necesario un mecanizado de estos materiales (triturado, despedazado) para mejorar su compostaje y que así el proceso sea más rápido y las cantidades de micro y macronutrientes en el producto final sean mayores (Tejada *et al.* 2001).

7. Método de compostaje

Una vez conocidos los volúmenes de materia orgánica entrante en planta, así como la frecuencia con la que esta va llegando y su composición, es necesario elegir y determinar un método de compostaje que se adapte a las condiciones disponibles y permita gestionar de forma óptima y eficiente el procesamiento de los biorresiduos. Los volúmenes entrantes son de vital importancia ya que se requiere implantar un sistema que procese tanto pequeños como grandes volúmenes (dentro del rango esperado) sin fallos ni contratiempos, así como que sea capaz de adaptarse a cambios severos en estos volúmenes. Como se menciona en apartados anteriores, básicamente existen dos tipologías de métodos de compostaje; los sistemas cerrados y los abiertos. Ambos tipos de sistemas son funcionales siempre que se gestionen adecuadamente de forma que garanticen las condiciones adecuadas para el desarrollo microbiano. En este escrito se plantea el uso de un método integrado, en el cual se composte adecuadamente todo el residuo entrante, tratando de conseguir un sistema rentable y funcional. Este sistema es el de un biorreactor vertical.

7.1. Biorreactor

Los biorreactores, como se menciona anteriormente, son receptáculos cerrados en los cuales el sustrato se va introduciendo y este se descompone en su interior gradualmente. Se conocen como biorreactores ya que actúan como elementos que garantizan un medio de cultivo adecuado para el desarrollo de poblaciones microbianas que llevarán a cabo distintas reacciones biológicas. Es decir, contenedores que propician las reacciones biológicas. Estos biorreactores cuentan con algunos inconvenientes, como que requieren una inversión inicial elevada, requieren un mantenimiento relativamente tecnificado, suelen necesitar conexión a corriente eléctrica o que la modificación de los volúmenes de trabajo se subsana adquiriendo otro biorreactor. Sin embargo, pese a estas consideraciones relativamente desfavorables, presentan grandes ventajas que no son superadas por ningún otro sistema. Una de las principales de sus ventajas, más aún ante el panorama de escasez de territorio actual, es un uso eficiente del espacio. Estos biorreactores, sobre todo los verticales, procesan una gran cantidad de material en muy poco espacio, consiguiendo una producción muy eficiente a bajos costes de superficie (que se traduce en más espacios para otras actividades, menor gasto en superficie...). Otra de las ventajas de este sistema es el elevado grado de control sobre los distintos elementos del proceso. Por un lado, los lixiviados son recogidos directamente del medio, evitando fugas y/o contaminaciones. Al tratarse de receptáculos cerrados, los lixiviados se recogen fácilmente mediante un sistema de captación y circulación, establecido a elección del diseñador, y se gestionan con un control absoluto. Además, al recoger efectivamente los lixiviados, estos pueden emplearse como recurso; ya sea reintroduciéndolo en el medio y así humectar a la par que añadir nutrientes, o se puede emplear como producto

terminado (compost líquido). Por otro lado, y una vez más debido a su “hermetismo”, los olores están activamente controlados. Este control efectivo de olores permite captarlos desde cualquier punto del reactor (mediante las propias bombas de succión/introducción de aire para oxigenar) y recircularlos o bien al interior del medio o bien a algún sistema auxiliar de tratamiento de estos (*e.g.* Biofiltro). De esta forma se evitan contaminaciones odoríferas del ambiente puesto que los olores neutralizan previamente a su liberación. A su vez, los biorreactores permiten obtener compost maduro en tiempos más cortos que el resto de los sistemas, lo cual reduce los tiempos de residencia del material. La reducción de los tiempos de residencia en una cualidad de gran importancia ya que, en el ámbito de una planta de compostaje, donde continuamente llega biorresiduo, es necesario procesar el material entrante y generar producto acabado en relativamente poco tiempo. Un procesamiento rápido de materia orgánica permite aceptar mayores volúmenes de biorresiduo y evita acumulaciones excesivas y/o problemas de solapamiento de entradas que colapsarían la planta. En definitiva, la velocidad de procesamiento (*i.e.* los tiempos de residencia) son básicos para la eficiencia y rentabilidad del proceso. Junto con estas ventajas, los sistemas cerrados permiten una mayor eficiencia del proceso de compostaje ya que en ellos todos los parámetros necesarios para establecer las condiciones óptimas de desarrollo de los microorganismos están eficazmente monitorizados. Al ser sistemas cerrados, la medición de humedad, concentración de oxígeno y/o temperatura es más eficaz que en otros sistemas, pudiendo conocer con mayor precisión las condiciones existentes en el medio. A la par de las mediciones, el control de estos parámetros está también más eficazmente controlado, pudiendo emplear sistemas de aireación forzada, descompactación y humectación más rápidos y precisos (Negro *et al.*, 2000).

7.1.1. Biorreactor Vertical

Los biorreactores verticales son contenedores cerrados dispuestos en vertical (su altura es bastante mayor a la superficie ocupada) en los cuales la materia orgánica se va depositando en la parte superior, esta desciende por acción de la gravedad y, finalmente, se extrae el material compostado por la parte inferior. El material se deposita en la entrada (zona superior) usualmente mediante un tornillo alimentador y se extrae por la parte inferior; conforme se extrae material compostado el material fresco va descendiendo. Estos biorreactores poseen la característica de ser los más eficientes en el uso del espacio; procesan la mayor cantidad de biorresiduo por unidad de superficie. Al ser verticales, la masa compostable se dispone en forma de columna, por lo cual, con poca superficie ocupada se puede levantar una columna relativamente alta, permitiendo procesar toda una columna de residuo en una superficie reducida. La verticalidad del biorreactor, desde otro ángulo, provoca que el material viaje desde las zonas altas a las zonas bajas por acción de la gravedad, lo cual hace innecesario un sistema de movilización del material desde la zona de alimentación a la zona de extracción. Esta característica supone un ahorro en energía (accionamiento del sistema) y maquinaria (elementos para la movilización del material), mejorando la rentabilidad del biorreactor. A su vez, la conformación vertical brinda una mayor cohesión del sustrato, lo cual, desde el punto de vista microbiológico, garantiza la comunicación entre las poblaciones microbianas bien desarrolladas de las zonas inferiores (compost maduro) con las superiores (material fresco). Gracias a ello el compost maduro actúa como fuente de inóculo para la materia orgánica que se va introduciendo en el medio, garantizando la continuidad de las poblaciones microbianas en el medio y mejorando la eficiencia del proceso por duplicado. Primeramente, mejora la eficiencia ya que, al haber

inóculo disponible de forma natural en el medio, el material fresco se coloniza más rápidamente y con más facilidad, acelerando el proceso y, consecuentemente a la supervivencia continuada de las poblaciones microbiológicas, la eficiencia aumentara ya que estas se irán adaptando gradualmente a las condiciones específicas del biorreactor, volviéndose comunidades específicas del sistema. Desde el punto de vista fisicoquímico, la elevada cohesión de la masa de materia orgánica facilita los aumentos de temperatura y tiene una mayor capacidad de retención de nutrientes y fluidos (*e.g.* suelo pesado). Esto supone una ventaja ya que los microorganismos tienen una mayor facilidad para tomar estos elementos del medio. No obstante, la elevada cohesión si no está bien gestionada se traduce en compactación del material, generando efectos negativos en el medio. El apilamiento columnar de la materia orgánica genera presiones elevadas debido al propio peso del material, que aumenta conforme la altura de la columna se expande. Esta presión de la columna de material puede compactar el sustrato, impidiendo la circulación de fluidos a través de su seno (agua, oxígeno, CO₂, metano...) generando ambientes no deseados para el compostaje; zonas demasiado oxigenadas, zonas saturadas de agua, zonas secas... e impidiendo su remediación debido a que los sistemas de aireación y humectación no pueden vencer esta compactación. A causa de estas particularidades de los biorreactores verticales es necesario gestionar adecuada y cuidadosamente todo el proceso para evitar los efectos negativos y aprovechar al máximo las ventajas de este sistema. Para evitar la compactación del sustrato existen dos medidas principalmente; conseguir una estructura adecuada y disgregar las partículas. La primera de estas medidas consiste en emplear un sustrato que contenga cierta cantidad de material estructurante para mejorar su porosidad y, con ello, compensar las presiones generadas. El material estructurante es aquella materia orgánica dura, resistente, usualmente formada por polímeros complejos que, debido a estas características, su degradación es más lenta que la del resto de materiales. Una mezcla de materia orgánica proporcionada, con una cantidad adecuada de este tipo de material, supone un sustrato poroso, cuya porosidad se debe, principalmente, a materiales resistentes. Estos materiales se compactan con mayor dificultad; se necesita una mayor presión para compactarlos (aplastarlos) y por ello, el sustrato mantendrá una porosidad adecuada frente a mayores presiones. Si bien la adición de material estructurante en proporciones ligeramente elevadas puede provocar una excesiva porosidad (mala retención de fluidos, enfriamiento, lixiviación de nutrientes...), al tratarse de un biorreactor vertical, el grado de cohesión que se alcanza debido a la columna de material apilado y a el hecho de estar cerrado, evita estos efectos negativos. La segunda medida correctora de la compactación, la disgregación, consiste en remover/agitar mecánicamente el material para deshacer los agregados que forman las partículas al compactarse y así recuperar la porosidad. Esta medida es la que se emplea típicamente en las labores agrícolas; el arado del suelo. La única diferencia respecto a la acción agrícola es que en el caso del biorreactor es preferible evitar volteos del material. Esto se debe a que, por un lado, para voltear todo el material de la columna haría falta un sistema complejo y costoso, que además consumiría mucha energía (debido al peso de la columna de material) y, por otro lado, no conviene mezclar los distintos estratos de la columna ya que el grado de madurez es distinto; las zonas maduras se mezclarían con las frescas retrasando el proceso. Estas dos medidas pueden emplearse conjuntamente o, por el contrario, puede optarse por emplear solo una de ellas, a elección del diseño. La única premisa para el funcionamiento adecuado del biorreactor es evitar la compactación. Sin embargo, la opción más óptima es emplear ambas mediadas. Si existe una mezcla adecuada, que brinde la textura y estructura necesaria para evitar la compactación, pero no se disgregan las partículas, se generaran flujos preferenciales por los

cuales el aire y el agua circularan más fácilmente. Esto provoca que solo se oxigenen/humedezcan ciertas partes del sustrato, aquellas donde se han generado poros interconectados, dejando otras zonas del sustrato sin oxigenación/humectación. Por otro lado, si se prescinde el uso de estructurante y solo se emplea la disgregación, el material se compactará con más frecuencia y en mayor medida, obligando a ejercer una disgregación continua sobre el sustrato. Esta medida supone un coste energético y un desgaste de materiales que encarece el proceso, a la par que no se llegaría a descompactar totalmente el sustrato, dejando zonas sin aireación/humectación.

8. Parámetros de Diseño

8.1. Condiciones de Compostaje

El proceso de compostaje se desarrolla bajo unas condiciones ambientales específicas, bien conocidas y evaluadas. Estas condiciones se deben fijar para poder realizar el proceso en el momento de diseño de todo el sistema. En este proyecto, la humedad a la que se mantiene el sustrato es del 60%, siendo este un valor máximo, para poder trabajar con holguras en caso de desavenencias durante el funcionamiento del sistema. Las temperaturas que se pretenden lograr, como valor máximo, están en un rango de 67-71°C, para lograr una higienización completa del material. En cuanto al sustrato a emplear, este es el biorresiduo generado en las localidades de la zona I en las que haya implantado un sistema de recogida selectiva de materia orgánica. Este biorresiduo se manipula para lograr tamaños de partícula de no más de 35 mm en residuo de alta degradabilidad y de no más de 200 mm en residuo de baja degradabilidad. De esta forma se logra una distribución del tamaño de partículas óptima y compensada. A su vez, se realiza una mezcla de ambos tipos de residuo para lograr, por un lado, una cantidad de material estructurante que garantice la buena circulación de fluidos a través del sustrato y evite la compactación y, por otro lado, que la relación C:N se mantenga entorno al 25:1-35:1.

8.2. Cantidades

El volumen de material que se debe procesar en planta es un parámetro decisivo para poder realizar el diseño del sistema de compostaje. El biorresiduo que se genera en la zona de estudio (ZONA 1, Norte de Castelló), es la materia prima del proceso de compostaje y es por ello por lo que la funcionalidad de todo el plan de revalorización del residuo orgánico que se lleva a cabo en este proyecto está sujeta a los volúmenes de materia orgánica disponibles. La zona de estudio comprende un total de 49 municipios y una extensión de 3463 km². En esta zona la población es variada, presentando diferencias importantes en función de la situación de cada municipio y la época del año. De entre todos los municipios, este estudio se centra en aquellos cuyo residuo orgánico debe procesarse en planta para la elaboración de compost. Estos municipios son: Càlig, Alcalà de Xivert, Albocàsser (prisión), Benicarló y Benlloch i Les Coves de Vinromà (se tratan de forma unificada ambos municipios). Por el momento, solo existe recogida selectiva de materia orgánica en estos municipios y las caracterizaciones de calidad del biorresiduo han sido realizadas en los mismos. Por esta razón el diseño del proceso de compostaje está basado en la información disponible de estos municipios, que se utilizan como muestra representativa de toda la zona. Al tratarse de localidades muy diversas, habiendo zonas costeras (*e.g.* Benicarló) y zonas de interior (*e.g.* Càlig), zonas más pobladas (26750 hab.) y menos pobladas (1060 hab.)... esta

“muestra” de municipios representa con fiabilidad el conjunto total, ya que encontramos todas las tipologías de generación de biorresiduos.

Atendiendo a las pesadas de materia orgánica realizadas en planta (Anejo 1, tabla 1), se puede extraer el volumen de trabajo sobre el que se debe operar. Durante el 2018 se han registrado 422 entradas de materia orgánica en planta, con una frecuencia diaria (salvo casos muy puntuales, donde ha habido uno o dos días sin entradas), con distintos transportistas (TETMA, FOBESA, FCC) y distintos orígenes (Benicarló, Albocàsser, Baix Maestrat, Benlloch i Les Coves, Alcalà...). La cantidad total anual fue de 888'33 toneladas y la cantidad media diaria ronda los 2200 kg. Sabiendo que densidad del biorresiduo pretratado (mezclado y triturado) ronda los 0'65t/m³, se espera un volumen medio diario de aproximadamente 3'4m³. De esta forma, si el tiempo de residencia esperado en el biorreactor es de 12-14 días, el volumen medio de materia orgánica que se procesa en el biorreactor durante este tiempo estaría ente 40'8 y 47'6m³. Por otro lado, desde el punto de vista de los valores máximos, la mayor cantidad de biorresiduo entrante en planta esta entrono a los 8500kg. Esta masa de materia orgánica supone, una vez pretratada, un volumen de 13'1m³. Por lo tanto, durante 12-14 días llega un volumen de 157'2-183'4m³.

8.3. Caudales de Agua

La canalización del agua requiere de tres tipos de tubería, con sus tres caudales distintos y una bomba de superficie. La primera tubería es la principal. Esta une la bomba con el resto del sistema. Se trata de una tubería de 60 m, por la que circula un caudal de 2197'75 L/h y tiene un diámetro de 20 mm. A continuación de la tubería principal están instaladas las tuberías ascendentes. Estas son dos tuberías iguales, de 14 m cada una, por las que circula un caudal de 1098'875 L/h y tienen un diámetro interno de 16 mm. Finalmente, la red de canalización de agua posee un total de 12 tuberías conocidas como ramales, que dirigen el agua a los micro-aspersores. Estas tuberías tienen una longitud de 1'5 m, canalizan un caudal de agua de 91'6 L/h cada una y su diámetro interno es de 16 mm.

8.4. Caudales de Aire

La red de canalización del aire consta únicamente de un tipo de tubería, situada paralelamente a dos de las caras (opuestas) del reactor. En total hay instaladas 4 tuberías, por las que circula un caudal de 74'412 m³/h, tiene una longitud de 12 m y un diámetro interno de 40 mm.

8.5. Estructura del Biorreactor

En este proyecto se plantea el diseño de un Biorreactor vertical con aireación y humectación forzada, controlada y uniformemente administrada, a la par de una estructura que evite sobrepresiones y compactaciones. El biorreactor consta básicamente de tres partes; zona de alimentación, zona de compostaje y zona de extracción.

La zona de alimentación corresponde con la parte superior del reactor en la cual hay una apertura por donde se introduce el biorresiduo a compostar. Este biorresiduo ha sido mecanizado previamente, por lo cual en el biorreactor entra una materia prima triturada y homogeneizada. Esta materia prima se tritura obteniendo un tamaño de partícula en residuos altamente degradables de como máximo 35mm, oscilando entre 5 y 20mm típicamente. A su vez, en el biorresiduo de baja degradabilidad se permiten unos tamaños de partícula mayores,

hasta 200mm, ya que tiene una función esencial como estructurante. El rango de tamaños de partícula en ambos casos es tiene cierta holgura y esto permite generar un sustrato con una textura variada, mejorando la estructura final en el interior del reactor. Junto con el tamaño de las partículas, la densidad es también un parámetro de gran relevancia en el proceso. Las densidades de la materia fresca (sin triturado ni mezclado) que entra en planta están entorno a los 0'39kg/l para alimentos y 0'11 para restos de poda. Estos son datos medios obtenidos a partir de mediciones experimentales realizadas en planta (Tabla 15). Cabe mencionar que, para el biorresiduo sin tratar, las densidades son muy variables y dependen en gran medida del recipiente en el que se midan y de la existencia de materiales de grandes dimensiones que se traben y alteren las densidades. Sin embargo, estas densidades son orientativas ya que el biorresiduo se tritura y se mezclan los distintos tipos de materia orgánica, obteniendo en última instancia densidades mayores. Una vez el biorresiduo se tritura su densidad esta entorno a los 0'65t/m³ (valor máximo).

Alimentos			Poda		
m (kg)	V (L)	d (kg/L)	m (kg)	V (L)	d (kg/L)
3'7	10	0'37	32	800	0'04
3'61	10	0'361	9'89	100	0'0889
3'79	10	0'379	1'57	10	0'157
4'72	10	0'472	1'19	10	0'119
3'21	10	0'321	1'22	10	0'122
4'37	10	0'437	1'32	10	0'132

Tabla 15. Densidades de biorresiduo fresco entrante en planta (Fuente: Elaboración propia).

Paralelamente a la zona de alimentación esta la zona de extracción, en la cual se retira el material ya compostado. La extracción ocurre en la parte inferior del reactor. Esta parte tiene forma trapezoidal, con una longitud de 1m de largo. La cara superior, en contacto con el cuerpo del biorreactor, tiene una superficie de 9m² y la boca de extracción de 1m². La altura que queda libre entre la boca de extracción y el suelo es de 1m. De esta forma, cualquier maquinaria extractora, del tipo tornillo sinfín, se puede situar en este punto e ir retirando material a voluntad. En conjunto, la zona baja del reactor, destinada a la extracción del material, tiene una altura total de 2m.

Finalmente, el cuerpo del biorreactor, situado entre la zona de alimentación y la de extracción, está formado por una cavidad cerrada cuyo ambiente interno está regulado y controlado para instaurar las condiciones deseadas. La carcasa del biorreactor está formada por un esqueleto de vigas metálicas que soportan la estructura y un conjunto de planchas de acero que acaban cerrando el sistema. La altura de esta parte del biorreactor es de 12m y la superficie de 9m² (3mx3m). Esto supone un volumen de 108m³

En el interior del biorreactor hay una serie de planchas de acero dispuestas a lo largo de todo el reactor, pero los en dos de los lados, y en lados opuestos. Estas planchas tienen una longitud de 1'732m, con una inclinación respecto a la pared del biorreactor de 60°. De esta forma llegan hasta la mitad de la cavidad, forzando a la masa a moverse. Estas planchas tienen una anchura de 0'75m y un grosor de 0'05m. En cada nivel hay cuatro planchas, a la misma altura, dos planchas en cada una de las paredes opuestas. Para lograr que el sustrato se mueva y así evitar la compactación excesiva, las planchas se sitúan de forma intercalada en cada nivel; caben cuatro por pared, sin embargo, solo hay instaladas 2, y, en la pared opuesta, otras 2 pero que nunca se enfrentan entre ellas. En el siguiente nivel, inmediatamente inferior, hay

el mismo número de planchas con las mismas características, pero esta vez la situación es la opuesta a la del nivel superior. De esta forma se fuerza al sustrato a seguir un camino sinuoso que evita en gran medida su compactación. Entre cada nivel hay una separación de 2m, con lo que se obtiene un total de 5 niveles y 20 planchas. Estas planchas, junto con su disposición alterna, por un lado, obligan al sustrato a circular de forma tortuosa a través del seno del reactor, evitando apelmazamientos, y, además, al haber niveles de planchas cada 2m, el peso de la columna de material que forma el sustrato es menor que si no hubiera planchas, lo cual reduce las presiones generadas, evitando la compactación.

En cuanto a la gestión de las condiciones de compostaje, los parámetros de temperatura, humedad y aireación están controlados externamente y son regulables. Otros parámetros, como pH, los nutrientes o la textura de la mezcla dependen del sustrato inicial. El pH y los nutrientes disponibles dependerán de los materiales que se incorporen al sistema, y la textura se determina en la zona de pretratamiento, donde se garantiza una mezcla con buena proporción de material estructurante para evitar compactaciones. Para regular temperatura, aireación y humedad se emplea un sistema de aireación forzada y un sistema de aspersión de agua.

Para airear el sustrato hay un sistema de ventilación que toma el aire del exterior y lo introduce en el interior del biorreactor con el caudal que se desee. El aire entra a través de la base del reactor, para oxigenar la parte baja, y también por las planchas, para asegurar una distribución uniforme.

Los ventiladores impulsan el aire por unas canalizaciones que conectan con la base del reactor y con cada una de las planchas de este. Debe haber canalizaciones a ambos lados del biorreactor, para introducir aire en todas las planchas.

La base del equipo posee unas aberturas por donde sale el aire y oxigena la masa. Además de la base del biorreactor, las planchas tienen acoplados en la parte superior unos tubos en los cuales se instalan emisores de forma que el aire se suministra al sustrato por todas las planchas.

De esta forma las canalizaciones introducen aire a presión a través de los tubos de las planchas y por la base del equipo y este sale por las aberturas/emisores, oxigenando el sustrato. Este método de aireación es altamente efectivo ya que no solo se introduce aire a través de la base, sino que, al expulsar aire por las planchas, que están distribuidas uniformemente por todo el biorreactor, el aire se reparte a través de todo el sustrato, permitiendo una oxigenación precisa y efectiva.

En cuanto al sistema de humectación, este tiene un funcionamiento similar al de aireación. El agua se circula a presión desde las balsas de recogida hasta el biorreactor mediante una bomba y una red de canalización de agua. Una vez en el biorreactor, por un lado, hay tuberías que se disponen en la parte superior y mediante una boquillas de aspersión mojan la parte alta del sustrato con el caudal deseado. A su vez, en la cara inferior de cada plancha hay acopladas las mismas tuberías, de modo que también se moja el sustrato desde estos puntos. De la misma forma que con el aire, el agua se distribuye muy uniformemente a través de todo el reactor, logrando una humectación eficiente y permitiendo un control óptimo de la humedad del proceso. Todos los parámetros y dimensiones del biorreactor se encuentran sintetizados en la tabla 16.

Finalmente cabe mencionar que hay una serie de sondas de temperatura y humedad distribuidas en el interior del reactor, de forma que se conocen estos parámetros de forma continua y en tiempo real. Las sondas están situadas, por un lado, en las paredes del reactor, de forma aleatoria y, por otro lado, en las planchas, también de forma aleatoria. Esta configuración permite conocer datos de temperatura y humedad de todo el reactor. Todas las sondas están conectadas y organizadas en un sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), de forma que en todo momento se puede controlar y supervisar el funcionamiento del reactor. Este sistema permite optimizar el desarrollo del compostaje y conseguir un funcionamiento más eficaz.

Tabla 16. Parámetros aproximados de trabajo del Biorreactor (Fuente: Elaboración propia).

Parámetro	Valor
Tamaño de Partículas	RBD (Maderas, astillas, vegetación...) <200mm RAD (alimentos, hierba fresca...) <35mm
Densidad de Entrada	<0'65 t/m ³
Tiempo de Residencia	12-14 días
Masa Media Diaria	2200 kg
Volumen medio Diario	3'4 m ³
Masa Máxima Diaria	≈ 8500 kg
Volumen Máximo Diario	≈13'1 m ³
Base del Biorreactor	3x3(9 m ²)
Altura Efectiva Biorreactor	12 m
Volumen Biorreactor	108 m ³
Altura Inferior	2 m
Boca Extracción	1x1(1m ²)
Altura Boca Extracción	1m
Altura Libre al Suelo	1m
Altura Total del Sistema	14m
Grosor Planchas	0.05m
Anchura de Planchas	0.75m
N.º Planchas por Lado	2
N.º Planchas por Nivel	4
N.º Niveles	5
N.º Total Planchas	20
Longitud Planchas	1.732m
Inclinación Planchas	60°
Separación Planchas	2m
Volumen Planchas	0'06496m ³

A su vez, el reactor posee un total de 16 vigas IPE de 200 mm, 8 de 14 m y 8 de 3 m, que suman 3576'8 kg.

Junto con estas, hay instaladas 20 vigas UPN de 0'75 m y 200 mm, que suman 379'5 kg.

Los soportes que refuerzan las planchas internas suman un total de 7 m y 184'1 kg.

Las vigas IPE y UPN, junto con los soportes, suman 4140'4 kg.

Las planchas internas poseen un peso total de 100'215 kg

La chapa que recubre el biorreactor tiene un peso total de 452'763 kg.

8.6. Instalación Eléctrica

La instalación eléctrica de este proyecto consta con un sistema de canalización para la bomba de agua, el cual está formado por un cable de 60 m, cuya sección es de 1'5 mm² y su intensidad admisible es de 16 A. Además, esta línea está protegida por un fusible de calibre 2'5 A y la caída de tensión a lo largo del cable es del 1'12%.

A su vez, hay instalado un sistema de canalización para los ventiladores. Estas canalizaciones conforman un sistema de 4 cables de 60 m, cuya sección es de 1'5 mm² y su intensidad admisible es de 16 A. Además, esta línea está protegida por un fusible de calibre 2'5 A.

Junto con estos equipos, la biotrituradora (15 kW), la cinta elevadora (1'5 kW) y la bomba de tornillo (5 kW) presentan el mismo tipo de canalización eléctrica que la bomba de agua. Esto se deba a que sus potencias son mucho menores a la de la bomba. Debido a que las canalizaciones y protecciones de la bomba son ya de diámetros y calibre reducidos, se emplearan los mismos.

8.7. Zona de Compostaje

Para el procesado del residuo orgánico que llega a la planta de selección es necesario diseñar, paralelamente al biorreactor de compostaje,

Una serie de sectores auxiliares que contribuyan a generar una zona de compostaje completa, integrada y eficiente.

Esta zona de compostaje estará compuesta por ocho sectores auxiliares. El primer sector es el de pretratamiento del biorresiduo, donde se realiza el triturado de la materia orgánica y se efectúan las mezclas de materiales RAD y RBD para obtener el sustrato inicial para el compostaje. A continuación de este, está el reactor de compostaje, donde ocurre el proceso de degradación biooxidativa de la materia orgánica. Como disposición final está el sector de maduración, donde el material ya compostado se apila y se deja reposar hasta que las fases finales del proceso acaban.

Adicionalmente hay un área de llegada de material. En este área los camiones pesados e identificados descargan el biorresiduo recogido selectivamente de los distintos municipios y se disponen a empezar el proceso de pretratamiento. Paralelamente a el área de llegada de material existe el área de salida de material. Este espacio es el contiguo al de maduración y es donde el compost ya maduro es recogido por los consumidores. Los otros dos sectores auxiliares son los del transformador y el de las balsas de recogida. El área de transformador es básicamente donde se encuentra el centro de transformación de la planta, el cual suministra corriente eléctrica a la zona de compostaje para que la maquinaria pueda funcionar. Otro elemento de abastecimiento son las balsas de recogida. Estas son dos albercas en las cuales se recogen las aguas pluviales que caen en la superficie de la planta cuya agua se utiliza para humectar el compost, evitando el consumo de la red externa. Adicionalmente está el biofiltro. Este es básicamente un biorreactor el cual solo se alimenta con material RBD. De esta forma hay un proceso de "compostaje" continuado a baja frecuencia que permite neutralizar los olores generados en el biorreactor vertical. Finalmente, el último sector es el de maquinaria. Este sector engloba la cinta elevadora, que introduce el material en el reactor, y la bomba de tornillo, que lo extrae del mismo.

Para realizar un proceso de compostaje eficiente es necesario que en el interior del biorreactor existan las condiciones ambientales adecuadas para que las distintas comunidades microbianas se desarrollen de forma óptima. Un desarrollo óptimo y eficaz de dichas poblaciones microbiológicas garantiza una degradación rápida y efectiva del sustrato a compostar y es por ello por lo que el biorreactor tiene que ser capaz de garantizar estas condiciones. Debido a que el proceso de compostaje es un proceso dinámico, debe existir la posibilidad de modificar los distintos parámetros de funcionamiento del biorreactor para así adecuar el ambiente interno de este a la fase de compostaje en la que se encuentre el sustrato.

La primera operación que se efectúa sobre el biorresiduo es el triturado y mezclado de este, para así generar una mezcla con una textura óptima que permita una buena circulación de fluidos a través del seno del material y evite su compactación; que posea una concentración de nutrientes adecuada, para así suministrar insumos tanto para los microorganismos como a las plantas; que tenga un pH adecuado, sin valores extremos y que no haya elementos contaminantes (metales pesados, vidrios, plásticos...) que resten calidad tanto al proceso de compostaje como al producto final. Una vez la mezcla de biorresiduos entra en el compostador, estos parámetros (textura, concentración de nutrientes, pH, impurezas y contaminantes) no se modifican de forma activa por el reactor o por el operario encargado, sino que se alterarán debido a las interacciones entre el sustrato y las poblaciones microbianas. Estas interacciones los alterarán y acabarán generando el sustrato estabilizado (compost). No obstante, pese a ser parámetros que no se pueden modificar activamente, al estar correlacionados con la actividad microbiana, una alteración de esta actividad puede generar cambios en dichos parámetros.

Juntamente con los parámetros anteriores, existen otros que, si son y deben ser, modificados activamente para dirigir el proceso de compostaje y obtener compost de forma rápida y eficaz. Estos parámetros son la aireación y la humectación, y, en segundo plano, la temperatura. Tanto la aireación como la humectación, como se explica en apartados anteriores, es de vital importancia para el proceso. Los microorganismos precisan de oxígeno, ya que es un proceso biooxidativo, y de humedad, pues la mayoría de las reacciones metabólicas ocurren en medio acuoso, en el cual hay nutrientes disueltos. A su vez, debido a la naturaleza exotérmica del metabolismo microbiano, la temperatura es un factor cambiante y determinante en el proceso de compostaje. La temperatura depende de la actividad microbiana, una actividad más intensa genera más calor, aumentando la temperatura y viceversa. Sin embargo, se trata de un parámetro altamente modificable de forma activa ya que, mediante la aireación del material o la humectación, a caudales relativamente altos, generan un enfriamiento de la pila. Del mismo modo, una aireación óptima junto con una aspersión del sustrato oxigena y humedecen el medio, lo que activa la actividad microbiana y genera un aumento en la temperatura. Estas características de la temperatura la posicionan como un parámetro indicador de actividad microbiológica muy efectivo y de fácil medición y control.

8.7.1. Pretratamiento

En el sector de pretratamiento, hay instalada una biotrituradora Willibald MZA 3400, 15 kW, en la cual se le introduce el biorresiduo deseado, en las proporciones requeridas, y este es triturado y mezclado. Esta maquinaria permite obtener el biorresiduo triturado y mezclado de forma óptima para introducirlo en el reactor. La imagen 2a muestra dicha maquinaria. A

su vez, hay disponibles en este sector 3 contenedores marítimos, en los cuales se deposita el biorresiduo en función de su relación C:N.



Imagen 2a. Biotrituradora

8.7.2. Biofiltro

La planta de selección de Cervera del Maestre cuenta con dos biofiltros, uno a cada lado de las naves de biosecado, que se emplean a modo de biorreactores de lenta degradación, para tratar los olores generados. El biofiltro está compuesto por una estructura rectangular metálica, en el interior de la cual hay material orgánico muy lignificado, con una relación C:N alta, de modo que el proceso de descomposición de dicha materia orgánica es lento y continuado. La función del biofiltro es mantener unas poblaciones microbianas activas de forma continua, de modo que los olores y gases generados en las naves de biosecado se puedan recircular e introducir en los biofiltros. Al introducir estos olores en dicha estructura, las poblaciones microbianas que en ella hay establecidas neutralizan dichos los olores.

En el sistema de compostaje diseñado en este proyecto, uno de los biofiltros se utiliza para tratar los olores que se generen en el reactor. Las imágenes 3a y 3b muestran los biofiltros.



Imagen 3a. Biofiltro



Imagen 3b. Biofiltro

8.7.3. Maduración

Una vez el proceso de compostaje ha concluido y el compost se extrae del reactor, este pasa a la fase de maduración. En esta última fase, las poblaciones microbianas degradan lentamente la materia orgánica degradable que queda en el sustrato, acabando el proceso de estabilización y obteniéndose un sustrato completamente estable. Esta última fase no tiene ningún requerimiento de tiempo específico, ya que debido a las características del biorreactor y el proceso de compostaje que en él ocurre, el compost recién extraído del reactor ya puede emplearse como enmienda orgánica. Por ello, la fase de maduración es un paso final de estabilización que puede llevarse a cabo tanto en la planta de compostaje como en otras dependencias (instalaciones del cliente, granjas, viveros, campo...).

En la planta de compostaje de diseño, la maduración se lleva a cabo en el exterior, dentro de un cobertizo abierto, como se muestra en las imágenes 4, 5, 6 y 7. Esta zona está compuesta por tres muros de hormigón en forma de U, formando un cerramiento abierto por un extremo. El suelo está también hormigonado, para evitar la percolación de lixiviados. Esta estructura se cierra por la parte superior mediante una estructura metálica semicircular, cubierta por lona.

Debido a que el compost se extrae del reactor apto para su uso en producción vegetal, la zona de maduración se posiciona como un elemento de almacenaje de los excedentes del sistema. Por esta razón se empleará una estructura prefabricada en planta.



Imagen 4. Zona de maduración.(Propia Autoría) Imagen 5. Detalle zona de maduración.(PA)

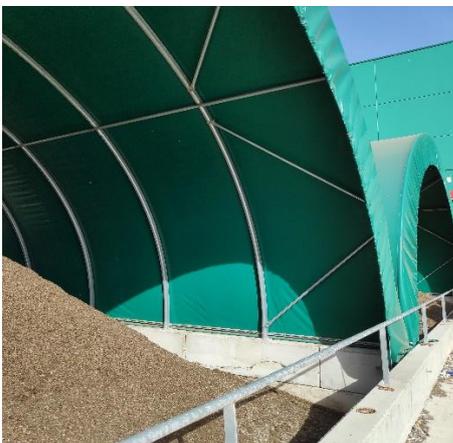


Imagen 6. Detalle estructura cobertizo(PA) Imagen 7. Vista trasera zona de maduración (PA)

El compost se deposita en esta zona indefinidamente; son los usuarios finales los que lo retiran.

8.7.4. Balsas de recogida

Las balsas de recogida son dos estanques en los cuales se acumula el agua pluvial recogida de la superficie de la planta. Toda el agua que cae en las instalaciones se canaliza y se hace circular hacia estas balsas donde se acumula para su posterior uso. Una de las dos balsas contiene agua recogida de la planta acumulada directamente; el agua que se canaliza y se circula de toda la superficie hacia esta alberca. La otra balsa corresponde con agua depurada; el agua de la primera balsa pasa por un proceso de depuración donde se regenera y se obtiene un agua más limpia. Ambas balsas contienen agua pluvial recogida de la superficie del complejo RSU, por lo tanto, se trata de aguas limpias, sin contaminantes, aptas para riego agrícola o en jardinería o para su vertido al medio. Por esta razón, en la planta de compostaje se van a emplear estas balsas como fuente de agua en el proceso de biodegradación. La calidad del agua de estas balsas se controla periódicamente mediante análisis de muestras aleatorias. De este modo se conoce la calidad de este agua (concentración de metales pesados, contaminantes...) que se introduce en el reactor.

Para extraer esta agua de las balsas y recircularla al reactor se emplea el sistema de canalización ya establecido. Una tubería se conecta al sistema de canalización de las balsas disponible en la planta y mediante una bomba externa se extrae el agua a presión. Para regular la entrada/salida de agua hay instalada una válvula de control en esta tubería.

Este sistema de recirculación de aguas, por un lado, dota de autonomía a la planta, ya que el proceso de compostaje no requiere de conexión a red, sino que se abastece del agua pluvial disponible en planta. Y, por otro lado, al incorporar esas aguas al proceso de compostaje estas pasan por un proceso de filtración adicional, en el que las posibles sustancias orgánicas (aceites, fluidos de vegetales...) y toda la tierra que estas aguas arrastran son incorporadas y consumidas durante la descomposición en el reactor. Esto no solo implica una filtración del agua, sino que, además, en el caso de que esta posea componentes orgánicos, actuará como fuente de nutrientes para las poblaciones microbianas del biorreactor, impulsando en cierta medida el proceso. Las balsas de recogida se encuentran ilustradas en las imágenes 8a y 8b.



Imagen 8a. Balsa de recogida 1.



Imagen 8b. Balsa de recogida 2.

8.7.5. Entrada

Este área es simplemente el punto en el cual los camiones cargados con biorresiduo procedente de las diferentes localidades depositan el material que cargan. Estos camiones deben haber sido pesados previamente, a la par que identificados (número de matrícula, procedencia del biorresiduo y compañía a la que pertenece el camión) para conocer en todo momento las características de la materia orgánica entrante. Esta zona se encuentra indicada en las imágenes 9a y 9b.

Una vez los camiones han sido correctamente identificados pueden descargar el biorresiduo. Dicho biorresiduo puede depositarse previamente en un pozo de descarga de los que hay disponibles y posteriormente, mediante pala cargadora o maquinaria del estilo, incorporarlo a la zona de pretratamiento o, si no, se puede incorporar directamente a la zona de pretratamiento sin necesidad de almacenamiento temporal, si así se precia. Para poder realizar mezclas de materia orgánica adecuadas para el proceso de compostaje es necesario clasificar el biorresiduo en función de su degradabilidad. Para lograr este fin, se propone la instalación de ciertos contenedores en serie, en cada uno de los cuales se deposite el biorresiduo acorde con su grado de degradabilidad. De esta forma podría haber tres contenedores; uno con material altamente degradable (frutas, verduras, restos de alimentos...) que proporcione humedad, nitrógeno y acelere el proceso, otro contenedor con material muy poco degradable (serrín, virutas de madera, papel, restos de poda lignificados...) que sirva de material estructurante y un tercer contenedor con una fracción intermedia que sirva para completar mezclas. Acorde con este sistema, y de la mano de un coordinador que gestione las mezclas, se pueden tomar muestras de cada uno de los contenedores, en la proporción deseada, que posteriormente serán trituradas y homogeneizadas para así incorporarse en el biorreactor.



Imagen 9a. Pesaje e identificación de camiones (Propia Autoría)



Imagen 9b. Pesaje e identificación de camiones (Propia Autoría)

8.7.6. Salida

Una vez el compost ya ha pasado la fase final de maduración y está listo para su utilización, este puede ser recogido por los usuarios (particulares o compañías) y así se cierra el ciclo de revalorización de residuo. El área de salida es la zona contigua a la de maduración, en la cual hay espacio suficiente de maniobra para poder recoger el compost mediante pala cargadora o maquinaria similar.

8.7.7. Centro de transformación

El centro de transformación de la planta es una instalación eléctrica propia que recibe energía eléctrica procedente de la red en alta tensión y la transforma en baja tensión para su utilización en planta. Este centro de transformación es el que suministra energía a la maquinaria del reactor. Los cables pertinentes que deben llegar a cada uno de los equipos (bombas de agua, ventiladores...) se conectan al cuadro del transformador para así obtener la energía que sea precisa. La imagen 9 muestra el grupo electrógeno de la planta y la imagen 10 el centro de transformación propio.



Imagen 10. Grupo electrógeno (Propia Autoría)



Imagen 11. Centro de transformación (Propia Autoría)

8.7.8. Maquinaria de carga y extracción

La maquinaria empleada en el sistema es una cinta elevadora para introducir el sustrato en el reactor y una bomba de tornillo para extraerlo. La cinta elevadora funciona 2 horas al día y tiene una potencia de 1'5 kW. La bomba de tornillo funciona media hora al día y tiene una potencia de 5 kW.

9. Resumen del Presupuesto

Presupuesto de Ejecución de Material (PEM)	37575'322 €
20% gastos generales y cargas fiscales	7515'0644 €
6% Beneficio Industrial	2254'51932 €
Total Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	47344'90572 €
7% Proyecto y dirección de obra	3314'1434 €
Total	50659'04912 €
Total + 21% IVA	61297'44941

Tabla 17. Resumen del presupuesto.

10. Estudio de Viabilidad Económica

Los ingresos generados por la planta de compostaje son los que se obtienen de la venta a granel del compost producido. Este compost se vende a 28'5 €/t. Diariamente entran en planta una media de 2200 kg. Paralelamente, cada día salen 1100 kg. Esto se debe a que los 2200kg de materia fresca que entran en el reactor, sufren unas pérdidas de entorno al 50%, siendo este 50% el compost extraído diariamente. Anualmente suponen 401'5 t, que se traducen en 11442'75 €

Ing.= 11442'75 €/año.

En cuanto a gastos, por un lado, está la inversión inicial y por otro lado el mantenimiento del sistema.

La inversión inicial resulta de la compra de todos los elementos de diseño:

Bomba → 150 €

Ventiladores → 15 * 4 = 60 €

Cinta elevadora → 600 €/m * 20 m = 12000 €

Cinta de Extracción (bomba de tornillo) → 3100 €

Biotrituradora → 11000 €

Cableado → 120 m * 0'63 €/m = 75'6 €

Vigas IPE, UPN y Soportes → 1'58 €/kg * 4140'4 kg = 6541'832 €

Chapa → 1'1 €/kg * 452'763 kg = 498'04 €

Planchas → 1'15 €/kg * 100'215 kg = 115'25 €

Contenedores marítimos → 3 * 950 € = 2850 €

Tubería 40 mm → 12 €

Tubería 16 mm → 10 €

Tubería 20 mm → 10 €

Tubería de 300 mm → 18 €

Sondas y scada → 890 €

Micro-aspersores → 84 * 2'2 € = 184'8 €

Difusores → 24 * 2'5 € = 60 €

Inversión Inicial = 37575'322 €

Amortización = 15 años → 2505'02 € por año

Los gastos generados son:

Operario a 1/4 de su tiempo → 1500/4 = 375 €/mes

Mantenimiento Instalación → 600 €/mes

Consumo energético

Bomba → 1'5 kW * 12 h = 18 kWh → 18 * 0'12 €/kW = 2'16 € día = 64'8 € mes

Ventiladores 0'12 kW * 12h = 1'44 kWh → 1'44 * 0'12 = 0'1728 € día = 5'184 € mes

Biotrituradora → 15 KW * 2 h = 30 kW h → 30 * 0'12 = 3'6 € día = 108 € mes

Cinta elevadora → 1'5 kW * 2 h = 3 kW h → 3 * 0'12 = 0'36 € día = 10'8 € mes

Bomba de tornillo → 5 kW * 0'5 h = 2'5 kW h → 2'5 * 0'12 = 0'3 € día = 9 € mes

Gastos = 198'784 € mes → 2385'408 € por año

Tabla 18. Tatos económicos para el estudio de viabilidad económica

DATOS	
Inversión inicial	37.575,32 €
Gastos	2.385,41 €
Tiempo de amortización (años)	15
Ingresos	11.442,75 €
IPC	2,00%
Interés nominal	3,00%
Interés real	1,50%
Impuesto sociedades	25,00%

Tabla 19. Criterios de inversión.

CRITERIOS DE INVERSIÓN	
VAN	44.623,88 €
TIR	14,39%
PR	4,18 años

11. Conclusiones

El biorresiduo que se generan tanto en los ambientes urbanos como rurales representa un porcentaje materia derivada de la actividad humana de gran relevancia. Esta materia, a diferencia del resto de residuos generados, tiene la capacidad de poder ser degradada biológicamente por microorganismos. Esta característica particular del residuo orgánico abre las puertas a una gestión y procesamiento de dicho residuo que permite recuperarlo y revalorizarlo, obteniendo así un producto para ser usado nuevamente. Uno de los productos más versátiles y con mayor aplicación a la actividad humana es el compost. El compost a partir de biorresiduo se genera mediante la degradación biooxidativa, bajo unas condiciones particulares, de la materia orgánica residual recogida selectivamente. Mediante el establecimiento a conciencia de las condiciones ideales de compostaje, junto con una materia prima sin improprios, se obtiene un compost de calidad.

Existen múltiples métodos de compostaje, todos ellos aptos y funcionales, siempre que la gestión sea adecuada. Debido a premisas impuestas por el contexto en el que se desarrolla el proyecto, se hace necesario el uso de un biorreactor vertical. En una planta RSU, cuyo ámbito de trabajo es una zona muy amplia, con una gran cantidad de municipios y habitantes, se genera un gran cantidad de biorresiduo y con una alta frecuencia. Por ello, en planta se ha instalado un biorreactor que sea capaz de procesar un gran volumen de residuo, ya se por la capacidad de un reactor o por la modularidad de estos, y, sobre todo, que el compostaje sea rápido y eficaz, de modo que en poco tiempo se procese el biorresiduo y se extraiga listo para su uso.

En el presente escrito se presenta un estudio sobre el compostaje, en relación con las condiciones óptimas para su desarrollo y los parámetros que garantizan estas condiciones,

así como se analizan las poblaciones microbianas que llevan a cabo el proceso. Juntamente con este estudio, se evalúan las dinámicas de generación de biorresiduos en la zona de estudio, obteniendo datos sobre cantidades y calidades sobre estos materiales. Tras la realización de ambas investigaciones, se diseña un sistema de compostaje que integre todos los elementos necesarios para dar una solución óptima a la gestión de los biorresiduos requerida en la planta de selección de Cervera del Maestre y su zona de acción.

12. Referencias

- Archer H. Cristian, Gregory K. Evanylo, James W. Pease, 2009. Virginia Cooperative Extension. “*On-Farm Composting. A Guide to Principles, Planning and Operations*”.
- Ashraf R, Shahid F & Ali AT, 2007. “*Association of fungi, bacteria and actinomycetes with different composts*”. Pak.J.Bot., 39(6):2141-2141.
- Azcón-Bieto J & Talón M, 2008. “*Fundamentos de Fisiología Vegetal*”. Segunda edición. Ed. McGraw Hill Education. Pags.9-13
- Blanco A & Blanco G, 2017. “*Chapter 4-Carbohydrates*”. Medical Biochemistry, Pages 73-97.
- BOE, 2013. Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. BOE núm.164, de 10 de julio de 2013. Ref. BOE-2013-7540
- Cabanas-Vargas DD & Stentiford EI, 2006. “*Oxygen and CO2 profiles and methane formation during the maturation phase of composting*”. Compost Sci. Util., 14, 86-89.
- Chen L, Moore A, de Haro-Martí M.E, 2012. University of Idaho Extension. “*On-Farm Composting Management*”.
- Cooperband L, 2002. University of Wisconsin-Madison. Center of Integrated Agricultural Systems. 2002. “*The Art and Science of Composting. A resource for farmers and compost producers*”.
- De Guardia A, Petiot C & Rogeau D, 2008. “*Influence of aeration rate and biodegradability fractionation on composting kinetics*”. Waste Management 28 (2008) 73-84
- Derikx PJJ, Op Den Camp HJM, Van Der Drift C, Van Griensven JLD & Vogels GD, 1990. “*Biomass and biological activity during the production of compost used as a substrate in mushroom cultivation*”. Appl. Environ. Microbiol., 56(10): 3029-3034.
- Dubey RC & Maheshwan DK, 2005. “*A textbook of Microbiology*”. Multicolour illustrative ed. S. Chan and Company Ltd. Ram Nagar, New Dehli 110055.
- Ecoembes, 2019. Disponible en: <https://www.amarilloverdeyazul.com/los-impropios/> y <https://ecoembesdudasreciclaje.es/contenedores-de-reciclaje/contenedor-marron-organico/>
Visitado: 16/04/2019.

Ecoembes, 2019. “*Guía para reciclar más y mejor*”. Disponible en: <https://www.ecoembes.com/sites/default/files/guia-con-contenedor-residuos-organicos.pdf>
Visitado: 16/04/2019

FAO, 2013. “*Manual de Compostaje del Agricultor. Experiencias en América latina*”.

Francou C, Linères M, Derenne S, Le Villio-Poitrenaud M & Houot S, 2008. “*Influence of green waste, biowaste and paper-cardboard initial ratios on organic matter transformations during composting*”. Elsevier Ltd. Bioresource Technology 99 (2008) 8926-8934.

Galera A, Hidalgo-Montesinos MA, Murcia-Almagro MD & Gómez-Gómez M, 2014. Universidad de Murcia. CONAMA 2014. Congreso Nacional del Medio Ambiente. “*Biorresiduos: gestión y alternativas de utilización*”.

Gallardo A, Edo-Alcón N, Carlos M, Colomer FJ, Esteban-Altabella J, Muñoz-Capitán N, Badenes C, Beltrán I, Colás V & Muñoz A, 2017. “*Hacia el quinto contenedor: experiencia piloto de recogida selectiva de residuos orgánicos en Castellón de la Plana*”. Equipamientos y servicios municipales, 62-69.

Gallardo A, 2008. I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. Universitat Jaume I. “*Estudio de los Diferentes Modelos de Recogida Selectiva de Residuos Urbanos Implantados en Poblaciones Españolas Mayores de 50.000 Habitantes. Parte I: Planteamiento del Problema y Generación de la Encuesta*”.

García C, Hernández T, Costa F, Ceccati B & Ciardi C, 1992b. “*Changes in ATP content, enzyme activity and inorganic nitrogen species during composting of organic wastes*”. Can. J. Soil Sci., 72:243-253.

Generalitat Valenciana, 2015. “*Plan Integral de Residuos de la C.V. (PIRCV)*”. Disponible en: <http://www.agroambient.gva.es/en/web/calidad-ambiental/plan-integral-de-residuos-de-la-comunitat-valenciana-pircv->

Godden B, Penninckx M, Perard A & Lannoye R, 1983. “*Evolution of enzyme activities during composting of cattle manure*”. Euro.J. Appl.Microbiol. Biotechnol., 17:306-310

Griffin DM, 1985. “*A comparison of the roles of bacteria and fungi*”. Bacteria in Nature, Vol 1, pp. 221-225 (eds. Leadbetter, ER & Poindexter JS), Plenum Publishing, London.

Hadar Y, 2011. “*Suppressive compost: when plant pathology met microbial ecology*”. Phytoparasitica (2011) 39:311-314.

Hamoda MF, Abu Qdais HA & Newham J, 1998. “*Evaluation of municipal solid waste composting kinetics*”. Resources, conservation and recycling. Elsevier

Hoitink HAJ & Boehm MJ, 1999. “*Biocontrol within the context of soil microbial communities: A substrate-dependent phenomenon*”. Annual Review of Phytopathology, 37, 427-446.

Hoitink HAJ, Boehm MJ & Hadar Y, 1993. “*Mechanism of suppression of soil borne plant pathogen in compost-amended substrates*”. H.A.J. Hoitink & H.M. Keener (Eds), Science and engineering of composting: Design, environmental, microbiological and utilization aspects (pp.601-621). Renaissance Publications.

Insam H & de Bertoldi M, 2007. “*Chapter 3 Microbiology of the composting process*”. Waste Management Series. Volume 8, Pages 25-48.

Itavaara M, Vikman M & Venelampi O, 1997. “*Windrow Composting of Biodegradable Packaging Materials*”. Compost Science & Utilization (1997), Vol.5, No. 2, 84-92.

Jiang T, Schuchardt F, Li G, Guo R & Zhao Y, 2011. “*Effect of C/N ratio, aeration rate and moisture content on ammonia and greenhouse gas emission during the composting*”. Journal of Environmental Sciences 2011, 23 (10) 1754-1760

Junta de Andalucía, pdf informativo. “*Sistemas y Técnicas para el Compostaje*”.

Klass DL, Ghosh S & Gonard JR, 1976. “*The conversion of grass to fuel gas for captive use*”. Symposium on Clean Fuels Biomass, Sewage, Urban Refuse, Agricultural Waste, Orlando, FL, 1976.

Lau AK, Lo KV, Liao PH & Yu JC, 1992. “*Aeration Experiments for Swine Waste Composting*”. Bioresource Technology 41(1992) 145-152

Lu GS, Imai T, Li HF, Ukita M, Sekine M & Higuchi T, 2001. “*Effect of Enforced Aeration on In-Vessel Food Waste Composting*”. Environmental Technology, Vol.22.pp1177-1182.

Marrero, X, Alonso A & Sánchez J, 2018. Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz. CONAMA10. Congreso Nacional del Medio Ambiente. “*El 5º Contenedor llega a Vitoria-Gasteiz: El reto de los residuos orgánicos*”.

Nakasaka K & Ohtaki A, 2002. “*A simple numerical model for predicting organic matter decomposition in a fed-batch composting operation*”. Journal of Environmental Quality. 31:997-1003.

Negro MJ, Villa F, Aibar J, Alarcón R, Ciria P, Cristóbal MV, DeBenito A, García Martín A, García Muriedas G, Labrador C, Lacasta C, Lezaún JA, Meco R, Pardo G, Solano ML, Torner C, Zaragoza C, 2000. “*Producción y Gestión del Compost*”.

Neklyudov AD, Fedotov GN & Ivankin AN, 2008. “*Intensification of Composting Process by Aerobic Microorganisms: A Review*”. Applied Biochemistry and Microbiology, 2008, Vol.44,No.1,pp.6-18.

ORBIT (Organic Recovery and Biological Treatment), 2001. Proceedings of the International Conference ORBIT 2001 on “*Biological processing of waste: a product-oriented perspective*”.

- Pace MG, Farrell-Poe KL & Miller BE, 1995. Utah State University. Extension. “*The Composting Process*”.
- Pastor-Fernandez C, Colomer-Mendoza FJ, Carlos-Arbeloa M & Gallardo-Izquierdo A, 2019. “*Impacto de la Instalación de un Quinto Contenedor para la Recogida Selectiva de Biorresiduos en una Zona Costera y otra de Interior en el Este de España*”. VIII Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. INGRES
- Peters S, Koschinsky S, Schwieger F & Tebbe CC, 2000. “*Succession of microbial communities during hot composting as detected by PCR-single-strand-conformation-polymorphism-based genetic profiles of small-subunit rRNA genes*”. Appl, Environ. Microbiol., 66(03):930-936.
- Puig I, 2002. ENT Medio Ambiente y Gestión. Grupo de Economía Ecológica de la Universitat Autònoma de Barcelona. “*Incentivos Económicos para Avanzar Hacia la Reducción y el Reciclaje de Residuos Urbanos*”.
- Puig, I., 2004. Instituto de Estudios Fiscales. “*Las Tasas de Basuras de Pago por Generación. El Caso de Torrelles de Llobregat*”.
- Rebollido R, Martínez J, Aguilera Y, Melchor K, Koerner I & Stegmann R, 2008. “*Microbial populations during composting process of organic fraction of municipal solid waste*”.
- Ryckeboer J, Mergaert J, Coosemans J, Deprins K & Swings J, 2003. “*Microbiological aspects of biomaste during composting in a monitored compost bin*”. Journal of Applied Microbiology, 94, 127-137.
- Rynk R, 1992. Cooperative Extension. Ithaca, NY. Northeast Regional Agricultural Engineering Service (NRAES). “*On-farm Composting Handbook*”.
- Stentiford EI, 1996. “*Composting control: Principles and practice*”. En: de Bertoldi M, Sequi P, Lemmes B & Papi T (eds.). The science of Composting. Part I. Blackie Academic and Professional, Chapman and Hall, London, pp.224-252.
- Strom PE, 1985. “*Identification of thermophilic bacteria in solid waste composting*”. Appl, Environ. Microbiol., 50(4):906-913.
- Taiwo LB & Oso BA, 2004. “*Influence of composting techniques on microbial succession, temperature and pH in a composting municipal solid waste*”. African Journal of Biotechnology, 3(4): 239-243.
- Tejada M, Dobao MM, Benítez C & González JL, 2001. “*Study of composting of cotton residues*”. Bioresource Technology, 79 (2001) 199-202.
- Tiquia MS, Wan HCJ & Tam FYN, 2002. “*Microbial Population Dynamics and Enzyme Activities During Composting*”. Compost Science & Utilization, (2002), Vol.10, No.2, 150-161.

Tiwari VN, Pathak AN & Lehri LK, 1989. “*Effect of Cattle Dung and Rock Phosphate on Composting of Wool Waste*”. Short Communication. Elsevier Ltd. *Biological Wastes* 27 (1989) 237-241

Wakelyn PJ, Bertoniere NR, French AD, Thibodeaux DP, Triplett BA, Rousselle MA, Goynes WR, Edwards JV, Hunter L, McAlister DD & Gamble GR, 2007. “*Cotton Fiber Chemistry and Technology*”. International Fiber Science and Technology. Taylor & Francis Group. LLC. Previously on: *Handbook of Fiber Chemistry, Third Edition*.

Whipps JM, 2001. “*Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere*”. *J. Exp. Bot.*, 52(90001):487-511.

Wilson GB, 1989. “*Combining raw materials for composting. A guide to providing a suitable environment and source of nutrients to optimize the composting process*”. *Organic Waste Processing. BioCycle* 82-84.

Xi BD, He XS, Wei ZM, Jiang YH, Li MX, Li D, Li Y & Dang QL, 2012. “*Effect of inoculation methods on the composting efficiency of municipal solid wastes*”. *Chemosphere* 88 (2012) 744-750

Xi BD, Huang GH, Zhang GJ, Wei ZM, Qin XS & Liu HL, 2007. “*A temperature guided three-stage inoculation method for municipal solid wastes composting*”. *Environ. Eng. Sci.* 24, 745–754.

Zheljazkov VD, 2005. “*Assessment of Wool Waste and Hair Waste as Soil Amendment and Nutrient Source*”. *J. Environ. Qual.* 34:2310-2317.

Zucconi F, Pera A, Forte F & De Bertoli M, 1981. “*Evaluating toxicity in immature compost*”. *Biocycle* 22: 54-57.

ANEJOS

Índice

1. ANEJO I. Cantidades de biorresiduo.....	84
2. ANEJO II. Caudal de agua.....	95
2.1. Cantidades.....	95
2.2. Canalizaciones.....	98
2.2.1. Ramal.....	99
2.2.2. Ascendente.....	100
2.2.3. Principal.....	100
3. ANEJO III. Caudal de aire.....	103
3.1. Cantidades.....	103
3.2. Canalizaciones.....	106
4. ANEJO IV. Estructura del biorreactor.....	108
5. ANEJO V. Instalación eléctrica.....	120

ANEJO I. CANTIDADES DE BIORRESIDUO

La materia prima que se emplea en este proyecto el biorresiduo recogido selectivamente en la Zona 1 del plan zonal de residuos de la Comunitat Valenciana. En toda esta zona, presentada en el apartado 1 (antecedentes), solo hay implantado un sistema de recogida selectiva de residuo orgánico en los municipios de Càlig, Alcalà de Xivert, Benlloch i Les Coves, Benicarló y en el centro penitenciario de Albocàsser. Juntamente con la recogida selectiva de biorresiduo urbano, también llegan restos de poda (particulares, vías y avenidas, jardines...), los cuales se incorporan al sistema de compostaje de igual forma. Todas las llegadas de biorresiduo a la planta de selección de Cervera del Maestre que acontecieron durante el 2018 se muestran en la tabla 1.

Analizando las entradas de materia orgánica que acontecieron durante el 2018 se observa que en total llegaron 888'33 toneladas, repartidas en 422 llegadas. De esta forma se obtiene una media diaria:

$$[1] \quad M_{med} = \frac{888330}{422} = 2105'047 \text{ kg/día}$$

Esta masa media diaria es orientativa, ya que, pese a que casi todas las entradas son diarias, hay casos en los que pasa más de un día e incluso dos, sin que llegue ningún camión de orgánica a planta. A su vez, también hay días en los que llega más de un camión el mismo día.

Con esta cantidad media diaria, y conociendo que la densidad que poseerá el biorresiduo al ser preprocesado es de 0'65 t/m³, se obtiene un volumen medio de biorresiduo:

$$[2] \quad V_{med} = \frac{2105'047}{0'65} = 3238'534 \text{ L} \rightarrow V_{med} = 3'238 \text{ m}^3$$

Adicionalmente, sabiendo que el tiempo de residencia del biorresiduo en el reactor es de 12-14 días, el volumen medio que se genera de biorresiduo pretratado en ese tiempo es de:

$$[3.1] \quad V_{12} = 3,238 \times 12 = 38'862 \text{ m}^3$$

$$[3.2] \quad V_{14} = 3,238 \times 14 = 45'339 \text{ m}^3$$

Sin embargo, no solo es necesario prever los volúmenes medios, sino que un dimensionado atendiendo a los valores máximos es necesario para evitar solapamientos, sobrecargas y exceso de materia prima. Para ello, se obtiene de la Tabla 1 el valor máximo de biorresiduo entrante en planta. Este valor corresponde con el día 5 de enero, el cual hubo tres entradas:

$$[4] \quad M_{max} = 180 + 7500 + 620 = 8300 \text{ kg}$$

Este valor se mayor a los 8500 kg, para poder trabajar con holguras. Una vez más, con una densidad de pretratamiento de 0'65 t/m³, se obtiene un volumen máximo diario de:

$$[5] \quad V_{max} = \frac{8500}{0'65} = 13076'923 \text{ L} \rightarrow 13'1 \text{ m}^3$$

Con este volumen se obtiene el volumen máximo que habrá que procesar durante el tiempo de compostaje:

$$[6.1] \quad V_{max12} = 13'1 \times 12 = 157'2 \text{ m}^3$$

$$[6.2] V_{max14} = 13'1 \times 14 = 183'4 m^3$$

Estos valores máximos son necesarios para determinar la estructura del compostador; cada reactor debe tener un volumen comprendido entre los valores medios y los valores máximos, acercándose más a estos últimos. De este modo, se establece un reactor cuya base tiene una superficie de 9 m² y una altura efectiva de 12 m. Así, obtenemos el volumen del reactor:

$$[7] VR = (3 \times 3) \times 12 = 108 m^3$$

Con este volumen, y conociendo la densidad del sustrato entrante se obtiene que la masa que se aloja en el interior del biorreactor es:

$$[8] MR = 0'65 \times 108 = 70'2 t$$

El biorreactor alberga como máximo 70'2 t de biorresiduo pretratado.

Tabla 1. Identificación entrada materia orgánica 2018 (Fuente: Elaboración Propia).

FECHA	PRODUCTO	MATRICULA	PESO ENTRADA	PESO SALIDA	PESO NETO	TRANSPORTISTA	ORIGEN
03-ene-18	ORGANICA	9104FMZ	12760	12080	680	TETMA	BAIXMAESTRAT
05-ene-18	ORGANICA	8636BPB	12660	12480	180	TETMA	BAIXMAESTRAT
05-ene-18	ORGANICA	0611DTS	25100	17600	7500	FOBESA	0
05-ene-18	ORGANICA	5119H WX	16480	15860	620	TETMA	ALCALA
08-ene-18	ORGANICA	0611DTS	24080	17820	6260	FOBESA	0
09-ene-18	ORGANICA	9104FMZ	12620	12080	540	TETMA	BAIXMAESTRAT
10-ene-18	ORGANICA	2828CZW	20220	15740	4480	FOBESA	0
11-ene-18	ORGANICA	9104FMZ	12420	12100	320	TETMA	BAIXMAESTRAT
12-ene-18	ORGANICA	8500BYJ	22160	17900	4260	FOBESA	0
13-ene-18	ORGANICA	9104FMZ	12480	12160	320	TETMA	BAIXMAESTRAT
15-ene-18	ORGANICA	8500BYJ	23880	17660	6220	FOBESA	0
16-ene-18	ORGANICA	9104FMZ	12600	12080	520	TETMA	BAIXMAESTRAT
18-ene-18	ORGANICA	9104FMZ	12540	12120	420	TETMA	BAIXMAESTRAT
19-ene-18	ORGANICA	5119H WX	16200	15960	240	TETMA	ALCALA
20-ene-18	ORGANICA	9104FMZ	12440	12140	300	TETMA	BAIXMAESTRAT
22-ene-18	ORGANICA	8500BYJ	23920	17960	5960	FOBESA	0
23-ene-18	ORGANICA	9104FMZ	12520	12060	460	TETMA	BAIXMAESTRAT
24-ene-18	ORGANICA	8500BYJ	21780	17720	4060	FOBESA	0
25-ene-18	ORGANICA	9104FMZ	12620	12120	500	TETMA	BAIXMAESTRAT
26-ene-18	ORGANICA	8500BYJ	21900	17900	4000	FOBESA	0
27-ene-18	ORGANICA	9104FMZ	12460	12140	320	TETMA	BAIXMAESTRAT
29-ene-18	ORGANICA	8500BYJ	23840	17820	6020	FOBESA	0
30-ene-18	ORGANICA	9104FMZ	12720	12000	720	TETMA	BAIXMAESTRAT
31-ene-18	ORGANICA	8500BYJ	21580	17820	3760	FOBESA	0
02-feb-18	ORGANICA	9104FMZ	12920	12100	820	TETMA	BAIXMAESTRAT
02-feb-18	ORGANICA	2828CZW	19760	15560	4200	FOBESA	0
02-feb-18	ORGANICA	6460H ZB	16260	15700	560	TETMA	ALCALA
03-feb-18	ORGANICA	9104FMZ	12280	12120	160	TETMA	BAIXMAESTRAT

05-feb-18	ORGANICA	8500BYJ	24280	17880	6400	FOBESA	0
06-feb-18	ORGANICA	9104FMZ	12420	12100	320	TETMA	BAIXMAESTRAT
07-feb-18	ORGANICA	8500BYJ	21640	17520	4120	FOBESA	0
08-feb-18	ORGANICA	9104FMZ	12520	12120	400	TETMA	BAIXMAESTRAT
09-feb-18	ORGANICA	8500BYJ	22040	17920	4120	FOBESA	0
10-feb-18	ORGANICA	9104FMZ	12340	12060	280	TETMA	BAIXMAESTRAT
12-feb-18	ORGANICA	8500BYJ	23080	17600	5480	FOBESA	0
14-feb-18	ORGANICA	8500BYJ	21840	17840	4000	FOBESA	0
15-feb-18	ORGANICA	9104FMZ	12600	12100	500	TETMA	BAIXMAESTRAT
16-feb-18	ORGANICA	8500BYJ	22120	17500	4620	FOBESA	0
16-feb-18	ORGANICA	5119HWX	16480	15840	640	TETMA	ALCALA
17-feb-18	ORGANICA	9104FMZ	12440	12140	300	TETMA	BAIXMAESTRAT
19-feb-18	ORGANICA	8500BYJ	24080	17920	6160	FOBESA	0
20-feb-18	ORGANICA	9104FMZ	13020	12060	960	TETMA	BAIXMAESTRAT
21-feb-18	ORGANICA	8500BYJ	21880	17540	4340	FOBESA	0
22-feb-18	ORGANICA	9104FMZ	12560	12100	460	TETMA	BAIXMAESTRAT
23-feb-18	ORGANICA	8500BYJ	21860	17960	3900	FOBESA	0
24-feb-18	ORGANICA	9104FMZ	12520	12120	400	TETMA	BAIXMAESTRAT
26-feb-18	ORGANICA	8500BYJ	23640	17620	6020	FOBESA	0
27-feb-18	ORGANICA	8636BPB	13160	12540	620	TETMA	BAIXMAESTRAT
28-feb-18	ORGANICA	8500BYJ	21880	17820	4060	FOBESA	0
01-mar-18	ORGANICA	9104FMZ	12820	12140	680	TETMA	BAIXMAESTRAT
02-mar-18	ORGANICA	8500BYJ	21520	17240	4280	FOBESA	0
03-mar-18	ORGANICA	9104FMZ	12520	11340	1180	TETMA	BAIXMAESTRAT
05-mar-18	ORGANICA	8500BYJ	23900	17800	6100	FOBESA	0
06-mar-18	ORGANICA	9104FMZ	12500	12020	480	TETMA	BAIXMAESTRAT
07-mar-18	ORGANICA	8500BYJ	21360	17460	3900	FOBESA	0
08-mar-18	ORGANICA	9104FMZ	12700	12140	560	TETMA	BAIXMAESTRAT
09-mar-18	ORGANICA	8500BYJ	22100	17920	4180	FOBESA	0
09-mar-18	ORGANICA	5119HWX	16740	16040	700	TETMA	ALCALA
10-mar-18	ORGANICA	9104FMZ	12480	12140	340	TETMA	BAIXMAESTRAT
12-mar-18	ORGANICA	8500BYJ	23720	17460	6260	FOBESA	0
13-mar-18	ORGANICA	9104FMZ	12620	12060	560	TETMA	BAIXMAESTRAT
14-mar-18	ORGANICA	8500BYJ	21620	17860	3760	FOBESA	0
15-mar-18	ORGANICA	9104FMZ	12780	12140	640	TETMA	BAIXMAESTRAT
17-mar-18	ORGANICA	9104FMZ	12520	12140	380	TETMA	BAIXMAESTRAT
17-mar-18	ORGANICA	8500BYJ	23300	17480	5820	FOBESA	0
20-mar-18	ORGANICA	9104FMZ	12640	12080	560	TETMA	BAIXMAESTRAT
20-mar-18	ORGANICA	8500BYJ	23800	17820	5980	FOBESA	0
22-mar-18	ORGANICA	9104FMZ	12400	12120	280	TETMA	BAIXMAESTRAT
22-mar-18	ORGANICA	8500BYJ	21340	17380	3960	FOBESA	0
23-mar-18	ORGANICA	5119HWX	16480	16060	420	TETMA	ALCALA
24-mar-18	ORGANICA	9104FMZ	12640	12160	480	TETMA	BAIXMAESTRAT
24-mar-18	ORGANICA	8500BYJ	21880	17720	4160	FOBESA	0
27-mar-18	ORGANICA	9104FMZ	12580	12060	520	TETMA	BAIXMAESTRAT
27-mar-18	ORGANICA	8500BYJ	23440	17640	5800	FOBESA	0

29-mar-18	ORGANICA	9104FMZ	12720	12100	620	TETMA	BAIXMAESTRAT
29-mar-18	ORGANICA	8500BYJ	21720	17760	3960	FOBESA	0
31-mar-18	ORGANICA	9104FMZ	12520	12120	400	TETMA	BAIXMAESTRAT
31-mar-18	ORGANICA	8500BYJ	21740	17500	4240	FOBESA	0
03-abr-18	ORGANICA	9104FMZ	12920	12060	860	TETMA	BAIXMAESTRAT
03-abr-18	ORGANICA	8500BYJ	23280	17800	5480	FOBESA	0
05-abr-18	ORGANICA	9104FMZ	12620	12080	540	TETMA	BAIXMAESTRAT
06-abr-18	ORGANICA	8500BYJ	23540	17680	5860	FOBESA	0
06-abr-18	ORGANICA	5119HWX	16300	15880	420	TETMA	ALCALA
07-abr-18	ORGANICA	9104FMZ	12480	12140	340	TETMA	BAIXMAESTRAT
09-abr-18	ORGANICA	8500BYJ	23560	17800	5760	FOBESA	0
10-abr-18	ORGANICA	9104FMZ	12400	12060	340	TETMA	BAIXMAESTRAT
11-abr-18	ORGANICA	8500BYJ	22080	17780	4300	FOBESA	0
12-abr-18	ORGANICA	9104FMZ	12460	12100	360	TETMA	BAIXMAESTRAT
13-abr-18	ORGANICA	8500BYJ	21840	18000	3840	FOBESA	0
14-abr-18	ORGANICA	9104FMZ	12300	12120	180	TETMA	BAIXMAESTRAT
16-abr-18	ORGANICA	8500BYJ	23900	17480	6420	FOBESA	0
17-abr-18	ORGANICA	9104FMZ	12440	12040	400	TETMA	BAIXMAESTRAT
18-abr-18	ORGANICA	8500BYJ	22080	17880	4200	FOBESA	0
19-abr-18	ORGANICA	9104FMZ	12500	12080	420	TETMA	BAIXMAESTRAT
20-abr-18	ORGANICA	8500BYJ	21760	17520	4240	FOBESA	0
20-abr-18	ORGANICA	5119HWX	16700	15880	820	TETMA	ALCALA
21-abr-18	ORGANICA	8636BPB	13080	12560	520	TETMA	BAIXMAESTRAT
23-abr-18	ORGANICA	8636BPB	13040	12540	500	TETMA	BAIXMAESTRAT
23-abr-18	ORGANICA	8500BYJ	24200	17880	6320	FOBESA	0
25-abr-18	ORGANICA	8500BYJ	21960	17720	4240	FOBESA	0
26-abr-18	ORGANICA	9104FMZ	12720	12300	420	TETMA	BAIXMAESTRAT
27-abr-18	ORGANICA	8500BYJ	21880	17900	3980	FOBESA	0
28-abr-18	ORGANICA	9104FMZ	12720	12340	380	TETMA	BAIXMAESTRAT
30-abr-18	ORGANICA	8500BYJ	24760	17840	6920	FOBESA	0
01-may-18	ORGANICA	9104FMZ	12900	12260	640	TETMA	BAIXMAESTRAT
02-may-18	ORGANICA	8500BYJ	21720	17740	3980	FOBESA	0
03-may-18	ORGANICA	9104FMZ	12720	12300	420	TETMA	BAIXMAESTRAT
04-may-18	ORGANICA	8500BYJ	21740	17760	3980	FOBESA	0
04-may-18	ORGANICA	6460HZB	16940	15840	1100	TETMA	ALCALA
05-may-18	ORGANICA	9104FMZ	12740	12400	340	TETMA	BAIXMAESTRAT
07-may-18	ORGANICA	8500BYJ	23660	18240	5420	FOBESA	0
08-may-18	ORGANICA	9104FMZ	12840	12320	520	TETMA	BAIXMAESTRAT
09-may-18	ORGANICA	8500BYJ	21740	17760	3980	FOBESA	0
10-may-18	ORGANICA	9104FMZ	12780	12380	400	TETMA	BAIXMAESTRAT
11-may-18	ORGANICA	8500BYJ	22000	17840	4160	FOBESA	0
12-may-18	ORGANICA	9104FMZ	12840	12420	420	TETMA	BAIXMAESTRAT
14-may-18	ORGANICA	8500BYJ	23600	17480	6120	FOBESA	0
15-may-18	ORGANICA	9104FMZ	12860	12320	540	TETMA	BAIXMAESTRAT
16-may-18	ORGANICA	8500BYJ	21720	17860	3860	FOBESA	0
17-may-18	ORGANICA	9104FMZ	12800	12380	420	TETMA	BAIXMAESTRAT

18-may-18	ORGANICA	8500BYJ	21500	17600	3900	FOBESA	0
18-may-18	ORGANICA	5119H WX	17100	15660	1440	TETMA	ALCALA
19-may-18	ORGANICA	9104FMZ	12720	12400	320	TETMA	BAIXMAESTRAT
21-may-18	ORGANICA	2828CZW	21060	15340	5720	FOBESA	0
22-may-18	ORGANICA	9104FMZ	12880	12320	560	TETMA	BAIXMAESTRAT
24-may-18	ORGANICA	9104FMZ	12700	12380	320	TETMA	BAIXMAESTRAT
25-may-18	ORGANICA	8500BYJ	24960	17740	7220	FOBESA	0
26-may-18	ORGANICA	9104FMZ	12680	12400	280	TETMA	BAIXMAESTRAT
29-may-18	ORGANICA	8636BPB	13080	12460	620	TETMA	BAIXMAESTRAT
29-may-18	ORGANICA	8500BYJ	21740	18020	3720	FOBESA	0
31-may-18	ORGANICA	8636BPB	12860	12620	240	TETMA	BAIXMAESTRAT
01-jun-18	ORGANICA	5119H WX	16720	15780	940	TETMA	ALCALA
02-jun-18	ORGANICA	9104FMZ	12680	12360	320	TETMA	CALIG
05-jun-18	ORGANICA	9104FMZ	12780	12320	460	TETMA	CALIG
05-jun-18	ORGANICA	2828CZW	23420	16040	7380	FOBESA	INST. PENIT.
07-jun-18	ORGANICA	9104FMZ	12780	12360	420	TETMA	CALIG
07-jun-18	ORGANICA	2828CZW	19360	15560	3800	FOBESA	INST. PENIT.
09-jun-18	ORGANICA	9104FMZ	12900	12360	540	TETMA	CALIG
09-jun-18	ORGANICA	2828CZW	19400	15540	3860	FOBESA	INST. PENIT.
11-jun-18	ORGANICA	2828CZW	19960	15480	4480	FOBESA	INST. PENIT.
12-jun-18	ORGANICA	9104FMZ	12960	12400	560	TETMA	CALIG
13-jun-18	ORGANICA	2828CZW	19480	15560	3920	FOBESA	INST. PENIT.
14-jun-18	ORGANICA	9104FMZ	12700	12320	380	TETMA	CALIG
15-jun-18	ORGANICA	2828CZW	19740	15380	4360	FOBESA	INST. PENIT.
16-jun-18	ORGANICA	6460H ZB	16760	15680	1080	TETMA	ALCALA
16-jun-18	ORGANICA	9104FMZ	12900	12360	540	TETMA	CALIG
18-jun-18	ORGANICA	8500BYJ	23720	17900	5820	FOBESA	INST. PENIT.
19-jun-18	ORGANICA	9104FMZ	12880	12300	580	TETMA	CALIG
20-jun-18	ORGANICA	5936G JY	21180	17560	3620	FOBESA	INST. PENIT.
21-jun-18	ORGANICA	9104FMZ	12820	12340	480	TETMA	CALIG
22-jun-18	ORGANICA	5936G JY	21200	17740	3460	FOBESA	INST. PENIT.
23-jun-18	ORGANICA	9104FMZ	12820	12380	440	TETMA	CALIG
25-jun-18	ORGANICA	5936G JY	22920	17620	5300	FOBESA	INST. PENIT.
26-jun-18	ORGANICA	9104FMZ	12740	12220	520	TETMA	CALIG
27-jun-18	ORGANICA	5936G JY	21780	17840	3940	FOBESA	INST. PENIT.
28-jun-18	ORGANICA	9104FMZ	12780	12340	440	TETMA	CALIG
29-jun-18	ORGANICA	5936G JY	21300	17580	3720	FOBESA	INST. PENIT.
30-jun-18	ORGANICA	9104FMZ	12900	12360	540	TETMA	CALIG
02-jul-18	ORGANICA	5936G JY	23480	17800	5680	FOBESA	#N/D
04-jul-18	ORGANICA	5936G JY	21520	17440	4080	FOBESA	#N/D
05-jul-18	ORGANICA	8636BPB	13340	12660	680	TETMA	BAIXMAESTRAT
06-jul-18	ORGANICA	5936G JY	21440	17640	3800	FOBESA	#N/D
06-jul-18	ORGANICA	6460H ZB	16420	15920	500	TETMA	ALCALA
07-jul-18	ORGANICA	8636BPB	13080	12640	440	TETMA	BAIXMAESTRAT
09-jul-18	ORGANICA	5936G JY	23480	17420	6060	FOBESA	#N/D
10-jul-18	ORGANICA	8636BPB	13020	12660	360	TETMA	BAIXMAESTRAT

11-jul-18	ORGANICA	5936GJY	21580	17760	3820	FOBESA	#N/D
12-jul-18	ORGANICA	8636BPB	13560	12780	780	TETMA	BAIXMAESTRAT
13-jul-18	ORGANICA	5936GJY	21000	17480	3520	FOBESA	#N/D
14-jul-18	ORGANICA	1169DMY	15060	14400	660	TETMA	0
16-jul-18	ORGANICA	5936GJY	24060	17960	6100	FOBESA	0
17-jul-18	ORGANICA	1169DMY	14820	14420	400	TETMA	BAIXMAESTRAT
18-jul-18	ORGANICA	5936GJY	21280	17420	3860	FOBESA	#N/D
19-jul-18	ORGANICA	9104FMZ	12800	12360	440	TETMA	BAIXMAESTRAT
20-jul-18	ORGANICA	5936GJY	21000	17760	3240	FOBESA	#N/D
20-jul-18	ORGANICA	5119HWX	16240	16000	240	TETMA	ALCALA
21-jul-18	ORGANICA	1169DMY	14820	14400	420	TETMA	BAIXMAESTRAT
23-jul-18	ORGANICA	5936GJY	23840	17520	6320	FOBESA	#N/D
24-jul-18	ORGANICA	1169DMY	14820	14420	400	TETMA	ALCALA
25-jul-18	ORGANICA	5936GJY	21860	17800	4060	FOBESA	#N/D
26-jul-18	ORGANICA	1169DMY	14700	14420	280	TETMA	ALCALA
27-jul-18	ORGANICA	5936GJY	21720	17440	4280	FOBESA	#N/D
28-jul-18	ORGANICA	1169DMY	14680	14400	280	TETMA	ALCALA
30-jul-18	ORGANICA	5936GJY	24180	17820	6360	FOBESA	#N/D
01-ago-18	ORGANICA	5936GJY	21440	17520	3920	FOBESA	#N/D
02-ago-18	ORGANICA	1169DMY	15000	14420	580	TETMA	0
03-ago-18	ORGANICA	8500BYJ	21200	17660	3540	FOBESA	0
03-ago-18	ORGANICA	6460HZB	17320	15760	1560	TETMA	ALCALA
04-ago-18	ORGANICA	8636BPB	13320	12660	660	TETMA	BAIXMAESTRAT
06-ago-18	ORGANICA	8500BYJ	23980	17540	6440	FOBESA	0
07-ago-18	ORGANICA	1169DMY	15100	14420	680	TETMA	0
08-ago-18	ORGANICA	8500BYJ	21400	17700	3700	FOBESA	0
09-ago-18	ORGANICA	1169DMY	15040	14400	640	TETMA	0
10-ago-18	ORGANICA	5936GJY	20960	17520	3440	FOBESA	#N/D
11-ago-18	ORGANICA	1169DMY	14980	14420	560	TETMA	0
13-ago-18	ORGANICA	5936GJY	23860	17840	6020	FOBESA	#N/D
14-ago-18	ORGANICA	1169DMY	15200	14440	760	TETMA	0
16-ago-18	ORGANICA	8636BPB	13260	12680	580	TETMA	BAIXMAESTRAT
16-ago-18	ORGANICA	5936GJY	23280	17620	5660	FOBESA	#N/D
18-ago-18	ORGANICA	6460HZB	16960	15880	1080	TETMA	ALCALA
18-ago-18	ORGANICA	8500BYJ	21440	17740	3700	FOBESA	0
20-ago-18	ORGANICA	5936GJY	21500	17640	3860	FOBESA	#N/D
21-ago-18	ORGANICA	8636BPB	13480	12680	800	TETMA	BAIXMAESTRAT
22-ago-18	ORGANICA	5936GJY	21580	17840	3740	FOBESA	#N/D
23-ago-18	ORGANICA	8636BPB	13260	12680	580	TETMA	BAIXMAESTRAT
24-ago-18	ORGANICA	5936GJY	20840	17560	3280	FOBESA	#N/D
25-ago-18	ORGANICA	8636BPB	13040	12660	380	TETMA	BAIXMAESTRAT
27-ago-18	ORGANICA	5936GJY	24100	17960	6140	FOBESA	#N/D
28-ago-18	ORGANICA	8636BPB	13400	12680	720	TETMA	BAIXMAESTRAT
29-ago-18	ORGANICA	5936GJY	21340	17520	3820	FOBESA	#N/D
30-ago-18	ORGANICA	8636BPB	13120	12680	440	TETMA	BAIXMAESTRAT
31-ago-18	ORGANICA	5936GJY	21500	17900	3600	FOBESA	#N/D

01-sep-18	ORGANICA	8636BPB	13080	12660	420	TETMA	BAIXMAESTRAT
01-sep-18	ORGANICA	5119HWX	17280	16160	1120	TETMA	ALCALA
03-sep-18	ORGANICA	5936GJY	23920	17620	6300	FOBESA	ALBOCACER
04-sep-18	ORGANICA	8636BPB	13320	12680	640	TETMA	BAIXMAESTRAT
05-sep-18	ORGANICA	5936GJY	21580	17760	3820	FOBESA	ALBOCACER
06-sep-18	ORGANICA	8636BPB	13010	12680	330	TETMA	BAIXMAESTRAT
07-sep-18	ORGANICA	5936GJY	21920	17760	4160	FOBESA	ALBOCACER
08-sep-18	ORGANICA	8636BPB	13020	12680	340	TETMA	BAIXMAESTRAT
10-sep-18	ORGANICA	5936GJY	24180	17860	6320	FOBESA	ALBOCACER
12-sep-18	ORGANICA	5936GJY	21900	17680	4220	FOBESA	ALBOCACER
13-sep-18	ORGANICA	1169DMY	15240	14420	820	TETMA	ALCALA
14-sep-18	ORGANICA	5936GJY	22120	17920	4200	FOBESA	ALBOCACER
15-sep-18	ORGANICA	6460HQB	16420	15860	560	TETMA	ALCALA
15-sep-18	ORGANICA	9104FMZ	12640	12340	300	TETMA	BAIXMAESTRAT
17-sep-18	ORGANICA	5936GJY	24320	17800	6520	FOBESA	ALBOCACER
18-sep-18	ORGANICA	9104FMZ	13040	12380	660	TETMA	BAIXMAESTRAT
19-sep-18	ORGANICA	5936GJY	21820	17800	4020	FOBESA	ALBOCACER
20-sep-18	ORGANICA	8636BPB	13140	12600	540	TETMA	BAIXMAESTRAT
21-sep-18	ORGANICA	5936GJY	22140	17540	4600	FOBESA	ALBOCACER
22-sep-18	ORGANICA	9104FMZ	12720	12300	420	TETMA	BAIXMAESTRAT
24-sep-18	ORGANICA	5936GJY	24180	17860	6320	FOBESA	ALBOCACER
25-sep-18	ORGANICA	9104FMZ	13340	12380	960	TETMA	BAIXMAESTRAT
26-sep-18	ORGANICA	5936GJY	21880	17360	4520	FOBESA	#N/D
27-sep-18	ORGANICA	8636BPB	13080	11980	1100	TETMA	BAIXMAESTRAT
27-sep-18	ORGANICA	8636BPB	13080	12180	900	TETMA	BAIXMAESTRAT
28-sep-18	ORGANICA	5936GJY	21760	17740	4020	FOBESA	#N/D
28-sep-18	ORGANICA	6460HQB	16180	15860	320	TETMA	ALCALA
29-sep-18	ORGANICA	8636BPB	12900	12480	420	TETMA	BAIXMAESTRAT
01-oct-18	ORGANICA	5936GJY	24340	17520	6820	FOBESA	#N/D
02-oct-18	ORGANICA	9104FMZ	12840	12380	460	TETMA	BAIXMAESTRAT
03-oct-18	ORGANICA	5936GJY	21500	17740	3760	FOBESA	#N/D
04-oct-18	ORGANICA	9104FMZ	13000	12400	600	TETMA	BAIXMAESTRAT
05-oct-18	ORGANICA	5936GJY	20800	17500	3300	FOBESA	#N/D
06-oct-18	ORGANICA	9104FMZ	12640	12360	280	TETMA	BAIXMAESTRAT
08-oct-18	ORGANICA	4283GYC	11100	11060	40	FCC	#N/D
08-oct-18	ORGANICA	5936GJY	23580	17840	5740	FOBESA	#N/D
09-oct-18	ORGANICA	4283GYC	11720	10980	740	FCC	#N/D
09-oct-18	ORGANICA	9104FMZ	12860	12380	480	TETMA	BAIXMAESTRAT
10-oct-18	ORGANICA	4283GYC	11220	10960	260	FCC	#N/D
10-oct-18	ORGANICA	5936GJY	21140	17460	3680	FOBESA	#N/D
11-oct-18	ORGANICA	9104FMZ	13080	12440	640	TETMA	BAIXMAESTRAT
11-oct-18	ORGANICA	4283GYC	12360	11080	1280	FCC	BENICARLO
12-oct-18	ORGANICA	4283GYC	12020	11100	920	FCC	#N/D
12-oct-18	ORGANICA	6460HQB	16040	15860	180	TETMA	ALCALA
13-oct-18	ORGANICA	4283GYC	11420	11000	420	FCC	#N/D
13-oct-18	ORGANICA	9104FMZ	12740	12340	400	TETMA	BAIXMAESTRAT

14-oct-18	ORGANICA	4283GYC	12240	11100	1140	FCC	#N/D
15-oct-18	ORGANICA	4283GYC	11540	10960	580	FCC	#N/D
15-oct-18	ORGANICA	5936GJY	21620	17480	4140	FOBESA	#N/D
16-oct-18	ORGANICA	4283GYC	11840	11060	780	FCC	#N/D
16-oct-18	ORGANICA	9104FMZ	13000	12320	680	TETMA	BAIXMAESTRAT
17-oct-18	ORGANICA	4283GYC	11800	11040	760	FCC	#N/D
17-oct-18	ORGANICA	5936GJY	22420	17860	4560	FOBESA	#N/D
18-oct-18	ORGANICA	4283GYC	12120	11200	920	FCC	#N/D
18-oct-18	ORGANICA	9104FMZ	13200	12460	740	TETMA	BAIXMAESTRAT
19-oct-18	ORGANICA	4283GYC	12040	10980	1060	FCC	#N/D
19-oct-18	ORGANICA	5936GJY	21580	17540	4040	FOBESA	#N/D
20-oct-18	ORGANICA	4283GYC	12000	11160	840	FCC	#N/D
21-oct-18	ORGANICA	4283GYC	11880	11120	760	FCC	#N/D
22-oct-18	ORGANICA	4283GYC	11580	11140	440	FCC	#N/D
22-oct-18	ORGANICA	8500BYJ	23400	17920	5480	FOBESA	
23-oct-18	ORGANICA	4283GYC	12700	11040	1660	FCC	#N/D
23-oct-18	ORGANICA	9104FMZ	13100	11480	1620	TETMA	BAIXMAESTRAT
24-oct-18	ORGANICA	4283GYC	12600	11100	1500	FCC	#N/D
25-oct-18	ORGANICA	4283GYC	12300	11060	1240	FCC	#N/D
25-oct-18	ORGANICA	9104FMZ	13100	12300	800	TETMA	BAIXMAESTRAT
25-oct-18	ORGANICA	5936GJY	22200	17700	4500	FOBESA	#N/D
26-oct-18	ORGANICA	4283GYC	12200	11000	1200	FCC	#N/D
26-oct-18	ORGANICA	5119HWX	19300	15800	3500	TETMA	ALCALA
27-oct-18	ORGANICA	4283GYC	12200	11160	1040	FCC	#N/D
27-oct-18	ORGANICA	9104FMZ	12880	12380	500	TETMA	BAIXMAESTRAT
27-oct-18	ORGANICA	5936GJY	22300	17980	4320	FOBESA	#N/D
28-oct-18	ORGANICA	4283GYC	12440	11040	1400	FCC	#N/D
29-oct-18	ORGANICA	4283GYC	11400	10980	420	FCC	#N/D
29-oct-18	ORGANICA	8500BYJ	21680	17560	4120	FOBESA	
30-oct-18	ORGANICA	4283GYC	11860	10960	900	FCC	#N/D
30-oct-18	ORGANICA	9104FMZ	12900	12260	640	TETMA	BAIXMAESTRAT
31-oct-18	ORGANICA	4283GYC	12280	11080	1200	FCC	#N/D
31-oct-18	ORGANICA	5936GJY	22100	18080	4020	FOBESA	#N/D
01-nov-18	ORGANICA	4283GYC	12460	11120	1340	FCC	BENICARLO
01-nov-18	ORGANICA	9104FMZ	13040	12380	660	TETMA	BAIXMAESTRAT
02-nov-18	ORGANICA	4283GYC	11380	11080	300	FCC	BENICARLO
02-nov-18	ORGANICA	5936GJY	21500	17620	3880	FOBESA	#N/D
03-nov-18	ORGANICA	4283GYC	11880	11060	820	FCC	BENICARLO
03-nov-18	ORGANICA	8636BPB	13340	12700	640	TETMA	BAIXMAESTRAT
04-nov-18	ORGANICA	4283GYC	12100	11040	1060	FCC	BENICARLO
05-nov-18	ORGANICA	4283GYC	11340	11020	320	FCC	BENICARLO
05-nov-18	ORGANICA	5936GJY	23240	18040	5200	FOBESA	#N/D
06-nov-18	ORGANICA	4283GYC	12100	11100	1000	FCC	BENICARLO
06-nov-18	ORGANICA	9104FMZ	14260	12440	1820	TETMA	BAIXMAESTRAT
06-nov-18	ORGANICA	8636BPB	13380	12700	680	TETMA	BAIXMAESTRAT
07-nov-18	ORGANICA	4283GYC	11920	11080	840	FCC	BENICARLO

07-nov-18	ORGANICA	9104FMZ	12900	12400	500	TETMA	BAIXMAESTRAT
07-nov-18	ORGANICA	5936GJY	21640	17600	4040	FOBESA	#N/D
08-nov-18	ORGANICA	4283GYC	12820	11080	1740	FCC	BENICARLO
08-nov-18	ORGANICA	8636BPB	13240	12600	640	TETMA	BAIXMAESTRAT
09-nov-18	ORGANICA	4283GYC	12000	11100	900	FCC	BENICARLO
09-nov-18	ORGANICA	5936GJY	22160	17960	4200	FOBESA	#N/D
10-nov-18	ORGANICA	9104FMZ	12800	12420	380	TETMA	BAIXMAESTRAT
10-nov-18	ORGANICA	4283GYC	12160	11120	1040	FCC	BENICARLO
10-nov-18	ORGANICA	9104FMZ	13080	12420	660	TETMA	BAIXMAESTRAT
11-nov-18	ORGANICA	4283GYC	11880	11060	820	FCC	BENICARLO
12-nov-18	ORGANICA	4283GYC	11300	10920	380	FCC	BENICARLO
12-nov-18	ORGANICA	5936GJY	23360	17740	5620	FOBESA	#N/D
13-nov-18	ORGANICA	4283GYC	12040	11040	1000	FCC	BENICARLO
13-nov-18	ORGANICA	6460HZB	16980	15940	1040	TETMA	ALCALA
13-nov-18	ORGANICA	8636BPB	13220	12500	720	TETMA	BAIXMAESTRAT
14-nov-18	ORGANICA	9104FMZ	13020	12440	580	TETMA	BAIXMAESTRAT
14-nov-18	ORGANICA	4283GYC	11780	11040	740	FCC	BENICARLO
14-nov-18	ORGANICA	5936GJY	22180	18040	4140	FOBESA	#N/D
15-nov-18	ORGANICA	4283GYC	12100	11140	960	FCC	BENICARLO
15-nov-18	ORGANICA	8636BPB	13480	12640	840	TETMA	BAIXMAESTRAT
16-nov-18	ORGANICA	4283GYC	12500	11120	1380	FCC	BENICARLO
16-nov-18	ORGANICA	5936GJY	21000	17600	3400	FOBESA	#N/D
17-nov-18	ORGANICA	9104FMZ	13280	12460	820	TETMA	BAIXMAESTRAT
17-nov-18	ORGANICA	4283GYC	12080	11100	980	FCC	BENICARLO
18-nov-18	ORGANICA	4283GYC	12000	11160	840	FCC	BENICARLO
19-nov-18	ORGANICA	4283GYC	11660	11140	520	FCC	BENICARLO
20-nov-18	ORGANICA	4283GYC	12100	11120	980	FCC	BENICARLO
20-nov-18	ORGANICA	8636BPB	13340	12640	700	TETMA	BAIXMAESTRAT
21-nov-18	ORGANICA	9104FMZ	13320	12440	880	TETMA	BAIXMAESTRAT
21-nov-18	ORGANICA	4283GYC	12420	11120	1300	FCC	BENICARLO
22-nov-18	ORGANICA	4283GYC	11940	11080	860	FCC	BENICARLO
22-nov-18	ORGANICA	9104FMZ	12820	12340	480	TETMA	BAIXMAESTRAT
22-nov-18	ORGANICA	5936GJY	26360	18360	8000	FOBESA	#N/D
23-nov-18	ORGANICA	4283GYC	11980	11060	920	FCC	BENICARLO
24-nov-18	ORGANICA	9104FMZ	13320	12420	900	TETMA	BAIXMAESTRAT
24-nov-18	ORGANICA	4283GYC	12040	11140	900	FCC	BENICARLO
24-nov-18	ORGANICA	9104FMZ	12940	12420	520	TETMA	BAIXMAESTRAT
24-nov-18	ORGANICA	6460HZB	17620	15960	1660	TETMA	ALCALA
24-nov-18	ORGANICA	5936GJY	23220	17840	5380	FOBESA	#N/D
25-nov-18	ORGANICA	4283GYC	11960	11140	820	FCC	BENICARLO
26-nov-18	ORGANICA	4283GYC	11600	11120	480	FCC	BENICARLO
26-nov-18	ORGANICA	5936GJY	22320	18180	4140	FOBESA	#N/D
27-nov-18	ORGANICA	4283GYC	12220	11080	1140	FCC	#N/D
27-nov-18	ORGANICA	8636BPB	13280	12620	660	TETMA	BAIXMAESTRAT
28-nov-18	ORGANICA	9104FMZ	13220	12340	880	TETMA	BAIXMAESTRAT
28-nov-18	ORGANICA	4283GYC	12320	11140	1180	FCC	#N/D

28-nov-18	ORGANICA	5936GJY	21580	17820	3760	FOBESA	#N/D
29-nov-18	ORGANICA	4283GYC	11940	11140	800	FCC	#N/D
29-nov-18	ORGANICA	8636BPB	13180	12620	560	TETMA	BAIXMAESTRAT
30-nov-18	ORGANICA	4283GYC	12080	11100	980	FCC	#N/D
30-nov-18	ORGANICA	8500BYJ	22120	18080	4040	FOBESA	
01-dic-18	ORGANICA	9104FMZ	13280	12380	900	TETMA	BENLLOCH
01-dic-18	ORGANICA	4283GYC	12040	11100	940	FCC	BENICARLO
01-dic-18	ORGANICA	9104FMZ	12980	12380	600	TETMA	BAIXMAESTRAT
02-dic-18	ORGANICA	4283GYC	12380	11120	1260	FCC	BENICARLO
03-dic-18	ORGANICA	4283GYC	11520	11080	440	FCC	BENICARLO
03-dic-18	ORGANICA	8500BYJ	22940	17660	5280	FOBESA	ALBOCACER
04-dic-18	ORGANICA	4283GYC	12260	11100	1160	FCC	BENICARLO
04-dic-18	ORGANICA	9104FMZ	13080	12400	680	TETMA	BAIXMAESTRAT
05-dic-18	ORGANICA	4283GYC	12000	11080	920	FCC	BENICARLO
05-dic-18	ORGANICA	8636BPB	13620	12700	920	TETMA	BENLLOCH
05-dic-18	ORGANICA	8500BYJ	22100	18140	3960	FOBESA	ALBOCACER
06-dic-18	ORGANICA	4283GYC	12060	11120	940	FCC	BENICARLO
06-dic-18	ORGANICA	9104FMZ	12700	12300	400	TETMA	BAIXMAESTRAT
07-dic-18	ORGANICA	4283GYC	11620	11100	520	FCC	BENICARLO
07-dic-18	ORGANICA	5936GJY	21740	17860	3880	FOBESA	ALBOCACER
07-dic-18	ORGANICA	5119HWX	16400	15800	600	TETMA	ALCALA
08-dic-18	ORGANICA	8636BPB	13780	12700	1080	TETMA	BENLLOCH
08-dic-18	ORGANICA	4283GYC	11980	11060	920	FCC	BENICARLO
08-dic-18	ORGANICA	8636BPB	13240	12700	540	TETMA	BAIXMAESTRAT
09-dic-18	ORGANICA	4283GYC	12040	11040	1000	FCC	BENICARLO
10-dic-18	ORGANICA	4283GYC	11560	11120	440	FCC	BENICARLO
10-dic-18	ORGANICA	8500BYJ	23780	17960	5820	FOBESA	ALBOCACER
11-dic-18	ORGANICA	4283GYC	12040	11040	1000	FCC	BENICARLO
11-dic-18	ORGANICA	9104FMZ	12880	12360	520	TETMA	BAIXMAESTRAT
12-dic-18	ORGANICA	4283GYC	12000	11100	900	FCC	BENICARLO
12-dic-18	ORGANICA	8636BPB	13520	12700	820	TETMA	BENLLOCH
12-dic-18	ORGANICA	2828CZW	19620	15640	3980	FOBESA	ALBOCACER
13-dic-18	ORGANICA	4283GYC	11960	11080	880	FCC	BENICARLO
13-dic-18	ORGANICA	9104FMZ	12880	12300	580	TETMA	BAIXMAESTRAT
14-dic-18	ORGANICA	4283GYC	11840	11060	780	FCC	BENICARLO
14-dic-18	ORGANICA	8500BYJ	21900	17880	4020	FOBESA	ALBOCACER
15-dic-18	ORGANICA	8636BPB	13620	12760	860	TETMA	BENLLOCH
15-dic-18	ORGANICA	4283GYC	11980	11020	960	FCC	BENICARLO
15-dic-18	ORGANICA	8636BPB	12900	12720	180	TETMA	BAIXMAESTRAT
16-dic-18	ORGANICA	4283GYC	12220	11120	1100	FCC	BENICARLO
17-dic-18	ORGANICA	4283GYC	11480	11080	400	FCC	BENICARLO
17-dic-18	ORGANICA	2828CZW	21120	15540	5580	FOBESA	ALBOCACER
18-dic-18	ORGANICA	4283GYC	11960	11100	860	FCC	BENICARLO
18-dic-18	ORGANICA	9104FMZ	12700	12260	440	TETMA	BAIXMAESTRAT
19-dic-18	ORGANICA	4283GYC	12120	11080	1040	FCC	BENICARLO

19-dic-18	ORGANICA	8636BPB	13620	12720	900	TETMA	BENLLOCH
19-dic-18	ORGANICA	8500BYJ	21660	18020	3640	FOBESA	ALBOCACER
20-dic-18	ORGANICA	4283GYC	12180	11160	1020	FCC	BENICARLO
20-dic-18	ORGANICA	9104FMZ	12700	12320	380	TETMA	BAIXMAESTRAT
21-dic-18	ORGANICA	4283GYC	12060	11120	940	FCC	BENICARLO
21-dic-18	ORGANICA	8500BYJ	21700	17680	4020	FOBESA	ALBOCACER
21-dic-18	ORGANICA	6460HZB	16180	15720	460	TETMA	ALCALA
22-dic-18	ORGANICA	4283GYC	12260	11100	1160	FCC	BENICARLO
22-dic-18	ORGANICA	8636BPB	13140	12600	540	TETMA	BENLLOCH
22-dic-18	ORGANICA	8636BPB	13160	12680	480	TETMA	BAIXMAESTRAT
23-dic-18	ORGANICA	4283GYC	12280	11120	1160	FCC	BENICARLO
24-dic-18	ORGANICA	4283GYC	11640	11080	560	FCC	BENICARLO
24-dic-18	ORGANICA	5936GJY	24080	18140	5940	FOBESA	ALBOCACER
25-dic-18	ORGANICA	4283GYC	12780	11060	1720	FCC	BENICARLO
26-dic-18	ORGANICA	4283GYC	11460	11060	400	FCC	BENICARLO
26-dic-18	ORGANICA	5936GJY	22480	17800	4680	FOBESA	ALBOCACER
27-dic-18	ORGANICA	4283GYC	12620	11200	1420	FCC	BENICARLO
27-dic-18	ORGANICA	9104FMZ	13500	12360	1140	TETMA	BAIXMAESTRAT
28-dic-18	ORGANICA	4283GYC	12040	11120	920	FCC	BENICARLO
28-dic-18	ORGANICA	8500BYJ	22300	17960	4340	FOBESA	ALBOCACER
29-dic-18	ORGANICA	4283GYC	12160	11100	1060	FCC	BENICARLO
29-dic-18	ORGANICA	8636BPB	14820	12720	2100	TETMA	BENLLOCH
29-dic-18	ORGANICA	8636BPB	13260	12700	560	TETMA	BAIXMAESTRAT
30-dic-18	ORGANICA	4283GYC	12220	11140	1080	FCC	BENICARLO
31-dic-18	ORGANICA	4283GYC	11900	11100	800	FCC	BENICARLO
31-dic-18	ORGANICA	8500BYJ	23500	17660	5840	FOBESA	ALBOCACER
					888330		

ANEJO II. CAUDALES AGUA

Cantidades

Durante todo proceso de compostaje, la humedad es un factor decisivo, completamente necesario no solo para el buen funcionamiento de este si no que se trata de un parámetro sin el cual el proceso no puede acontecer. Por un lado, las poblaciones microbianas toman la mayoría de los nutrientes del medio disueltos en agua, haciendo de la humedad un elemento vital para la asimilación microbiana de nutrientes. Y, por otro lado, las reacciones metabólicas que se suceden en el sustrato por parte de los microorganismos también ocurren en medio acuoso. Es decir, un contenido en agua óptimo en el sustrato garantiza la supervivencia y el desarrollo eficiente de las comunidades microbianas, lo cual repercute en un proceso de compostaje eficaz.

En este proyecto la humedad que se decide establecer en el sustrato es del 60%. Existen múltiples fuentes bibliográficas en cuanto a este parámetro; ensayos, estudios teóricos, experimentaciones de todo tipo de calibres... Realizadas tanto por órganos de investigación, como universidades, grupos de investigación y/o institutos oficiales, como por organismos aplicados, del tipo de plantas de compostaje y RSU, cooperativas agrícolas y/o centros de producción vegetal (viveros, grandes explotaciones). Analizando toda esta bibliografía, junto con los conocimientos adquiridos como estudiante en el grado, se extrae que los rangos de humedad en el proceso de compostaje deben oscilar entre el 50% y el 60%. Al tratarse de un proceso dinámico, vinculado a la actividad biológica de las poblaciones microbianas, no existe un valor exacto; un mayor desarrollo microbiano, por ejemplo, consume más agua y genera más calor, lo cual reduce la humedad. Del mismo modo, poblaciones microbianas poco desarrolladas requieren menos humedad en el sustrato. Es decir, la humedad requerida para el compostaje depende del estado de desarrollo que presenten las comunidades microbiológicas que habitan el sustrato. A su vez, dependiendo del sistema de compostaje y de la naturaleza del sustrato a compostar, los valores pueden variar. Sin embargo, el rango de variación de humedades se mantiene con un valor mínimo del 50% y un valor máximo del 60%.

Para poder suministrar la humedad adecuada en todo momento y que esta no sea un factor limitante, se fija una humedad requerida del 60%. Este valor corresponde con el valor máximo. Se escoge dicho valor ya que, en caso de requerir menos humedad en el sustrato, se puede regular la bomba para que suministre menos agua. Paralelamente, en el caso de que se requiera humedades máximas, al dimensionar con el valor máximo de estas, no habrá restricciones y el sistema será capaz de proveer el agua necesaria.

Primeramente, es necesario conocer la cantidad de sustrato que se alberga en el interior del reactor. Este dato es conocido ya que se encuentra especificado en el Anejo I.

$$\text{Masa del reactor} = M_r = 70^2 \text{ t}$$

En el biorreactor se procesa un máximo de 70² t de biorresiduo. De estas, se precisa conocer la humedad media del biorresiduo entrante. Para ello se utilizan los datos disponibles de las caracterizaciones realizadas en la planta de selección de Cervera del Maestre por KPMG

Audidores S.L. Se conoce la humedad de las entradas de Càlig (39'4%), Alcalà de Xivert (69'6% y 63'3%), Albocàsser (38'4%) y Benlloch i Les Coves (59'8% y 48'2%). Con estos datos se conoce que:

$$[1] Hmed = \frac{39'4+69'6+63'3+38'4+59'8+48'2}{6} = 53'12\%$$

Debido a que las caracterizaciones se realizaron en el mismo momento de llegada del biorresiduo, la humedad es máxima. Sin embargo, si por alguna razón el biorresiduo se mantiene en un depósito durante cierto tiempo, este puede perder humedad. A su vez, la llegada puntual de material más seco no es un escenario imposible. Por estas razones, la humedad media se corrige al 50%, para así dimensionar el sistema frente a casos desfavorables.

A continuación, se calcula la cantidad de materia seca que alberga el reactor. De las 70'2 t, un 50% corresponde con la fracción húmeda y el otro 50% con la fracción de materia seca. Por lo tanto:

$$[2] Mms = 70'2 \times 0'5 = 35'1t$$

De las 70'2 toneladas de sustrato que se procesa en el biorreactor, 35'1 corresponden con materia seca. Puesto que se desea un 60% de humedad, la masa de agua requerida se obtiene de:

$$[3] M(H2O) = \frac{35'1 \times 60}{40} = 52'65t H2O$$

Teniendo en cuenta que tanto las pérdidas de humedad ambientales (evaporación ambiental) como las pérdidas debidas a las condiciones de compostaje (consumo por parte de los microorganismos; evaporación por temperaturas elevadas), se fija un requerimiento de renovación de agua diario, obteniendo:

$$[4] Mr(H2O) = 52'65 \div 1 = 52'65t/día$$

La cantidad de agua que se debe aplicar en el reactor para lograr la humedad deseada del 60% es de 52'65 t/día, siendo este el caudal requerido, también expresado como 52'65 m³/día. Este valor puede expresarse en kg de materia seca, de modo que quede mejor especificado y se pueda extrapolar a cualquier otro sistema:

$$[5] Q = \frac{0'001 \times 52'65}{35'1} = 0'0015 m^3 kg^{-1} día^{-1}$$

En síntesis, en el reactor debe entrar un caudal total de **1'5 L/kg día**, o de **2193'75 L/h**.

En total, este caudal se debe repartir entre los distintos micro-aspersores, distribuidos entre 20 planchas, con 4 micro-aspersores cada uno, y el techo, con 4 micro-aspersores, obteniendo un número total de emisores y un caudal de emisor mostrados en las ecuaciones 6 y 7.

$$[6] N^o e = 20 \times 4 + 4 = 84$$

$$[7] Qe = \frac{2193'75}{84} = 26'12 L/h$$

Los microdifusores elegidos son el modelo ELIMINATOR, de Naandanjain; Jain Irrigation Company. Entre las variantes, se elige el de color gris, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Datos técnicos microdifusores.

Color de Puente, regulador y boquilla	Caudal (l/h)	Color del rotor	Diametro de humedecimiento (m) (Segunda etapa)*
Violeta	20	Negro	4.0
Gris	28	Negro	5.0
Marrón	35	Negro	5.5
Negro	40	Negro	5.5
Azul	47	Negro	6.0
Verde	55	Negro	6.0
Naranja	70	Negro	7.0
Amarillo	95	Negro	7.0

La bomba elegida para el sistema de irrigación es la bomba de superficie Sterwins JET AUTO 5l-3, cuyos datos técnicos se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Especificaciones bomba de agua.

Ficha Técnica	
Tipo de bomba	Superficie
Tipo de agua	Limpia
Potencia	1.300 W
Caudal máximo	6.000 l/h
Caudal a 10 m (L/H)	5.500 l/h
Caudal a 20 m (L/H)	4.700 l/h
Caudal a 30 m (L/H)	3.900 l/h
Altura máxima de bombeo	55 m
Diámetro de racor	25 mm
Longitud del cable	1,50 m
Presión máxima	5,5 bar
Profundidad máxima de succión	8 m
Material	Acero inoxidable
Peso	16 kg
Medidas	47 x 16 x 40 cm (ancho x fondo x alto)
Garantía	3 años

Canalizaciones

Bomba

Presión $\rightarrow H_b = 5.5 \text{ bar} = 56.1 \text{ mca}$

Caudal $\rightarrow Q_b = 5500 \text{ L/h}$ ($Q_b \text{ máx.} = 6000 \text{ L/h}$)

Red de canalización

Tubería primaria $\rightarrow L = 60 \text{ m}$; $Q_p = 2197.75 \text{ L/h} = 0.0006105 \text{ m}^3/\text{s}$

Tubería Ascendente (2X) $\rightarrow L = 14 \text{ m}$; $Q_a = Q_p/2 = 1098.875 \text{ L/h} = 0.000305 \text{ m}^3/\text{s}$

Ramales (12X) $\rightarrow L = 1.5 \text{ m}$; $Q_r = Q_s/12 = 91.6 \text{ L/h} = 0.0000254 \text{ m}^3/\text{s}$

Especificaciones

Material de Tuberías \rightarrow Polietileno de alta densidad (PEAD)

Factor de fricción estimado $\rightarrow f = 0.018$ ($f(\text{RE}, \epsilon)$)

Pérdidas Admisibles

$$[1] \Delta H_{max} = 0.1 \times H_b = 0.3 \times 56.1 = 16.83 \text{ mca}$$

Debido a los bajos caudales requeridos, se imponen unas pérdidas máximas admisibles de diseño que no superen en un 30% de la energía suministrada por la bomba. De esta forma, las pérdidas inducidas por la red de canalización nunca introducirán un impedimento relevante para el funcionamiento óptimo para el sistema. Estas pérdidas máximas de diseño son **16.83 mca**. Al tratarse de un sistema de caudales bajos, las pérdidas tendrán siempre valores muy pequeños, a excepción de la tubería ascendente, debido a que el punto más desfavorable está situado a 14m.

Estas pérdidas se deben repartir entre todos los tramos que componen la red de canalización, por lo tanto:

$$[2] \Delta H_{max} = \Delta H_p + \Delta H_a + \Delta r \leq 16.83 \text{ mca}$$

Para cada tramo, las pérdidas serán función de la diferencia de cota y de las pérdidas de carga inducidas por la tubería, como se muestra en la ecuación 3:

$$[3] \Delta h_t = \Delta h + \Delta z$$

A su vez, las pérdidas de carga inducidas por la tubería y sus elementos responden a la ecuación 4. Estas pérdidas se originan debido a la longitud de la tubería (pérdidas continuas) y a las pérdidas inducidas por los elementos insertados en dicha tubería (pérdidas singulares):

$$[4] \Delta h = \Delta h_c + \Delta h_s$$

Las pérdidas continuas se calculan según la fórmula general de Darcy-Weisbach:

$$[5] \Delta h_c = \frac{8}{\pi^2 \times g} \times f \times L \times \frac{Q^2}{D^5}$$

G=gravedad

f=factor de fricción

L=longitud de la tubería

Q=caudal

D=diámetro de la tubería

RAMAL (r)

Para establecer el diámetro de los ramales, se calcula el diámetro que induce las pérdidas máximas admisibles de diseño y, seguidamente, se escoge un diámetro interior del ramal inferior al obtenido con dichas pérdidas. De esta forma, las pérdidas se reducirán. Adaptando la ecuación 3 al ramal, se obtiene la ecuación 6:

$$[6] \Delta hl = \Delta h + \Delta z$$

Con fin de diseñar la red para el caso más desfavorable, se toma una diferencia de cota nula. Esto se debe a que el caso más desfavorable es el de los micro-aspersores del techo, en los cuales no hay diferencia de cota. En las planchas, al haber una inclinación de 60° respecto a la vertical, hay una diferencia de cota de aproximadamente 0'866 m. Esta inclinación, al estar en el sentido de la circulación del agua, actúa como factor ventajoso en cuanto a pérdidas de carga, por lo cual el caso más desfavorable es cuando no hay ninguna inclinación. Por ello, la ecuación 6 se simplifica:

$$[6.1] \Delta hr = \Delta h$$

Estas pérdidas se obtienen de la suma de pérdidas continuas y pérdidas singulares de los ramales, como muestra la ecuación 4. Sin embargo, no es necesario calcular ambos tipos de pérdidas, ya que se establecen unas pérdidas singulares equivalentes al 15% de las continuas. Esta equivalencia se fija, por un lado, por la experiencia y conocimiento propio y, por otro lado, porque tras haber realizado consultas privadas a distintos Ing. Agrónomos de cooperativas agrícolas locales, se extrae la conclusión de que efectivamente, los micro-aspersores elegidos inducirán las pérdidas fijadas. De esta forma se obtiene la ecuación 7:

$$[6] \Delta hlr = 1'15\Delta hc$$

Así pues, empleando la ecuación 5 y los datos requeridos, se obtiene:

$$[7] \Delta hl = 16'83 = 1'15 \frac{8}{\pi^2 \times 9'81} \times 0'018 \times 1'5 \times \frac{0'0000254^2}{D^5}$$

$$D = 0'0025 \text{ m} \rightarrow D = 2'5 \text{ mm}$$

Este diámetro generaría unas pérdidas de 16'83 mca. Sin embargo, se trata de un diámetro muy pequeño (debido a los bajos caudales) por lo que el diámetro interior comercial que se escoge es el de **16 mm**. Las pérdidas inducidas por este diámetro se recalculan empleando la ecuación 5:

$$[8] \Delta hr' = 1'15 \frac{8}{\pi^2 \times 9'81} \times 0'018 \times 1'5 \times \frac{0'0000254^2}{0'016^5}$$

$$\Delta hr' = 0'001578 \text{ mca}$$

ASCENDENTE (a)

Para la tubería que alimenta a los ramales, se realizan los mismos cálculos que los efectuados para los ramales. Las pérdidas permitidas en la tubería ascendente y en la primaria al fijar el diámetro de los ramales son:

$$[2] \Delta H_{max} = \Delta H_p + \Delta H_a + 0'001578 = 16'83 \text{ mca}$$

$$[\Delta H_p + \Delta H_s = 16'83 - 0'001578 = 16'8284 \text{ mca}$$

En el caso de la tubería ascendente, el caso más desfavorable es el del punto más alto, en el cual hay 14 m de diferencia de cota. A su vez, por conocimientos propios y consulta a Ing. Agrónomos locales, se establecen que las pérdidas singulares debidas a los ramales representan un 10% de las pérdidas continuas. De esta forma se obtiene que:

$$[6] \Delta ha = \Delta h + \Delta z$$

$$\Delta ha = \Delta h + 14$$

$$16'8284 = 1'1 \frac{8}{\pi^2 \times 9'81} \times 0'018 \times 14 \times \frac{0'000305^2}{D^5}$$

$$D = 0'01048 \text{ m} \rightarrow D = 10'48 \text{ mm}$$

Este diámetro generaría unas pérdidas de 16'8284 mca. Sin embargo, se trata de un diámetro relativamente pequeño (debido a los bajos caudales) por lo que el diámetro interior comercial que se escoge es el de **16 mm**. Las pérdidas inducidas por este diámetro se recalculan empleando la ecuación 5:

$$\Delta ha' = 1'1 \frac{8}{\pi^2 \times 9'81} \times 0'018 \times 14 \times \frac{0'000305^2}{0'016^5}$$

$$\Delta ha' = 2'031 \text{ mca}$$

$$\Delta ha = \Delta h + 14 = 16'031 \text{ mca} (< 16'8284 \text{ mca})$$

PRINCIPAL (p)

Para la tubería que alimenta las ascendentes, se realizan los mismos cálculos que los efectuados para las anteriores. Las pérdidas permitidas en la tubería primaria al fijar el diámetro de los ramales y la ascendente son:

$$[2] \Delta H_{max} = \Delta H_p + \Delta H_s + \Delta r = 16'83 \text{ mca}$$

$$\Delta H_p + 2'031 + 0'001578 = 16'83 \text{ mca}$$

$$\Delta H_p = 14'797 \text{ mca}$$

$$[6] \Delta hp = \Delta h + \Delta z$$

$$\Delta hp = \Delta h$$

$$14'797 = \frac{8}{\pi^2 \times 9'81} \times 0'018 \times 60 \times \frac{0'0006105^2}{D^5}$$

$$D = 0'01863 \text{ m} \rightarrow D = 18'63 \text{ mm}$$

Este diámetro genera unas pérdidas de 14'707 mca. Por lo tanto, se escoge un diámetro comercial mayor, para que se induzcan unas pérdidas menores. El diámetro comercial escogido es de **20 mm**. Las pérdidas inducidas por este diámetro se recalculan empleando la ecuación 5:

$$\Delta hp' = \frac{8}{\pi^2 \times 9'81} \times 0'018 \times 60 \times \frac{0'0006105^5}{0'02^5}$$

$$\Delta hp' = 0'000104 \text{ mca}$$

Las pérdidas totales del sistema de canalización de agua se calculan mediante la ecuación 2:

$$[2] \Delta H_{max} = 0'000104 + 16'031 + 0'001578 \leq 16'83 \text{ mca}$$

$$\Delta H_{max} = 16'0327 \text{ mca} \leq 16'83 \text{ mca}$$

Las especificaciones de las tuberías de cada tramo se especifican en las tablas 4 y 5.

Tabla 4. Especificaciones tubo PEAD de los ramales y las ascendentes.

Descripción

Rollo de 100 metros de tubería negra de polietileno

- Diámetro 16mm
- Presión de trabajo 2,5 bar

CARACTERÍSTICAS

- Fácil manipulación:

Debido a su utilización, presenta un menor espesor de pared, lo que facilita su manipulación y el pinchado de emisores de riego

- Anticracking:

Debido a su composición, presenta una altísima resistencia al cracking o rotura por tensión circunferencial provocada por cualquier accesorio o gotero que vaya a ser insertado en el tubo

APLICACIONES

- Para todo tipo de Agricultura y Jardinería

Marca	COMERCIAL FERRCASH
Diámetro exterior	16 mm
Longitud del tubo	100 m
Presión máxima	2.5 bar
Referencia ManoMano	ME852981
Ref. del vendedor	107783

Tabla 5. Especificaciones tubo PEAD de la tubería principal

Descripción

Rollo de 100 metros de tubería agrícola de 20 mm de diámetro de baja densidad P32.

Marca	IBEROGARDEN
Tipo	Tubo P.E agrícola
Diámetro exterior	20 mm
Referencia ManoMano	ME9683467
Ref. del vendedor	ITPO0204

ANEJO III. CAUDALES AIRE

Cantidades

El compostaje es un proceso de degradación de materia orgánica en el cual los microorganismos consumen los distintos nutrientes del sustrato, transformándolos y estabilizando la masa, para conseguir un producto aplicable en producción vegetal. Este proceso es estrictamente aerobio. Es decir, los microorganismos deben disponer del oxígeno necesario para emplearlo en la combustión biológica y así poder obtener energía de los nutrientes presentes en el medio. Por ello, a fin de realizar un compostaje eficaz, el biorreactor debe garantizar un suministro de aire adecuado, de forma que el sustrato este bien oxigenado en todo momento y los procesos de biodegradación se realicen de forma óptima.

A diferencia del agua, la densidad del aire es muy variable, ya que varía en función de la temperatura y presión principalmente, pero también en función de la altitud y humedad. A su vez, estos parámetros también pueden variar en función de la velocidad que lleve el viento (energía cinética). Los distintos parámetros que influyen en la densidad del aire se muestran en la ecuación 1:

$$[1] PV = nRT \rightarrow \rho = \frac{P \times M}{R \times T}$$

Donde P es la presión del aire (atm), M la masa molecular (g/mol), R la constante de los gases ideales (atm L/K mol) y T la temperatura (K).

Debido a que el aire empleado en el biorreactor se toma del exterior (ambiente), este está sujeto a una gran variabilidad de densidades; las temperaturas cambian a lo largo del año e incluso a lo largo del día, a la par que la presión y la humedad. Esto provoca que no se pueda establecer un valor fijo de densidades sobre el cual trabajar. Sin embargo, por un lado, al emplear un sistema paralelo de humectación, en el caso de bombear aire muy seco o a alta temperatura, que podría afectar negativamente a la humedad del medio, se podría corregir el efecto negativo fácilmente. Y, por otro lado, el reactor representa un sistema dinámico, de modo que en función del estado del aire exterior y de las condiciones interiores (medidas por sondas), se puede regular tanto el sistema de humectación como el de aireación para ajustar el medio de compostaje a las condiciones adecuadas.

En consecuencia, para fijar el caudal de aire requerido, se toman valores extraídos de la bibliografía consultada.

En el ensayo llevado a cabo por Rasapoor *et al.*, (2009), se observó que con flujos de aire bajos ($0.4 \text{ L min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$) y sobre todo medios ($0.6 \text{ L min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$) se obtenían valores óptimos en cuanto a maduración y parámetros del compost, coincidiendo con otros estudios. A su vez, el estudio realizado por de Guardia, Petiot & Rogeau, (2008) mostró que con caudales de aire de 500 L/h ($8.48 \text{ L h}^{-1} \text{ kg}^{-1}$) o superiores, el oxígeno no es factor limitante, manteniendo una concentración por encima del 10% y unas temperaturas máximas medias de 67°C , mientras que a valores menores ($100\text{-}200 \text{ L/h}$) el oxígeno limitaba la biodegradación, con concentraciones menores al 5% y temperaturas máximas medias de $50\text{-}62^\circ\text{C}$. A continuación, se muestra la tabla A, correspondiente con el ensayo de Lu *et al.*,(2001) y la tabla B, correspondiente al estudio de Jiang *et al.*,(2011), en las cuales se muestran los valores

experimentales obtenidos en distintos parámetros al emplear diferentes caudales de aire. Las tablas 6 y 7 muestran los resultados de dos estudios consultados.

Tabla 6. Valores físicos antes y después del compostaje (Lu *et al.*, 2001).

Air (l min ⁻¹)	Moisture (%)	Total wet weight (g)	Dry weight (g)	Dry weight loss (g)	Ash (%)
0.05	62.3	188.6	71.1	54.3	11.5
0.1	50.0	152.3	76.2	49.2	10.9
0.2	40.9	120.7	71.4	54.0	10.7
0.4	16.8	92.6	77.0	48.4	9.1

*The values of parameters before composting are as follows:
Moisture: 57.5%; Total wet weight: 295 g; Dry weight: 125.4 g; Ash of dry weight: 8.1%.

Tabla 7. Valores de diferentes parámetros de compostaje (Jiang *et al.*, 2011).

No.	Moisture content (%)	Aeration rate ^a (L/kg dm·min)	C/N ratio	For error
1	65	0.24	15	1
2	65	0.48	18	2
3	65	0.72	21	3
4	70	0.24	18	3
5	70	0.48	21	1
6	70	0.72	15	2
7	75	0.24	21	2
8	75	0.48	15	3
9	75	0.72	18	1

^a Aeration for 25 min, stop for 5 min.

De entre toda esta bibliografía se toman los datos de de Guardia, Petiot & Rogeau, (2008). La elección se basa en el parecido entre dicho estudio y este proyecto y en que dicho estudio posee una mayor extensión y especificidad, adecuándose mejor al trabajo a realizar. El estudio de Rasapoor *et al.*, (2009), el compostaje se realizó en pilas estáticas aireadas, en el de Jiang *et al.*, (2011) solo se compostaron heces provenientes de granjas de cerdo y en el ensayo de Lu *et al.*, (2001) se emplearon tiempos de residencia muy largos (17 días) y recipientes de pequeñas dimensiones (1'05 L). En todos estos estudios, las condiciones de compostaje eran muy distintas de las que se disponen en este proyecto, por lo cual, si bien como valores orientativos pueden guiar el trabajo, no se toman estos datos como validos en este caso.

De esta forma, el caudal de aire requerido será de 8'48 L h⁻¹kg⁻¹. Junto con este caudal, y sabiendo que el biorreactor alberga 35'1 t de materia seca, en la ecuación 2 se obtiene el caudal necesario para el reactor:

$$[2] \quad Qa = \frac{35100 \times 8'48}{1} = 297648 \text{ L/h}$$

El caudal de aire necesario para el buen funcionamiento del compostaje en el reactor es de **297'648 m³/h o 4'9608 m³/min.**

Este es el caudal total que hay que suministrar al reactor. Debido a que, por cuestiones de diseño, el reactor se alimenta con 4 ventiladores y 24 difusores, cada ventilador debe suministrar 1/4 del caudal. La ecuación 3 muestra el caudal unitario requerido:

$$Qu = \frac{297648}{4} = 74412 \text{ L/h}$$

El caudal unitario requerido en cada ventilador es de 74'412 m³/h.

Los ventiladores elegidos para el sistema de aireación del biorreactor son el modelo Cata 00661000 - Extractor Helicoidal Lhv-190. Las características de los ventiladores se muestran en las tablas 9a y 9b.

Los difusores escogidos para el sistema de aireación son los de la serie QSH de TROX Technik, Cuyas especificaciones se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Especificaciones técnicas difusores

Tamaños nominales	250, 355, 450, 560 mm
Caudal mínimo de aire	205 – 785 l/s o 738 – 2826 m ³ /h
Caudal de aire máximo con L_{WA} ≅ 55 dB(A)	410 – 1570 l/s o 1476 – 5652 m ³ /h
Diferencia de temperatura de impulsión	entre -8 y +12 K

Tabla 9a. Especificaciones técnicas ventiladores.

Identificador de producto del fabricante	661000
Peso del producto	1,59 Kg
Dimensiones del producto	25 x 11 x 25 cm
Número de modelo del producto	661000
Color	Color Blanco
Voltaje	230 voltios
Número de productos	1
Número de piezas	1
Sonido	42 dB
Referencia	certified frustration-free
Características especiales	Alcance de temperatura operativa: -20 - 50 °C, diámetro del ventilador: 19 cm
Incluye baterías	No
Necesita baterías	No
Peso	1.59 kilogramos

Tabla 9b. Especificaciones técnicas ventiladores.

- Innovador diseño.
 - Equipados con hélices de perfil silencioso y alto rendimiento.
 - Incorporan de serie el Kit para instalación cristal.
 - Rejilla de protección lado de aspiración.
 - Equipados de serie con motores 230 V 50 Hz, protección IP-44 y clase B (modelo 160 IP-X4).
 - Totalmente regulables.
 - Temperaturas de trabajo: -20°C +50°C.
- Otras características:**
Altura: 25 cm
Ancho: 25 cm
Cantidad: 1
Color del producto: Color blanco
Consumo de energía (max): 30 W
Código IP (International Protection): IP44
Diámetro: 19,400 cm
Diámetro de ventilador: 19 cm
Frecuencia de entrada AC: 50 Hz
Habitaciones: Cuarto de baño
Intervalo de temperatura operativa: -20 - 50 °C
Montaje: Pared
Nivel de ruido: 42 Db
Número de velocidades: 1
Número de ventiladores: 1
Peso: 1,700 kg
Profundidad: 10,900 cm
Velocidad de ventilador (max): 1500 RPM
Voltaje de entrada AC: 230 V
flujo de aire: 700 m³/h

Canalizaciones

El diseño del sistema de canalización del aire se basa a partir de las canalizaciones del sistema de irrigación. Debido a que ambos son fluidos, sus propiedades son similares, por lo que las canalizaciones, a su vez, son similares.

Debido a las particularidades específicas del aire y su comportamiento como fluido, las tuberías por las que se quiere hacer circular deben presentar diámetros mayores que aquellas por las cuales circula agua. De esta forma, y, tras haber consultado a expertos en la materia, se decide fijar un factor de corrección sobre las tuberías de agua, de forma que estas sean aptas para la canalización de aire. Este factor de corrección es 2. Es decir, las canalizaciones del sistema de aireación serán el doble que las del sistema de irrigación.

El sistema de aireación cuenta únicamente con una canalización; la tubería que une los ventiladores y los difusores, puesto que los ventiladores pueden situarse junto al reactor, evitando así la instalación de tuberías excedentes.

Ventilador (4X)

$$\text{Caudal} \rightarrow Q_v = 700 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Velocidad} \rightarrow V_v = 1500 \text{ RPM}$$

Red de Canalización

Tubería Ventilador → $L = 12\text{m}$, $Q_v = 74'412 \text{ m}^3/\text{h}$

Diámetro → $D_v = 40 \text{ mm}$

ANEJO IV. ESTRUCTURA DEL REACTOR

El biorreactor está formado por un receptáculo metálico, cuya estructura está compuesta por planchas metálicas y bigas, sobre el cual se instalan una serie de elementos auxiliares para así poder obtener un reactor de compostaje eficiente. La altura total del sistema es de 14 m. De estos 14 m, 2 m corresponden con la zona baja del reactor, destinada a la extracción del compost, y los 12 m restantes corresponden con la zona de compostaje propiamente dicha.

El cuerpo del reactor tiene cuatro lados iguales, de 3 m cada uno, generando una superficie de 9 m². En cuanto a la altura, esta asciende hasta los 12 m. Por ello el volumen interior del reactor es de 108 m³ (ecuación 7, anejo I).

El sustrato entra en el reactor por la parte superior, siendo esta la zona de alimentación. Este sustrato, preprocesado, se eleva mediante un equipo de carga, del tipo cinta elevadora, y cae en el interior del reactor. Opuestamente a la zona de alimentación, se sitúa la zona de extracción. Esta zona se encuentra en la parte inferior del reactor. Su geometría es trapezoidal, cuya superficie de la cara ancha es de 9 m², puesto que coincide con la base del biorreactor. La cara opuesta, tiene un área de 1 m² y la distancia entre ambas caras es de 1 m.

El compost se extrae por la cara menor, abriéndola a modo de compuerta a placer. Para extraerlo, este cae por su propio peso, aterrizando en un mecanismo del tipo bomba de tornillo, que mueve el sustrato conforme va cayendo y lo deposita allí donde se haya establecido el final del transporte. Finalmente, entre la apertura de extracción y el suelo hay una altura libre de 1 m, dejando esta holgura para los equipos de extracción y para el trabajo de los operarios. La Figura 1 representa el sistema descrito, la Figura 2a representa las dimensiones de la boca de extracción y la Figura 2b muestra los cálculos dimensionales de los lados de la boca de extracción.

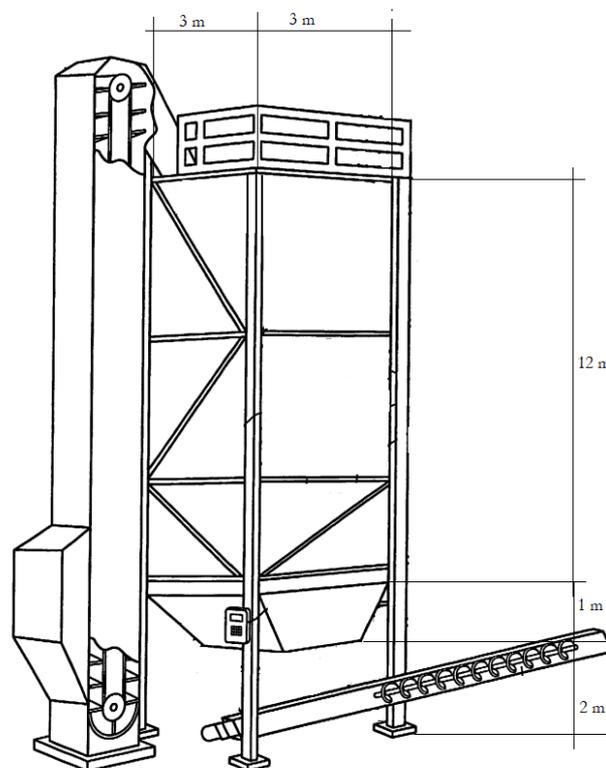


Figura 1. Dimensiones y geometría exterior del reactor.

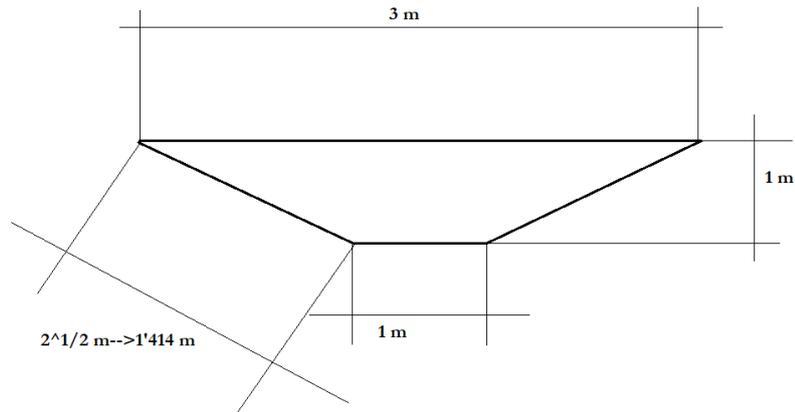


Figura 2a. Dimensiones boca de extracción.

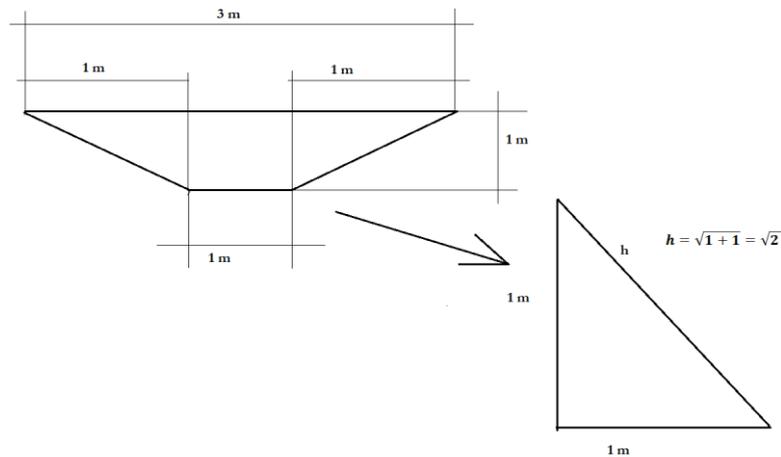


Figura 2b. Dimensiones y cálculo lados boca extracción.

Desde otro ángulo, se hace necesario explicar, una vez la estructura externa esta clarificada, el diseño interno del biorreactor.

El interior del biorreactor, lejos de ser un receptáculo vacío, posee una serie de planchas metálicas huecas que mejoran su comportamiento. Estas planchas están situadas únicamente en dos de las cuatro paredes que posee el reactor. Se encuentran dispuestas de forma opuesta, de modo que las planchas están enfrentadas entre sí. En total, en todo el reactor hay 5 niveles de planchas equidistantes entre sí. El primer nivel está situado a 2 m del techo del reactor y el último a 2 m de la base de este. Debido a que el reactor tiene una altura de 12 m, y entre el primer nivel y el techo, y el último nivel y la base hay 2 m de espacio libre, caben, como máximo, 5 niveles:

$$[1] N^{\circ} \text{ niveles} = \frac{12}{2} - 1 = 5$$

Debido a que la longitud de cada lado del biorreactor es de 3m, se ha decidido colocar planchas de 0'75 m cada una para así poder instalar en cada lado de cada nivel un máximo de 4 planchas:

$$[2] \text{ Long. pl} = \frac{3}{4} = 0'75m$$

Pese a que en cada uno de los 5 niveles se puedan instalar hasta 8 planchas (2 caras con planchas, 3 m por cara y 0'75 m por plancha), solo se instalan 4. Esto se debe a que las planchas en cada nivel se disponen opuestas (ya que solo se instalan en las caras opuestas) pero alternas. De esta forma, cada nivel tiene 2 planchas en posiciones alternas, de forma que siempre hay, por cada nivel, 4 planchas y entre estas, alternamente, 4 huecos que corresponderían con las planchas no instaladas. Esta distribución genera un número total de planchas por biorreactor de 20. Los niveles consecutivos poseen una distribución de planchas opuesta, de modo que los huecos entre planchas que deja un nivel son cubiertos por las planchas del siguiente. Esta distribución se encuentra ilustrada en las Figuras 3a y 3b. Adicionalmente, la figura 3c el alzado del biorreactor, en relación con la posición de las planchas.

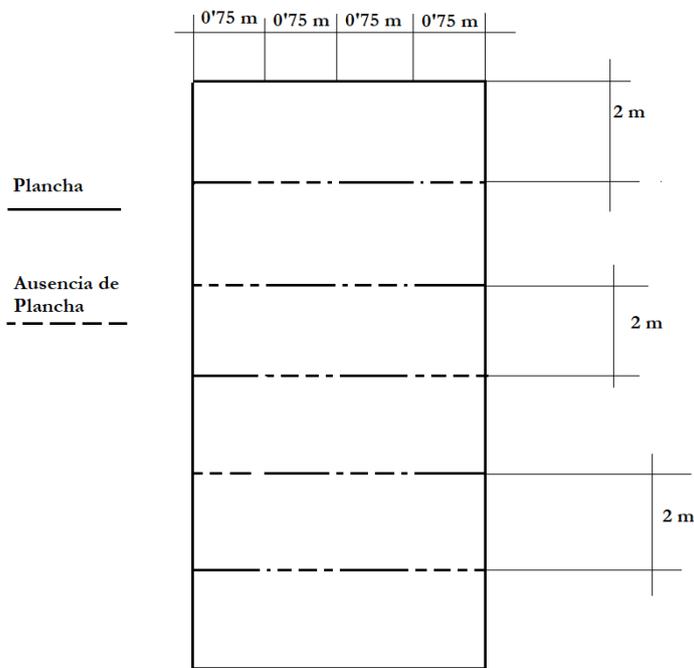


Figura 3a. Distribución de las planchas por niveles (cara opuesta distribución opuesta). Vista de perfil.

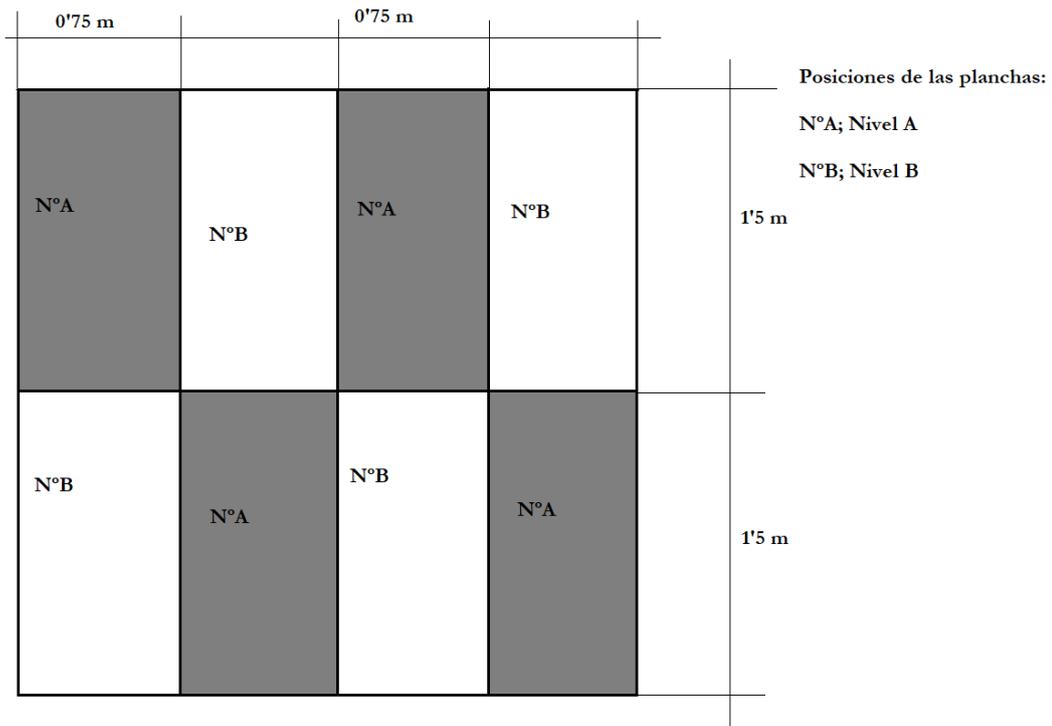


Figura 3b. Vista superior de las planchas del reactor.

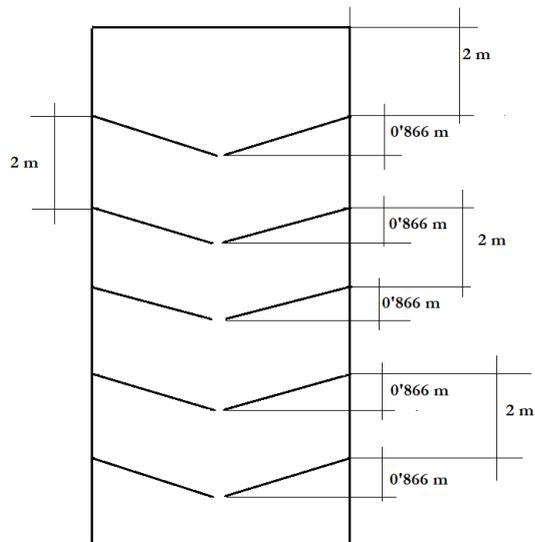


Figura 3c. Posición de las planchas en el reactor. Alzado.

Esta distribución, por un lado, obliga al sustrato a seguir un camino sinuoso, cayendo de un lado al otro y así mezclándose en cierta medida y rompiendo los agregados que se puedan formar. Y, por otro lado, estas planchas reducen la presión que ejerce la columna del material sobre sí mismo. Esto se debe a que, en ausencia de estas estructuras, existiría una columna máxima de material de hasta 12 m, generando presiones altas que compactarían el sustrato. Al instalar las planchas, la columna máxima de material que se puede formar se reduce hasta

los 2 m, en el caso de planchas paralelas, o 4 m, en el caso de separación entre el techo del reactor y el nivel más bajo posible.

En cuanto a las planchas en sí, se ha mencionado en este apartado su anchura; 0'75 m y longitud; 1'7 m. A su vez, poseen un grosor de 0'05 m.

Las planchas llegan hasta la mitad del reactor, de modo que su proyección horizontal es de 1'5 m.

Con fin de que el sustrato caiga y no se estanque en la superficie de las planchas, estas poseen una inclinación de 60° respecto a la vertical (pared del reactor). El diseño de las placas se muestra en la figura 4.

Conociendo el Angulo de inclinación y la proyección horizontal se obtiene:

$$[3] \text{ Triangulo Rectangulo} \rightarrow \alpha + \beta + \gamma = 180^\circ \rightarrow 60 + 90 + \gamma = 180 \rightarrow \gamma = 30^\circ$$

$$[4] \cos 30 = \frac{1.5}{h} \rightarrow h = 1.732 \text{ m}$$

$$[5] \tan 30 = \frac{x}{1.5} \rightarrow x = 0.866 \text{ m}$$

$$h = 1.732 \text{ m}$$

$$x = 0.866 \text{ m}$$

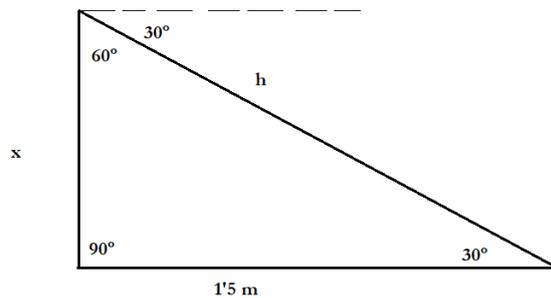


Figura 4. Representación plancha.

Adicionalmente, las planchas cumplen otra función además de evitar sobrepresiones y ayudar a la desagregación del sustrato. Estas estructuras tienen una función esencial en la aireación y humectación del material.

Con fin de cumplir dicha misión, las planchas tienen acopladas tuberías tanto de aire como de agua. Esto es así ya que para airear el sustrato se bombea aire al interior de unas tuberías acopladas a la cara superior de cada plancha, el cual sale por unos emisores instalados en las tuberías. Y, para humedecer la mezcla, se instalan unas tuberías en la cara inferior con micro-aspersores que pulverizan agua.

A fin de humedecer el sustrato, en la cara inferior hay acopladas dos tuberías, con una separación de 0'25 m entre ellas aproximadamente* y entre los extremos de la plancha. En cada una de las 2 tuberías se disponen 2 micro-aspersores equidistantes. La separación de los micro-aspersores es de aproximadamente* 0'6 m. Para suministrar el agua, se dispone de una bomba que toma el agua de las balsas de recogida y la circula, mediante canalizaciones, hasta cada plancha y hasta el techo del reactor.

La tubería primaria llega hasta la base del reactor y se divide en 2 partes; una parte alimenta las tuberías de las planchas de una cara y la otra parte las de la otra cara. Las figuras 5a y 5b muestran la disposición de las tuberías y los emisores en las planchas y la disposición de las tuberías principales, respectivamente. Cada una de las tuberías principales acaba en la zona superior del reactor (techo), dividiéndose en 2 mitades cada una que se instalan longitudinalmente en la cara del reactor en la que se encuentra la tubería principal. A su vez, estas ramificaciones poseen, cada una, otro ramal, situado en una posición intermedia, que se alarga perpendicularmente hasta la mitad del techo del reactor. Este ramal posee 1 micro-aspersor en su posición central. De esta forma, cada una de las dos tuberías principales también se utilizan para administrar agua desde la parte superior del reactor. Estos últimos ramales están situados a 1 m entre sí y entre las paredes del reactor y tienen una longitud de 1'5 m. La figura 5c muestra la disposición de las tuberías y aspersores en el techo del reactor.

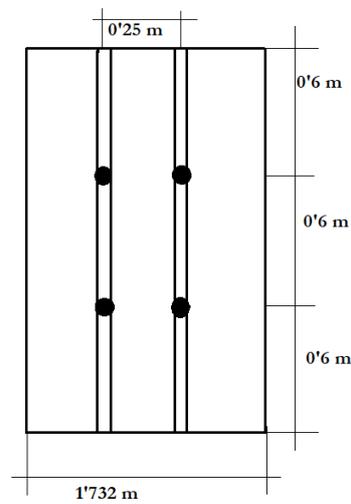


Figura 5a. Disposición de micro-aspersores en las planchas.

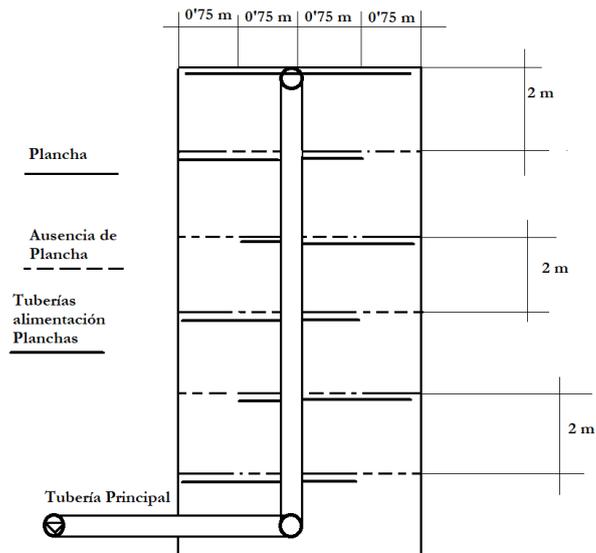


Figura 5b. Disposición tuberías de alimentación agua en el reactor.

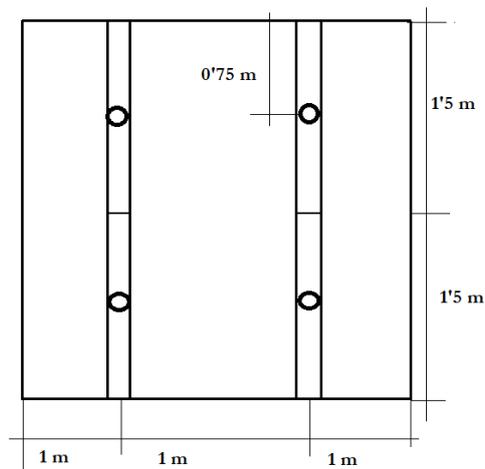


Figura 5c. Disposición tuberías y micro-aspersores en el techo del reactor.

En cuanto al sistema de aireación, el diseño es similar al de humectación. Este sistema está compuesto de 4 ventiladores, 2 en cada lado del reactor (en los lados que poseen planchas), con tubos ascendentes que introducen aire por la cara inferior de las planchas. El aire se canaliza mediante tuberías que conforme ascienden por la pared del biorreactor se van bifurcando, para alimentar a cada una de las dos planchas que hay en cada nivel. El aire se introduce en el reactor mediante difusores situados que liberan el aire en el hueco que queda debajo de cada plancha. Debido a su inclinación, conforme el reactor se llena, en esta posición queda huecos sin llenado, generando un espacio en el cual se puede liberar aire. De

esta forma, el aire cae en este hueco y viaja a través del reactor siguiendo un camino sinuoso, marcado por la disposición de las planchas.

A su vez, en lugar de suministrar aire por la cara superior del reactor (techo), se introduce aire por la base. Para ello, se disponen dos difusores, por cada lado, dispuestos en la base del reactor, de forma que introducen aire directamente en la base.

Finalmente, las figuras 6a y 6b muestran la disposición de los ventiladores en relación con el reactor y con las planchas, respectivamente.

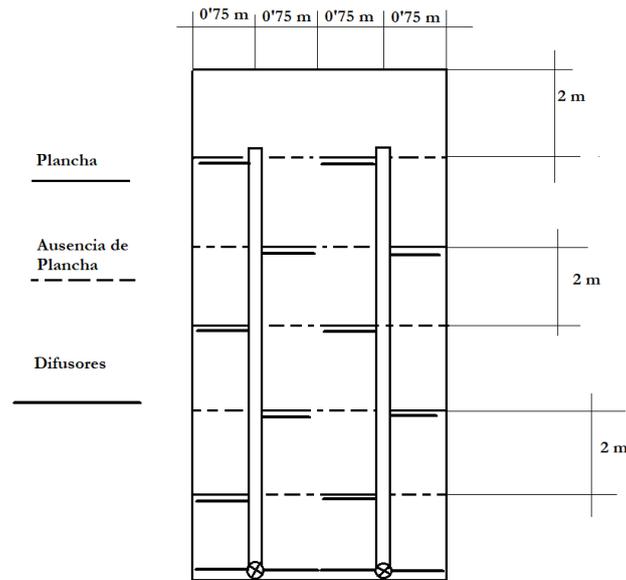
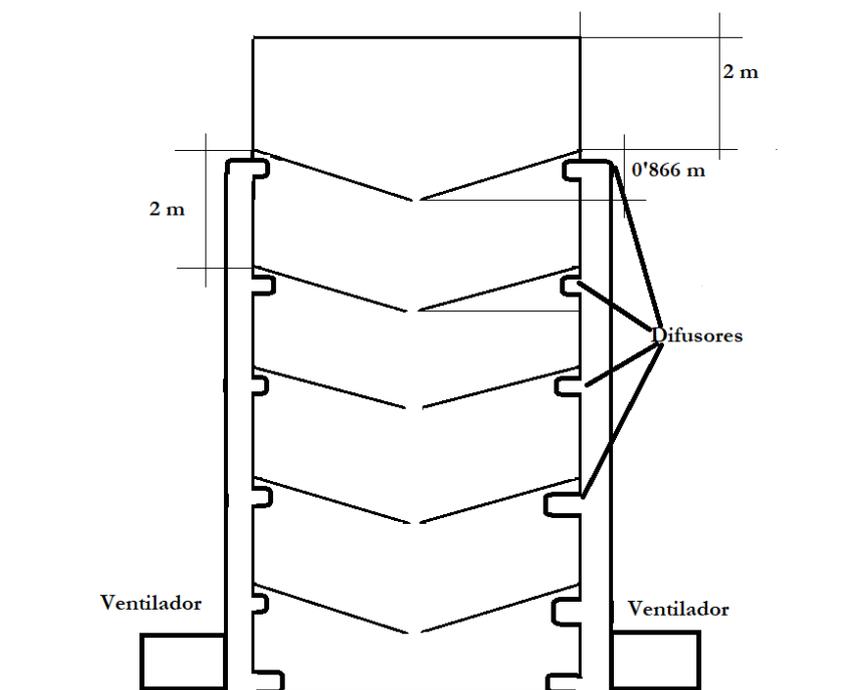


Figura 6a. Disposición de los ventiladores en el reactor.



6b. Disposición de los ventiladores y difusores.

En cuanto al sistema de tratamiento de olores, en la parte superior del reactor ay un tubo instalado de 300mm de diámetro que capta los gases y los recircula hasta uno de los dos biofiltros disponibles en planta (Figura 7).

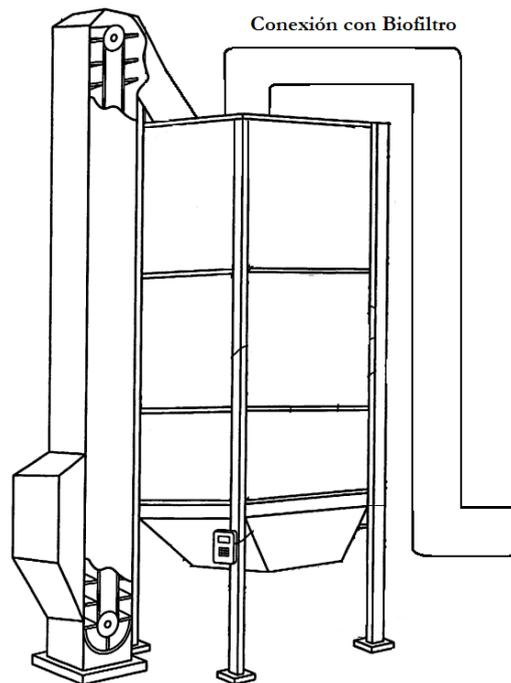


Figura 7. Tubo de conexión Reactor-Biofiltro,

Finalmente es necesario especificar el sistema de vigas y soportes que compondrán la estructura del reactor. Dicha estructura se muestra en la figura 8 y 9.

El reactor posee un total de 16 vigas IPE de 200 mm. De estas 16 vigas, 4 están situadas cada una en una de las 4 aristas laterales del reactor. Otras 4 vigas IPE se encuentran una en cada una de las caras del reactor, en posición central. Estas 8 vigas IPE tienen una longitud, cada una, de 14m.

Finalmente, las 8 vigas restantes se encuentran en las aristas de la base y el techo del reactor. Debido a esta configuración, tienen una longitud de 3 m cada una.

De esta forma, las 16 vigas IPE de 200 mm forman un esqueleto sólido y resistente, capaz de aguantar el peso de todo el reactor.

En total, las vigas IPE suman 136 m ($14 * 8 + 3 * 8$), lo cual, debido a su densidad de 26'3 kg/m, extraída del prontuario de chapas metálicas, suman un total de 3576'8 kg.

Juntamente con las vigas IPE, hay una serie de vigas UPN, distribuidas por toda la estructura. En total, el biorreactor tiene instaladas 20 vigas UPN de 200 mm y 0'75 m de longitud. La distribución de estas vigas corresponde con la distribución de las planchas internas. En las posiciones del biorreactor donde haya instalada una plancha, debe haber una viga UPN de 200 mm.

Estas vigas suman un total de 14 m ($0,75 \times 20$), que mediante la densidad extraída del prontuario de chapas metálicas ($25,3 \text{ kg/m}$) se obtiene un peso total de $379,5 \text{ kg}$.

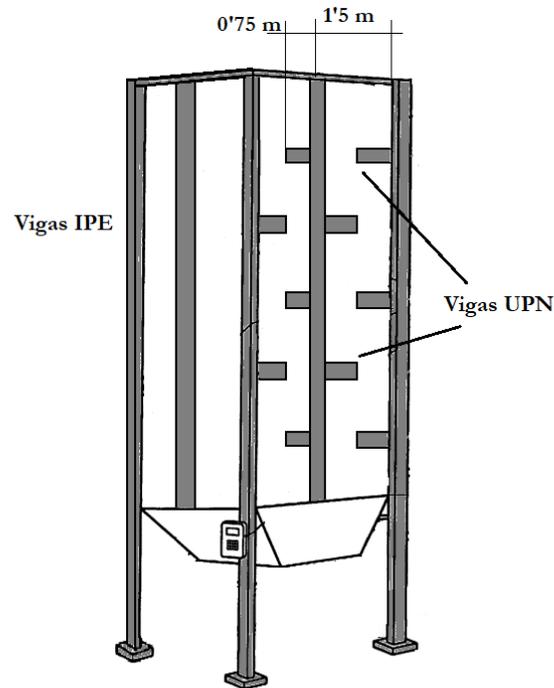


Figura 8. Distribución de vigas IPE y UPN

Otro elemento estructural que posee el reactor son los puntales de soporte a las planchas. Cada plancha tiene asociados dos soportes, uno en cada extremo, de forma que la estructura queda sujeta y sólida, independientemente de peso de biorresiduo pretratado que se le aplique. Estos listones tienen una longitud de aproximadamente $0,35 \text{ m}$ y están situados a $0,2 \text{ m}$ del punto de apoyo entre la plancha y la pared del biorreactor. Estos listones son también de 200 mm .

Finalmente, el reactor está recubierto por chapa metálica de 4 mm , cerrando la estructura.

En total hay instalados 20 listones de $0,35 \text{ m}$ y 200 mm , con una densidad extraída del prontuario de $26,3 \text{ kg/m}$. Por lo tanto, en total hay $184,1 \text{ kg}$.

Las planchas internas suman un total de 20, con una superficie de $1,275$ por plancha. Esto supone una superficie total de $25,5 \text{ m}^2$ y un peso de $100,215 \text{ kg}$ ($d = 3,930 \text{ kg/m}^2$).

La chapa que recubre el biorreactor tiene una superficie total de 144 m^2 ($12 \text{ m} \times 12 \text{ m}$), a una densidad de $3,144 \text{ kg/m}^2$, se obtiene un peso total de $452,763 \text{ kg}$.

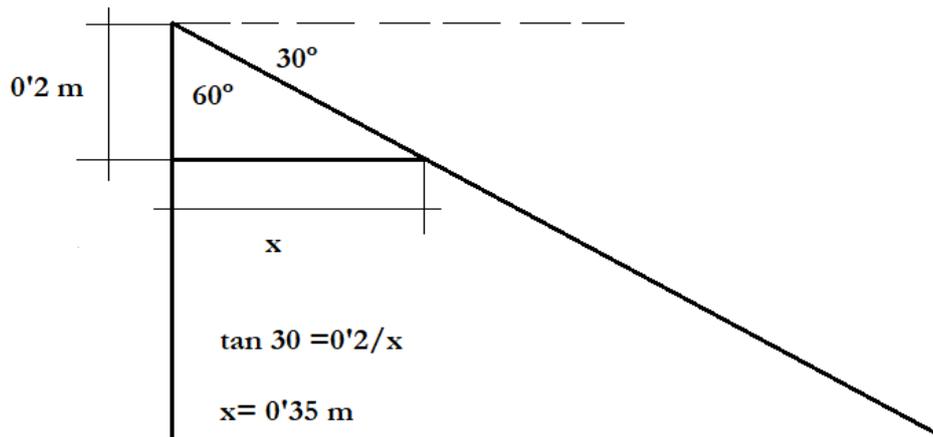


Figura 9. Listones de soporte en las planchas.

*Se trata de valores aproximados ya que los valores exactos poseen decimales. Esto complica su instauración, pues en el mercado suelen encontrarse valores estándar, obligando a ofrecer valores aproximados que se cuadran una vez se instala el equipo en campo.

ANEJO V. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

La instalación eléctrica en este proyecto consta de los diferentes cables de cobre que unen los equipos al centro de transformador de la planta. Estos cables se encauzan a través del sistema ya existente en la planta que se encuentra enterrado.

Bomba de Agua

Longitud → L=60 m

Nº cables= 1

Sterwins JET AUTO 5L-3

Potencia → P1300 W

Rendimiento → 89%

Factor de Potencia → FP= 0'88

$$[1] Pe = \frac{1300}{0'89} = 1460'8W$$

$$[2] S = \frac{P}{FP} = \frac{1460'8}{0'88} = 1659'86 VA$$

$$[3] I = \frac{S}{V \times \sqrt{3}} = \frac{1659'86}{400 \times \sqrt{3}} = 2'4 A$$

Al tratarse de una bomba es necesario mayorar la I, por el pico de arranque, por un factor de 1'25. De modo que la intensidad admisible es de **3 Amperios**. Al ser un cable tripolar de XLPE, y instalación tipo B2 (cables unipolares o multiconductores en tubos empotrados en obra), según la tabla A de la guía BT 19, la intensidad admisible es de **16 A** y la sección de **1'5 mm²**. La caída de potencial generada se calcula mediante la ecuación 4:

$$[4] \Delta U = \frac{(R \times I \times FP \times \sqrt{3})}{U} = \frac{0'97 \times 3 \times 0'88 \times \sqrt{3}}{400} = 0'0112 = 1'12\% (<5\%)$$

$$[4.1] R = r_{90} \times \frac{L}{S} = \frac{1}{44} \times \frac{60}{1'5} = 0'97 \text{ ohms}$$

La caída de tensión es admisible. Esta línea se protegerá mediante un fusible de calibre **2'5 Amperios** y un poder de corte de ya que:

$$[15] 2'4 A < 2'5 < 3 A \rightarrow 1'45 \times I_a = 4'35A > 1'6 \times I = 4 A$$

Ventiladores

Longitud → L=60 m

Cata 00661000 - Extractor Helicoidal Lhv-190.

Potencia → 30 W

Debido a que la potencia de los ventiladores es muy reducida, 30 W cada uno; 120 W en total, el sistema de canalización eléctrica es el mismo que en la bomba de agua. Esto se debe a que, por un lado, tanto cables de menor diámetro como fusibles de menor calibre no son comunes en el mercado y, por otro lado, porque de esta manera se deja una holgura

en caso de que sea necesario instalar varios reactores, el sistema sería funcional sin necesidad de añadir elementos eléctricos.

Diámetro = 1'5 mm²

Protección → Fusible de 2'5 A

N.º Cables = 4

PLANOS

Índice

1. Situación.....	124
2. Emplazamiento.....	125
3. Planta RSU.....	127
4. Biorreactor.....	131

1. SITUACIÓN



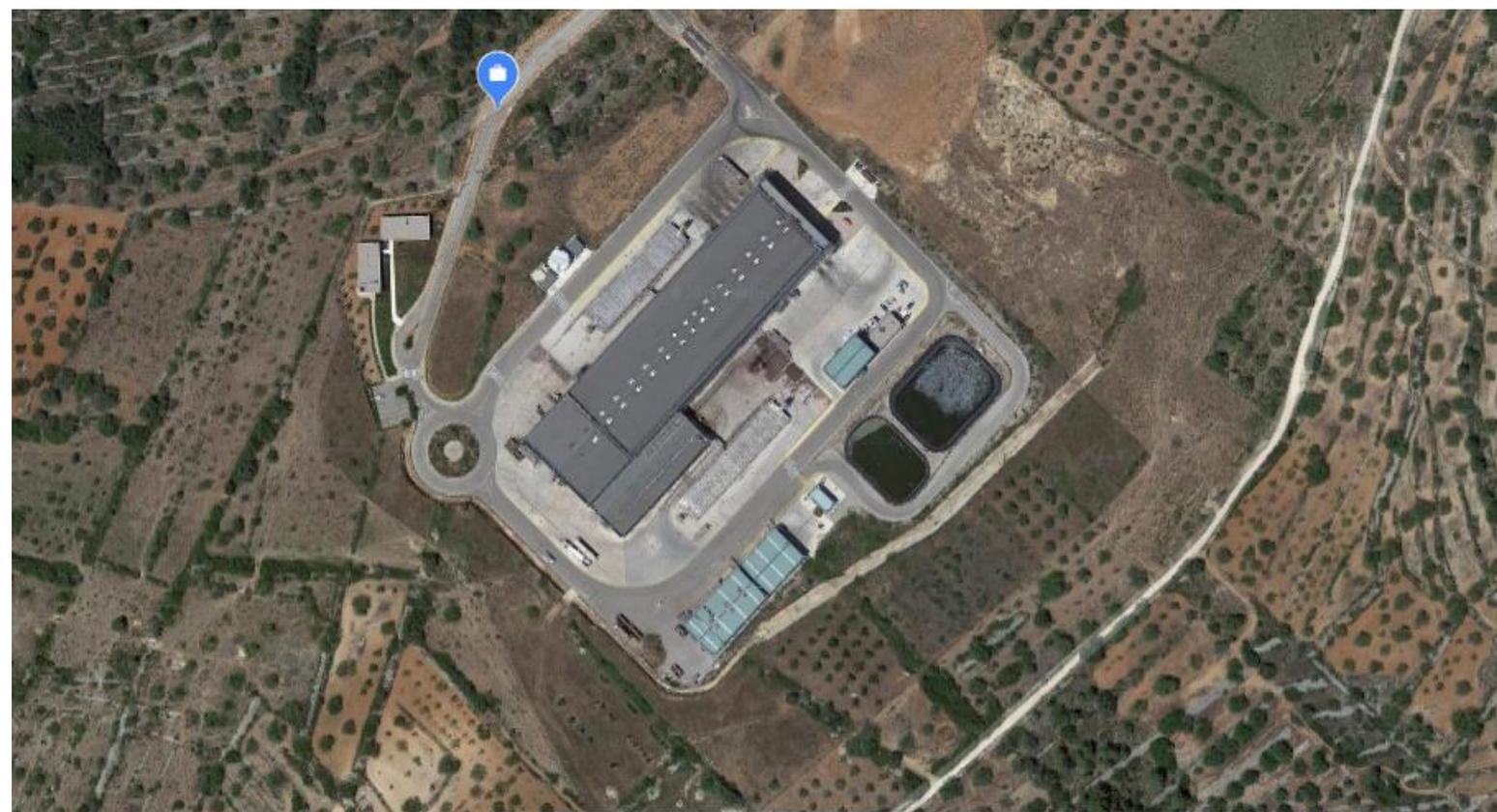
<p>Autor</p> <p>Carlos Pastor Fernandez</p>	<p>Proyecto de Diseño de un Biorreactor para Producción de Compost a partir de Biorresiduos</p>		
	<p>Escala</p> <p>-</p>	<p>Grado</p> <p>Ing. Agroalimentaria y del Medio Rural</p>	
	<p>Fecha</p> <p>01/07/2019</p>	<p>Título</p> <p>Situación Geográfica de la Planta de Compostaje</p>	<p>Plano</p> <p>1</p>
	<p>Universitat</p> <p>Jaume I</p>		<p>UJI</p>

2. EMPLAZAMIENTO



Autor Carlos Pastor Fernandez	Proyecto de Diseño de un Biorreactor para Producción de Compost a partir de Biorresiduos		
	Escala -	Grado Ing. Agroalimentaria y del Medio Rural	Universitat Jaume I
	Fecha 01/07/2019	Título Emplazamiento Planta Compostaje	Plano 2 UJI

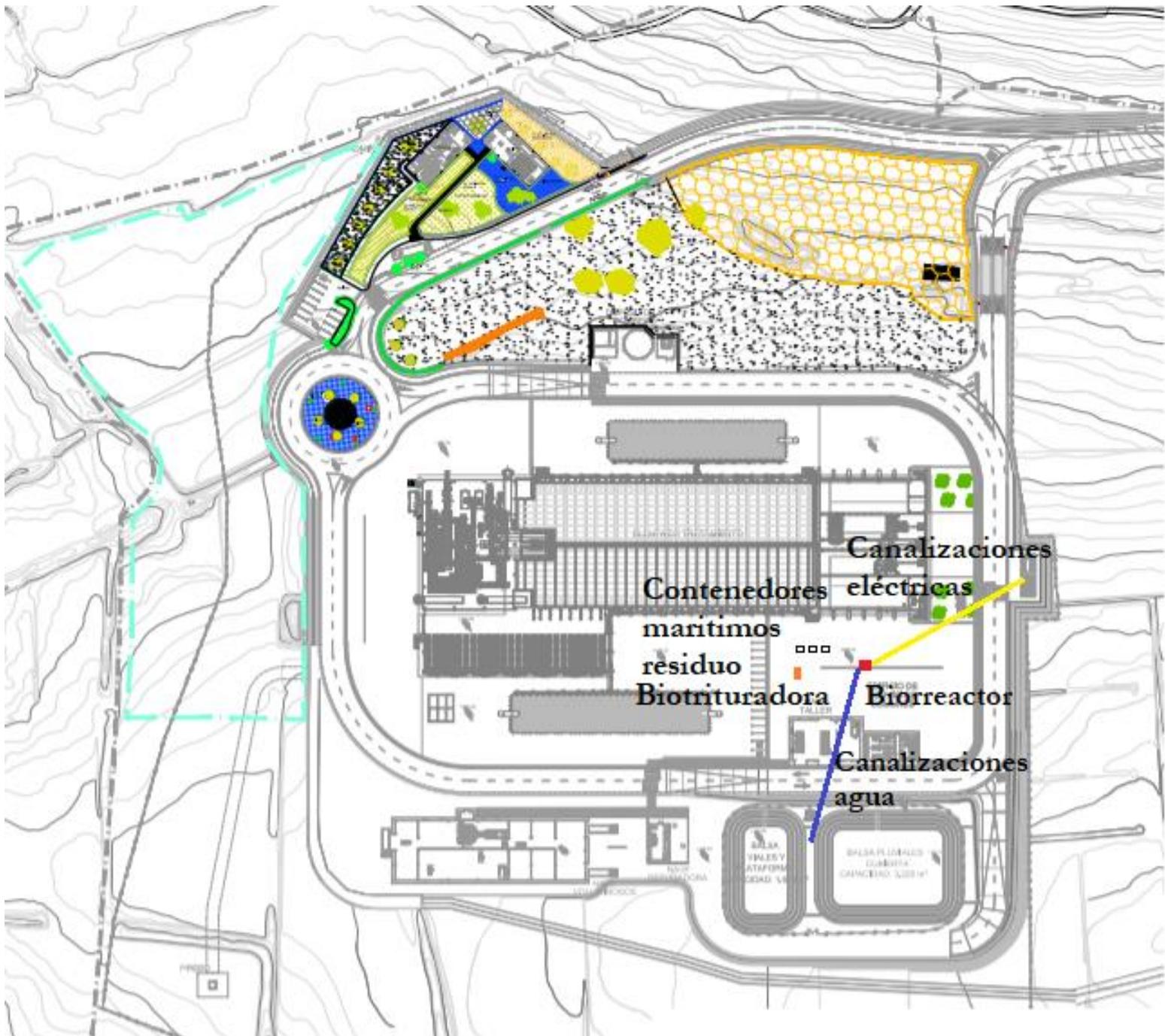
3. PLANTA RSU



Autor Carlos Pastor Fernandez	Proyecto de Diseño de un Biorreactor para Producción de Compost a partir de Biorresiduos		
Escala -	Grado Ing. Agroalimentaria y del Medio Rural		Universitat Jaume I
Fecha 05/07/2019	Título Planta RSU Cervera	Plano 3	UJI

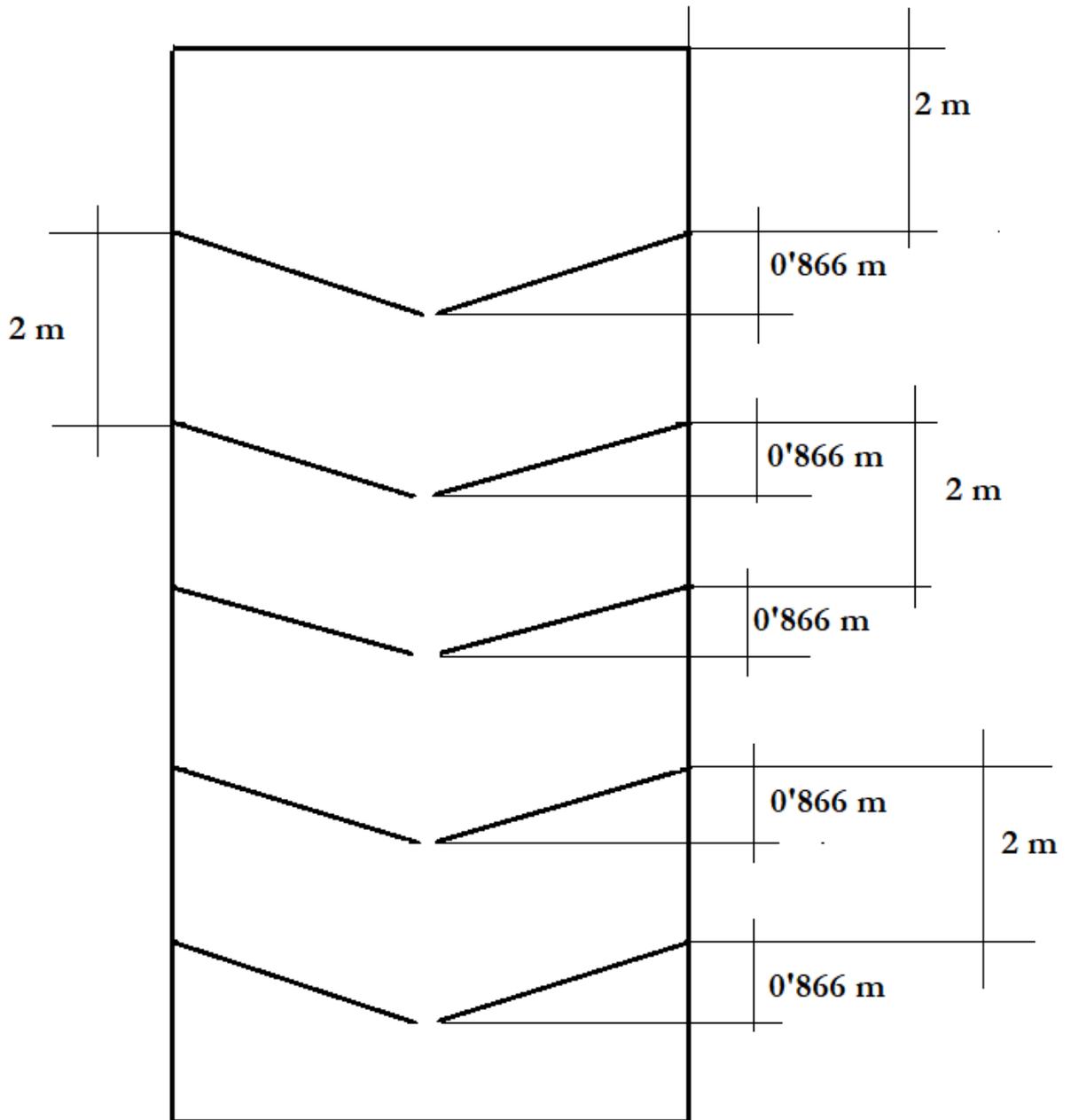


Autor Carlos Pastor Fernandez	Proyecto de Diseño de un Biorreactor para Producción de Compost a partir de Biorresiduos		
Escala 1:1000	Grado Ing. Agroalimentaria y del Medio Rural	Universitat Jaume I	
Fecha 02/07/2019	Título Elementos de la Planta de Selección	Plano 4	UJI

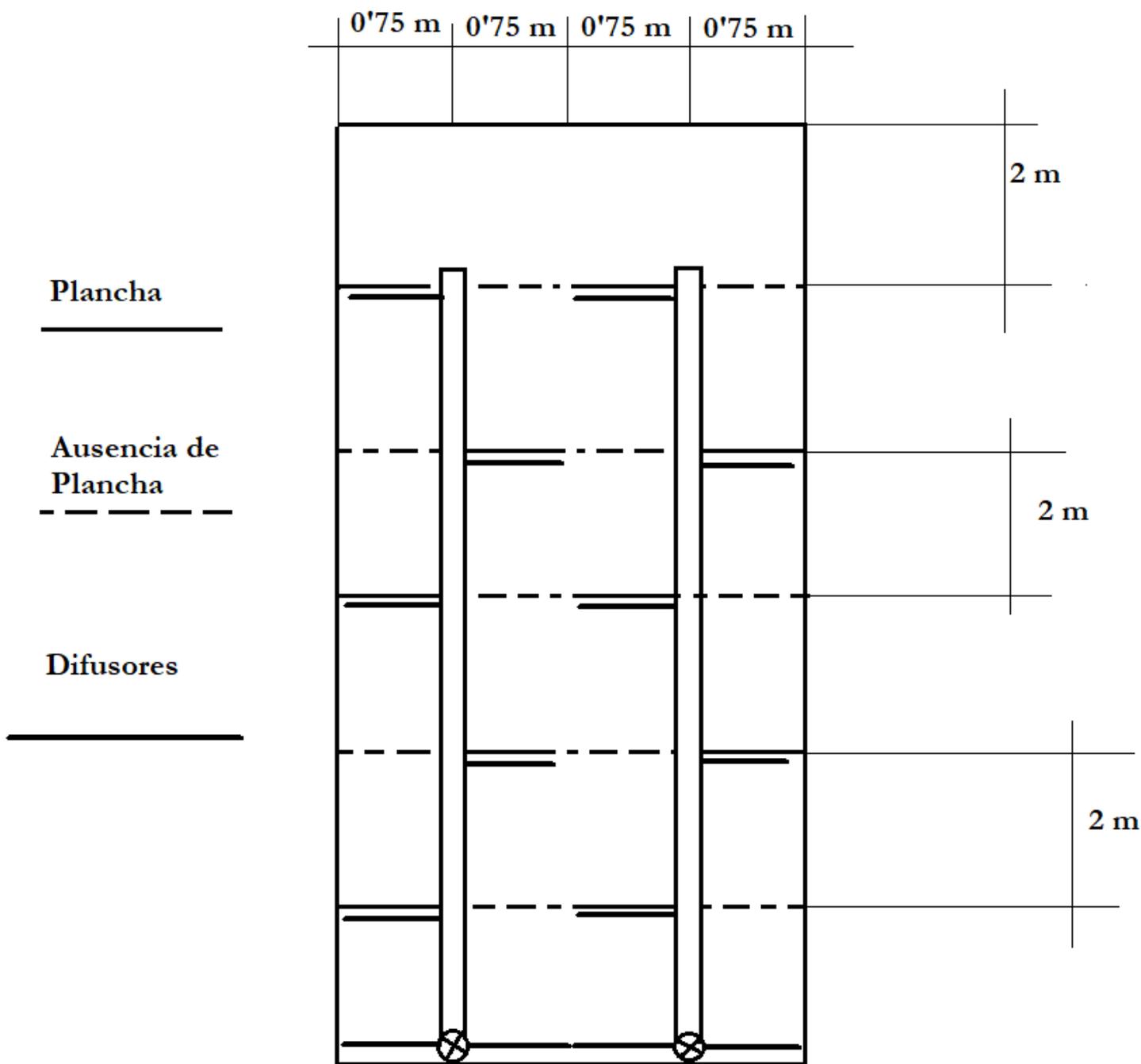


Autor Carlos Pastor Fernandez	Proyecto de diseño de de un Biorreactor para Producción de Compost a partir de Biorresiduos		
	Escala 1:1000	Grado Ing.Agroalimentaria y del MR	Universitat Jaume I
	Fecha 03/07/2019	Título Elementos de Compostaje	Plano 5
			UJI

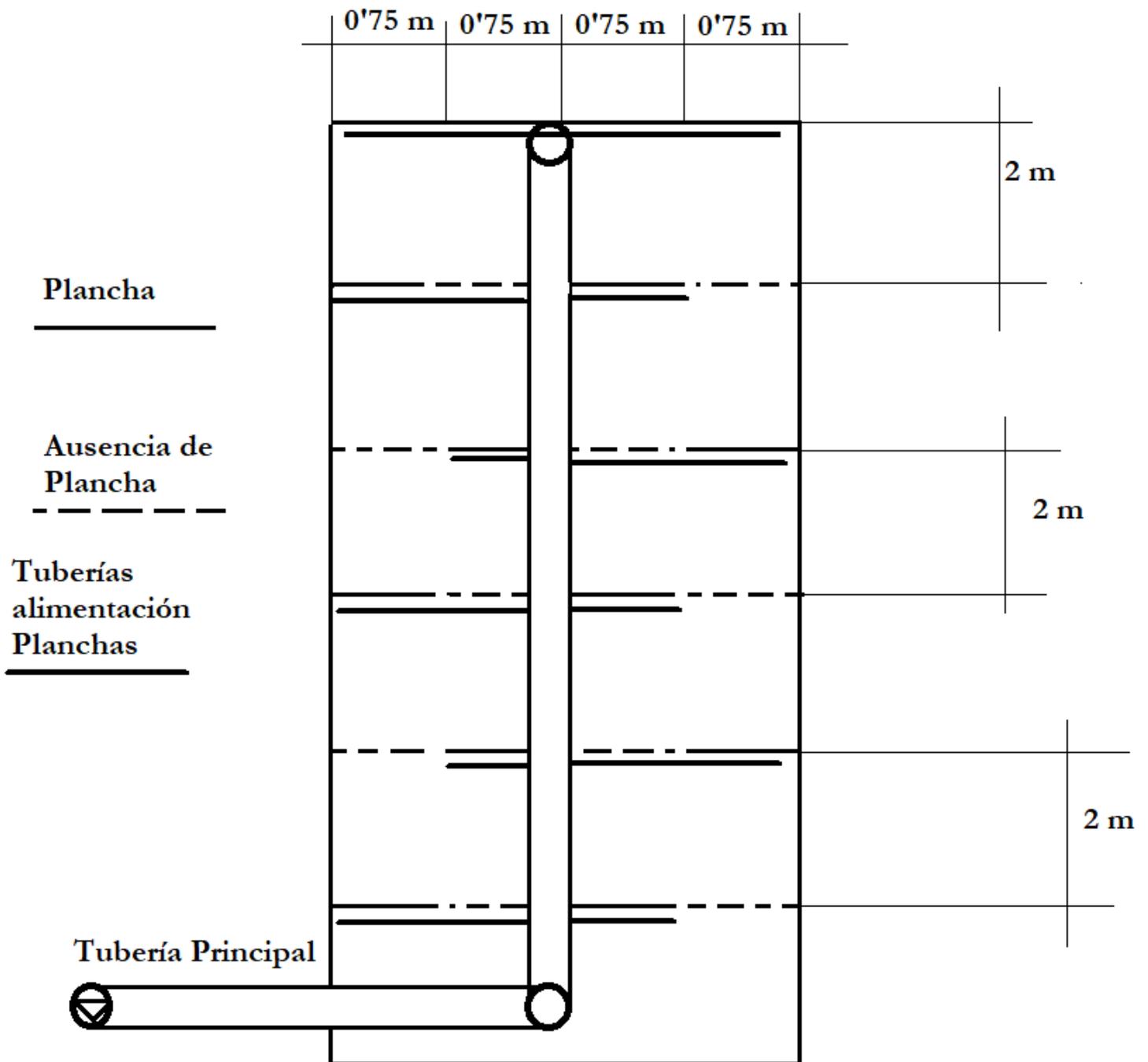
4. BIORREACTOR



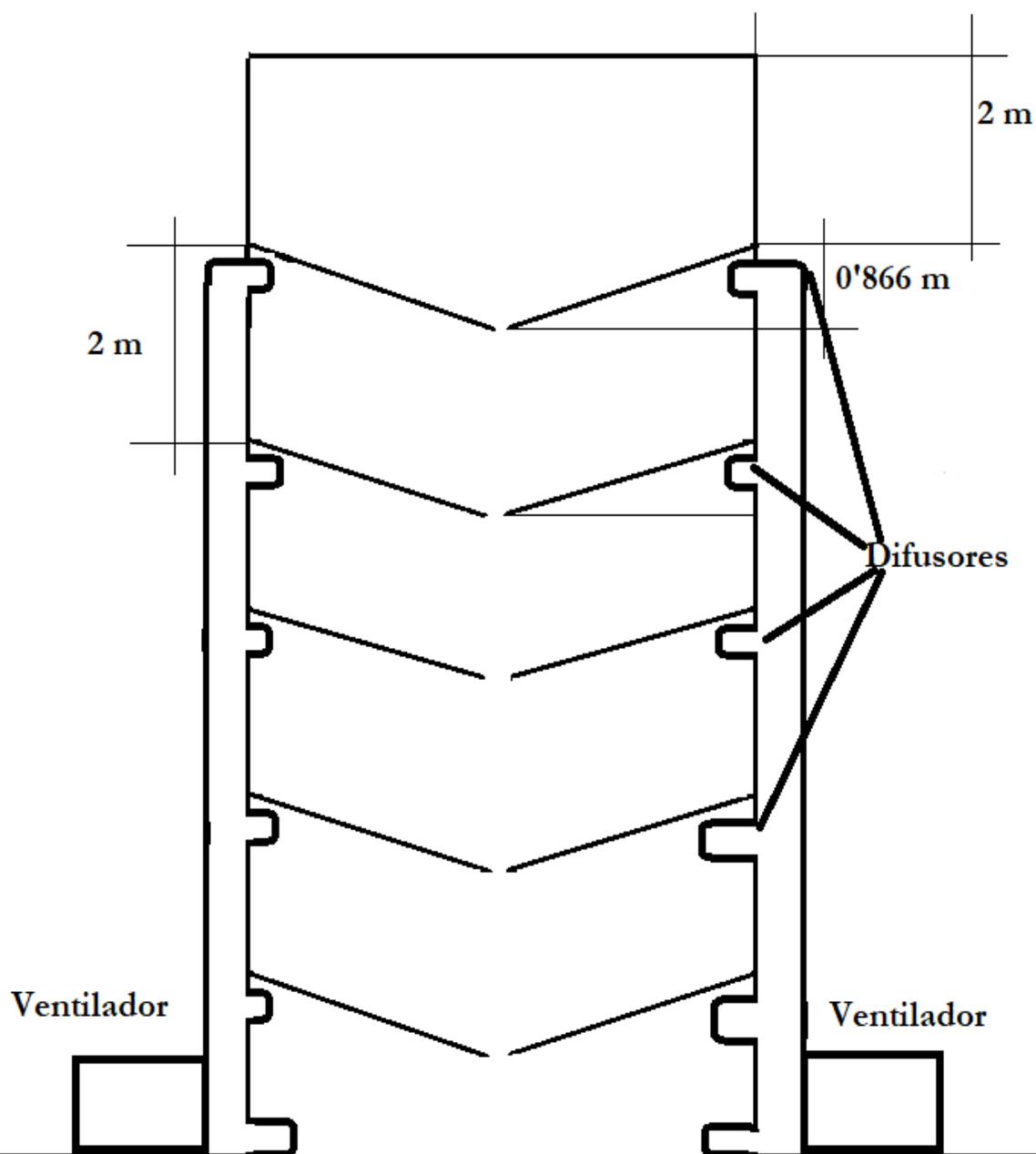
Autor Carlos Pastor Fernandez	Proyecto de Diseño de un Biorreactor para Producción de Compost a partir de Biorresiduos		
	Escala -	Grado Ing. Agroalimentaria y del Medio Rural	Universitat Jaume I
	Fecha 26/06/2019	Título Disposición Planchas Internas	Plano 6
		UJI	



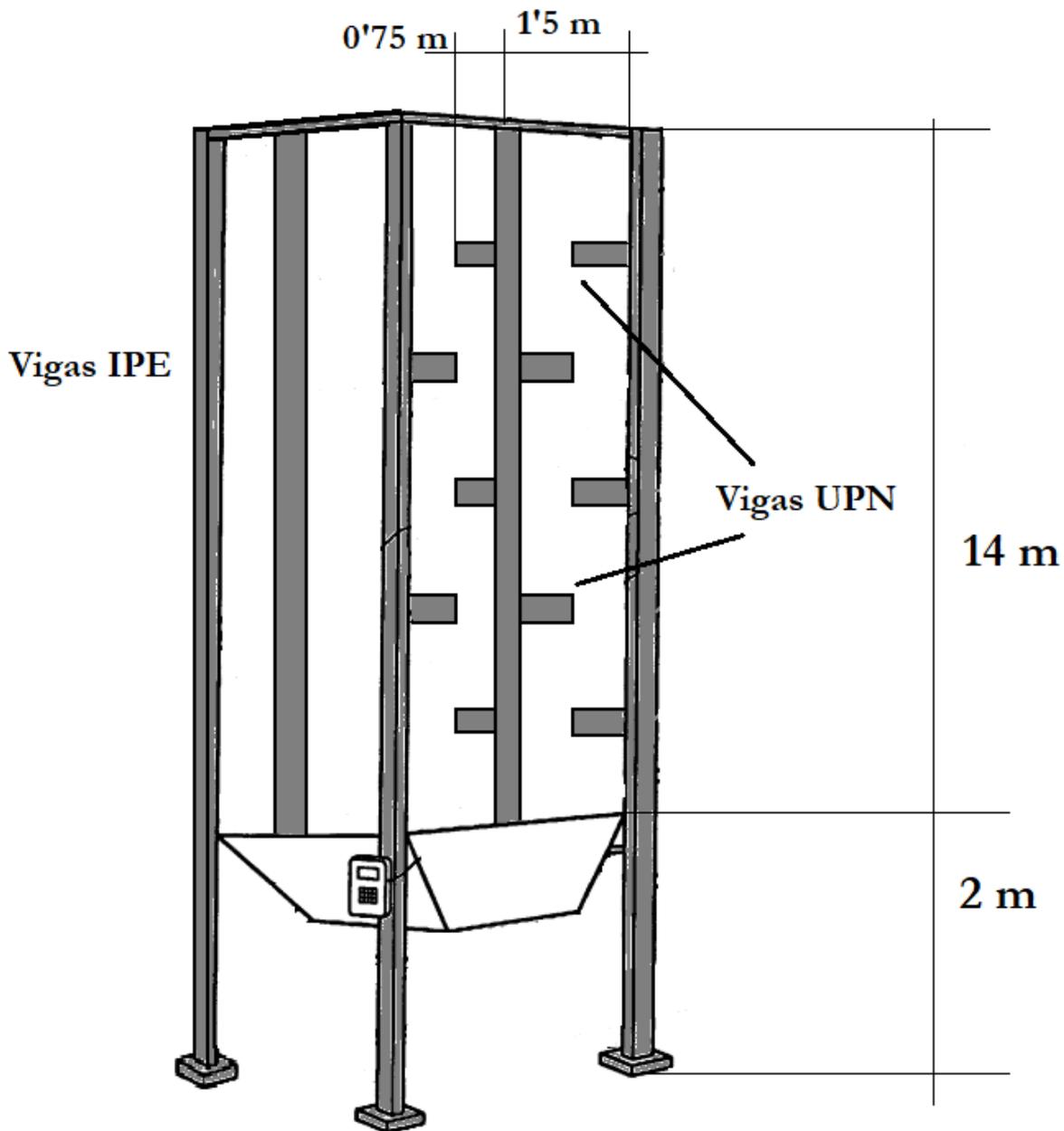
<p>Autor</p>	<p>Proyecto de Diseño de un Biorreactor para Producción de Compost a partir de Biorresiduos</p>			
<p>Carlos Pastor Fernandez</p>	<p>Escala -</p>	<p>Grado Ing. Agroalimentaria y del Medio Rural</p>	<p>Universitat Jaume I</p>	
	<p>Fecha 06/07/2019</p>	<p>Título Sistema de aireación del Biorreactor</p>	<p>Plano 7</p>	<p>UJI</p>



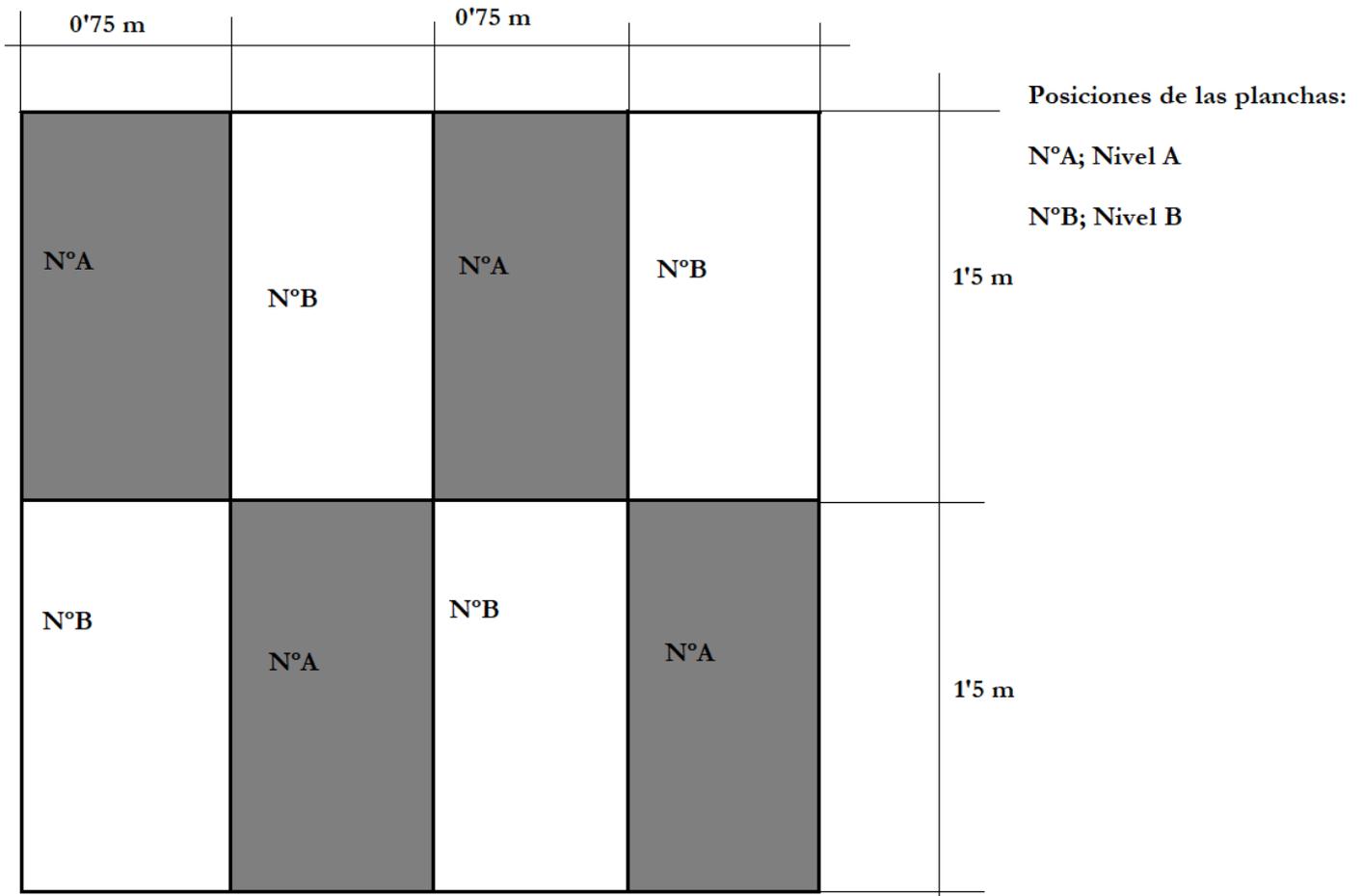
Autor Carlos Pastor Fernandez	Proyecto de Diseño de un Biorreactor para Producción de Compost a partir de Biorresiduos		
Escala -	Grado Ing. Agroalimentaria y del Medio Rural		Universitat Jaume I
Fecha 23/07/2019	Título Sistema de humectación	Plano 8	UJI



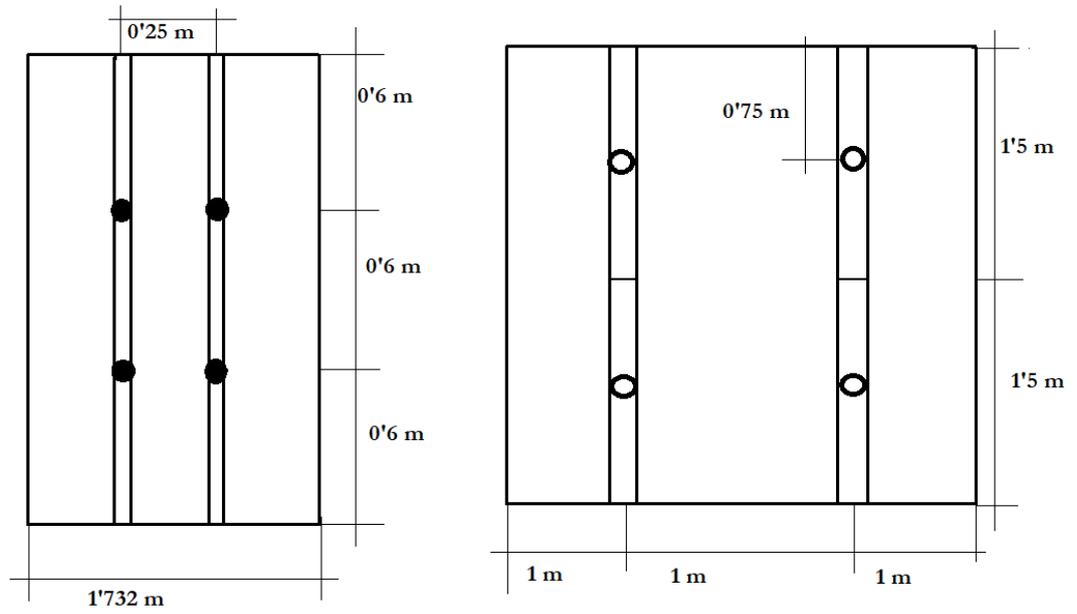
<p>Autor</p> <p>Carlos Pastor Fernandez</p>	<p>Proyecto de Diseño de un Biorreactor para Producción de Compost a partir de Biorresiduos</p>		
<p>Escala</p> <p>-</p>	<p>Grado</p> <p>Ing. Agroalimentaria y del Medio Rural</p>	<p>Universitat Jaume I</p>	
<p>Fecha</p> <p>01/07/2019</p>	<p>Título</p> <p>Disposición difusores</p>	<p>Plano</p> <p>9</p>	<p>UJI</p>



<p>Autor</p> <p>Carlos Pastor Fernandez</p>	<p>Proyecto de Diseño de un Biorreactor para Producción de Compost a partir de Biorresiduos</p>		
	<p>Escala</p> <p>-</p>	<p>Grado</p> <p>Ing. Agroalimentaria y del Medio Rural</p>	<p>Universitat Jaume I</p>
	<p>Fecha</p> <p>03/07/2019</p>	<p>Título</p> <p>Estructura metálica reactor</p>	<p>Plano</p> <p>10</p>
			<p>UJI</p>



Autor Carlos Pastor Fernandez	Proyecto de Diseño de un Biorreactor para Producción de Compost a partir de Biorresiduos		
	Escala -	Grado Ing. Agroalimentaria y del Medio Rural	Universitat Jaume I
	Fecha 05/07/2019	Título Disposición Planchas	Plano 11
			UJI



Autor Carlos Pastor Fernandez	Proyecto de Diseño de un Biorreactor para Producción de Compost a partir de Biorresiduos		
	Escala -	Grado Ing. Agroalimentaria y del Medio Rural	Universitat Jaume I
	Fecha 03/07/2019	Título Disposición aspersores en planchas y techo	Plano 12
		UJI	

PLIEGO DE CONDICIONES

CABLEADO

UNIDAD DE OBRA IEH010: CABLE CON AISLAMIENTO.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión asignada de 450/750 V, reacción al fuego clase Eca, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 1,5 mm² de sección, con aislamiento de PVC (V). Incluso p/p de accesorios y elementos de sujeción. Totalmente montado, conexionado y probado.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO

Longitud medida según documentación gráfica de Proyecto.

CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA

DEL SOPORTE.

Se comprobarán las separaciones mínimas de las conducciones con otras instalaciones.

DEL CONTRATISTA.

Las instalaciones eléctricas de baja tensión se ejecutarán por instaladores autorizados en baja tensión, autorizados para el ejercicio de la actividad.

FASES DE EJECUCIÓN.

Tendido del cable. Conexionado.

CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO.

Se protegerá de la humedad y del contacto con materiales agresivos.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO

Se medirá la longitud realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.

VIGAS

UNIDAD DE OBRA EAV010: ACERO EN VIGAS.

MEDIDAS PARA ASEGURAR LA COMPATIBILIDAD ENTRE LOS DIFERENTES PRODUCTOS, ELEMENTOS Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS QUE COMPONEN LA UNIDAD DE OBRA.

La zona de soldadura no se pintará. No se pondrá en contacto directo el acero con otros metales ni con yesos.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Acero UNE-EN 10025 S275JR, en vigas formadas por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra, a una altura de hasta 3 m.

NORMATIVA DE APLICACIÓN

Ejecución:

- CTE. DB-SE-A Seguridad estructural: Acero.
- UNE-EN 1090-2. Ejecución de estructuras de acero y aluminio. Parte 2: Requisitos técnicos para la ejecución de estructuras de acero.
- Instrucción de Acero Estructural (EAE).
- NTE-EAV. Estructuras de acero: Vigas.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO

Peso nominal medido según documentación gráfica de Proyecto.

CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA

AMBIENTALES.

No se realizarán trabajos de soldadura cuando la temperatura sea inferior a 0°C.

DEL CONTRATISTA.

Presentará para su aprobación, al director de la ejecución de la obra, el programa de montaje de la estructura, basado en las indicaciones del Proyecto, así como la documentación que acredite que los soldadores que intervengan en su ejecución estén certificados por un organismo acreditado.

PROCESO DE EJECUCIÓN

FASES DE EJECUCIÓN.

Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la viga. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones soldadas.

CONDICIONES DE TERMINACIÓN.

Las cargas se transmitirán correctamente a la estructura. El acabado superficial será el adecuado para el posterior tratamiento de protección.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO

Se determinará, a partir del peso obtenido en báscula oficial de las unidades llegadas a obra, el peso de las unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.

CRITERIO DE VALORACIÓN ECONÓMICA

El precio incluye las soldaduras, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje.

PRESUPUESTO

CABLEADO

IEH010 m Cable con aislamiento.

0,63€

Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión asignada de 450/750 V, reacción al fuego clase Eca, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 1,5 mm² de sección, con aislamiento de PVC (V).

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1 Materiales					
mt35cun040aa	m	Cable unipolar H07V-K, siendo su tensión asignada de 450/750 V, reacción al fuego clase Eca según UNE-EN 50575, con conductor multifilar de cobre clase 5 (-K) de 1,5 mm ² de sección, con aislamiento de PVC (V). Según UNE 21031-3.	1,000	0,25	0,25
Subtotal materiales:					0,25
2 Mano de obra					
mo003	h	Oficial 1ª electricista.	0,010	19,11	0,19
mo102	h	Ayudante electricista.	0,010	17,50	0,18
Subtotal mano de obra:					0,37
3 Costes directos complementarios					
	%	Costes directos complementarios	2,000	0,62	0,01
Coste de mantenimiento decenal: 0,03€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		
			0,63		

VIGAS

EAV010 kg Acero en vigas.

1,58€

Acero UNE-EN 10025 S275JR, en vigas formadas por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra, a una altura de hasta 3 m. El precio incluye las soldaduras, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje.

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1 Materiales					
mt07ala010dab	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	1,000	0,96	0,96
Subtotal materiales:					0,96
2 Equipo y maquinaria					
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,018	3,19	0,06
Subtotal equipo y maquinaria:					0,06
3 Mano de obra					
mo047	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,018	19,37	0,35
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,010	18,29	0,18
Subtotal mano de obra:					0,53
4 Costes directos complementarios					
	%	Costes directos complementarios	2,000	1,55	0,03
Coste de mantenimiento decenal: 0,05€ en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3+4):		
			1,58		

Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada	Aplicabilidad _(a)	Obligatoriedad _(b)	Sistema _(c)
UNE-EN 10025-1:2006 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1: Condiciones generales de suministro.	1.9.2005	1.9.2006	2+

Elementos de Instalación menor

Contenedores marítimo

950 €/ud.

3 *950 € =2850 €

Tubería 40 mm

12 €/100 m

12 €

Tubería 16 mm

10 €/100 m

10 €

Tubería 20 mm

10 €/100 m

10 €

Tubería de 300 mm

18 €/100 m

18 €

Sondas y scada

Sondas temperatura; 36 €/ud. → 10 ud. * 36 = 360 €

Sondas humedad; 47 €/ud. → 10 ud. * 47 = 470 €

SCADA; Programación; 2h, 30 €/h → 60 €

Micro-aspersores

2'2 €/ ud.

84 * 2'2 € = 184'8 €

Difusores

2'5 €/ud.

24 *2'5 € = 60 €

