



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Estudio de implantación de un sistema de compostaje para
la población de Alcoy

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Química

AUTOR/A: Acarapi Morales, José Ariel

Tutor/a: Fombuena Borrás, Vicent

Cotutor/a: Domínguez Candela, Iván

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

RESUMEN

“Estudio de implantación de un sistema de compostaje para la población de Alcoy”

El presente proyecto se centra en la revalorización de los residuos urbanos de la población de Alcoy, es decir, que casi toda la materia prima utilizada se trata de materia orgánica que se encuentra en las 15.060 t/año de residuos que se tratan en la planta, con el fin de obtener en torno a 1.695,315 t de compost al año.

En el momento que la materia orgánica llega a la planta se encuentra mezclada con otro tipo de residuos. Por ello es necesario someterla a procesos de separación mecánicos y manuales, los cuales consisten en un trómel de cribado, separadores magnéticos y triajes manuales. Posteriormente se tritura y mezcla con un material estructurante como es la fracción vegetal (Serrín), para poder disponerlo en forma de pilas donde se iniciará la degradación y estabilización de la materia orgánica hasta obtener compost. Se ha determinado un área de compostaje óptimo de 2238,76 m² compuesto por 18 pilas de 2,5 x 1,2 x 27,7 m (ancho, alto y largo) en base a la prueba de diferentes configuraciones de pilas para poder hacer frente a las 5.651 t/año de materia orgánica.

Las pilas de compostaje estarán dentro de naves industriales con el objetivo de tener mejor control de los subproductos generados (gases y lixiviados) y de los parámetros que más afectan durante el proceso como son la temperatura, humedad y concentración de oxígeno. Los cuáles serán controlados mediante volteos mecánicos realizados con una maquina volteadora que cuenta con un sistema de riego. Por último, se hizo un estudio económico, donde se establece que la inversión inicial es de 3.847.748,67 € el cual se recupera después de los 11 años de funcionamiento.

SUMMARY

“Implementation study of a composting system for the population of Alcoy”

This project focuses on the revalorization of urban waste from the town of Alcoy, i.e. almost all the raw material used is organic material found in the 15.060 t/year of waste treated at the plant, with the aim of obtaining around 1.695,315 t of compost per year.

When the organic matter arrives at the plant, it is mixed with other types of waste. It is therefore necessary to subject it to mechanical and manual separation processes, which consist of a screening trommel, magnetic separators and manual sorting. Subsequently, it is crushed and mixed with a structuring material such as the vegetable fraction (sawdust), in order to arrange it in the form of piles where the degradation and stabilization of the organic matter will begin until compost is obtained. An optimal composting area of 2238,76 m² composed of 18 piles of 2.5 x 1.2 x 27.7 m (width, height and length) has been determined based on the testing of different pile configurations to cope with the 5.651 t/year of organic matter.

The composting piles will be located inside industrial buildings in order to have better control of the by-products generated (gases and leachates) and of the parameters that most affect the process, such as temperature, humidity and oxygen concentration. These will be controlled by means of mechanical turning with a turning machine with an irrigation system. Finally, an economic study was carried out, where it was established that the initial investment is 3.847.748,67 €, which will be recovered after 11 years of operation.

RESUM

“Estudi d'implantació d'un sistema de compostatge per a la població d'Alcoy”

El present projecte se centra en la revaloració dels residus urbans, és a dir, que quasi tota la matèria primera utilitzada es tracta de matèria orgànica que es troba en les 15.060 t/any de residus que es tracten en la planta, amb la finalitat d'obtindre entorn a 1.695,315 t de compost a l'any.

En el moment que la matèria orgànica arriba a la planta es troba mesclada amb un altre tipus de residus. Per això és necessari sotmetre-la a processos de separació mecànics i manuals, els quals consisteixen en un trómel de garbellat, separadors magnètics i triatges manuals. Posteriorment es tritura i mescla amb un material estructurant com és la fracció vegetal (serrín), per a poder disposar-ho en forma de piles on s'iniciarà la degradació i estabilització de la matèria orgànica fins a obtindre compost. S'ha determinat una àrea de compostatge òptim de 2238,76 m² compost per 18 piles de 2,5 x 1,2 x 27,7 m (ample, alt i llarg) sobre la base de la prova de diferents configuracions de piles per a poder fer front a les 5.651 t/any de matèria orgànica.

Les piles de compostatge estaran dins de naus industrials amb l'objectiu de tindre millor control dels subproductes generats (gasos i lixiviats) i dels paràmetres que més afecten durant el procés com són la temperatura, humitat i concentració d'oxigen. Els quals seran controlats mitjançant voltejos mecànics realitzats amb una maquina voltejadora que compta amb un sistema de reg. Finalment, es va fer un estudi econòmic, on s'estableix que la inversió inicial és de 3.847.748,67 € el qual es recupera després dels 11 anys de funcionament.

Tabla de Contenidos

Contenido

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN | 1 |
| SUMMARY | 2 |
| RESUM | 3 |
| LISTADO DE FIGURAS | 7 |
| LISTADO DE TABLAS | 9 |
| I. INTRODUCCIÓN | 10 |
| I.1. SITUACIÓN ACTUAL | 11 |
| I.2. RESIDUOS | 14 |
| 1.2.1. Residuos sólidos urbanos (RSU) | 15 |
| 1.2.2. Vertederos | 15 |
| 1.2.3. Incineradoras | 16 |
| 1.2.4. Reciclado | 17 |
| 1.2.5. Compostaje | 17 |
| I.3. PARÁMETROS CLAVE DEL COMPOST | 22 |
| 1.3.1. Temperatura | 24 |
| 1.3.2. Aireación | 24 |
| 1.3.3. Humedad | 25 |
| 1.3.4. pH | 25 |
| 1.3.5. Relación carbono-nitrógeno | 25 |
| 1.3.6. Tamaño de las partículas | 25 |
| I.3.7 Compost | 26 |
| 1.3.8. Calidad del compost | 27 |
| I.4. SISTEMAS DE COMPOSTAJE | 28 |
| 1.4.1. Sistemas abiertos | 29 |
| 1.4.2. Sistemas cerrados | 30 |
| 1.4.3. Vermicompostaje | 31 |
| I.5. POBLACIÓN DE ESTUDIO | 32 |

| | |
|--|----|
| II. OBJETIVO | 34 |
| II.1. OBJETIVO GENERAL..... | 35 |
| II.2. OBJETIVOS PARTICULARES | 35 |
| II.3. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE | 36 |
| III. DESARROLLO DEL PROYECTO | 37 |
| III.1. DRESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS..... | 38 |
| III.2. RECEPCIÓN Y SEPARACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA. | 40 |
| III.2.1. Área del almacén temporal | 40 |
| III.2.2. Triaje manual | 41 |
| III.2.3. Triaje automático | 42 |
| III.3. ALMACEN Y PRETRATAMIENTO..... | 44 |
| III.3.1. Cálculo de la altura de la cinta transportadora | 44 |
| III.3.2. Calculo área de almacenaje | 45 |
| III.3.3. Zona de pretratamiento | 46 |
| III.4. ETAPA DE DESCOMPOSICIÓN | 48 |
| III.4.1. Cálculo del área de compostaje | 48 |
| III.4.2. Control de parámetros | 52 |
| III.4.3. Diseño de una balsa de lixiviados | 54 |
| III.5. ETAPA DE MADURACIÓN | 56 |
| III.6. POSTRATAMIENTO Y ALMACENAMIENTO..... | 58 |
| III.6.1. Almacenamiento del compost | 59 |
| III.7. SELECCIÓN DEL TERRENO | 60 |
| III.7.1. Vías de acceso (impacto del tráfico)..... | 60 |
| III.7.2. Emplazamiento idóneo..... | 60 |
| III.8. IMPACTO AMBIENTAL | 62 |
| III.8.1. Tratamiento de gases | 62 |
| III.8.2. Tratamiento de lixiviados..... | 63 |
| III.8.3. Normativa y acreditaciones | 63 |
| IV. ESTUDIO ECONÓMICO | 65 |
| IV.1. ADECUACIÓN DEL TERRENO | 66 |

| | |
|---|----|
| IV.1.1. Naves industriales..... | 66 |
| IV.1.2. Impermeabilizar y pavimentado del suelo..... | 67 |
| IV.2. COSTES MAQUINARIA..... | 68 |
| IV.3. COSTES DE EQUIPAMIENTO AUXILIAR | 70 |
| I.V.3.1. Coste de láminas de plástico..... | 70 |
| I.V.3.2. Coste de mallado | 70 |
| I.V.3.3. Coste de personal | 71 |
| I.V.3.4. Coste de electricidad..... | 71 |
| I.V.3.5. Coste de combustible | 73 |
| IV.4. ESTUDIO VIABILIDAD ECÓNOMICA | 75 |
| IV.1.1. Inversión inicial | 75 |
| IV.1.2. Precio estimado de venta del producto..... | 75 |
| IV.1.3. Flujo neto de efectivo | 76 |
| IV.1.4. Valor actual neto (VAN)..... | 77 |
| IV.1.5. Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR)..... | 78 |
| V. CONCLUSIONES | 79 |
| V.1. CONCLUSIONES..... | 80 |
| VI. APÉNDICES | 81 |
| Apéndice 1: Métodos para determinar los parámetros de control..... | 82 |
| Apéndice 2: Especificaciones de la maquinaria utilizada. [66, 67, 44, 68, 43] | 84 |
| Apéndice 3: Plano de distribución de la planta de compostaje | 88 |
| VI.1. REFERENCIAS | 89 |

LISTADO DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Evolución temporal de los residuos a nivel nacional. | 11 |
| Figura 2: Gestión de los residuos. [2]..... | 12 |
| Figura 3: Porcentaje de reciclado a nivel nacional. | 12 |
| Figura 4: Ejemplo de clasificación de residuos LER. [7]..... | 14 |
| Figura 5: Composición de los RSU a nivel nacional. | 15 |
| Figura 6: Vertedero de Alicante. [8]..... | 16 |
| Figura 7: Incineradora de Zabalgardi. [10]..... | 16 |
| Figura 8: Beneficios del compostaje. [13]..... | 18 |
| Figura 9: Gestión de los residuos..... | 20 |
| Figura 10: Proceso de compostaje. [13]..... | 22 |
| Figura 11: Fases del compostaje. [18]..... | 24 |
| Figura 12: Pilas de compostaje. [21]..... | 29 |
| Figura 13: Reactor circular de lecho agitado. [20]..... | 30 |
| Figura 14: Bioestabilizador cilíndrico Dano [20]..... | 31 |
| Figura 15: Túneles de compostaje. [22]..... | 31 |
| Figura 16: Humus de lombriz..... | 32 |
| Figura 17: Puente Fernando Reig-Alcoy [10]..... | 33 |
| Figura 18: Diagrama de flujo planta de compostaje..... | 38 |
| Figura 19: Báscula de sobresuelo con rampa. [30]..... | 40 |
| Figura 20: Playa de residuos. [31]..... | 41 |
| Figura 21: Triage primario. [21]..... | 42 |
| Figura 22: Trómel de triaje [32]..... | 42 |
| Figura 23: Pirámide de residuos..... | 44 |
| Figura 24: Máquina trituradora. [37]..... | 47 |
| Figura 25: Máquina volteadora con sistema de riego. [38]..... | 48 |
| Figura 26: Máquina volteadora. [38]..... | 49 |
| Figura 27: Volumen por metro lineal..... | 49 |
| Figura 28: Dimensiones del área óptimo de compostaje..... | 52 |
| Figura 29: Termómetro para las pilas. [40]..... | 52 |
| Figura 30: Medidor de oxígeno. [42]..... | 53 |
| Figura 31: Medidor de temperatura y humedad. [41]..... | 53 |
| Figura 32: Bomba sumergible. [43]..... | 55 |
| Figura 33: Diferencia material estabilizado y compost. [31]..... | 56 |
| Figura 34: Ejemplo de rechazo de una máquina cribadora. [31]..... | 58 |
| Figura 35: Máquina ensacadora. [43]..... | 59 |

| | |
|--|----|
| Figura 36: Terreno seleccionado. [48] | 61 |
| Figura 37: Nave industrial. [50] | 61 |
| Figura 38: Esquema biofiltración. [52] | 62 |
| Figura 39: Balsa de lixiviados cubierta. [31] | 63 |
| Figura 40: Nave industrial. [59] | 67 |
| Figura 41: Lamina de polietileno. [67] | 70 |
| Figura 42: Mallado de la planta. [68] | 70 |
| Figura 43: Plano de distribución de la planta de compostaje | 88 |

LISTADO DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Tipos de materiales compostable. [14] | 20 |
| Tabla 2: Valores de los parámetros de compostaje. [14]..... | 26 |
| Tabla 3: Usos del compost..... | 26 |
| Tabla 4: Calidad del compost. [2, 23] | 27 |
| Tabla 5: Clasificación materia orgánica..... | 39 |
| Tabla 6: Calculo área óptimo de compostaje | 51 |
| Tabla 7: Parámetros de control de calidad del producto final. | 57 |
| Tabla 8: Área de los procesos de compostaje. | 60 |
| Tabla 9: Coste total maquinaria. | 68 |
| Tabla 10: Coste anual personal. | 71 |
| Tabla 11: Coste anual electricidad..... | 72 |
| Tabla 12. Inversión inicial. | 75 |
| Tabla 13: Beneficio anual venta de compost. | 76 |
| Tabla 14. Calculo del VAN. | 78 |

I. INTRODUCCIÓN

I. Introducción

I.1. SITUACIÓN ACTUAL

El sistema económico de los últimos años está basado en un modelo de crecimiento que se apoya en la producción de bienes y servicios bajo las pautas de “usar-consumir-tirar”, este modelo lineal conlleva a una sobreexplotación de los recursos naturales y un incremento de residuos a lo largo del tiempo tal y como se puede observar en la **Figura 1** que fue obtenida de las memorias anuales de generación de residuos emitido por el Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO) y el instituto nacional de estadística (INE) [1]. Los documentos utilizados proporcionan información suministrada por las comunidades autónomas sobre las cantidades de residuos recogidos y tratados procedentes de los hogares y del sector de servicios (comercios, oficinas e instituciones públicas y privadas).

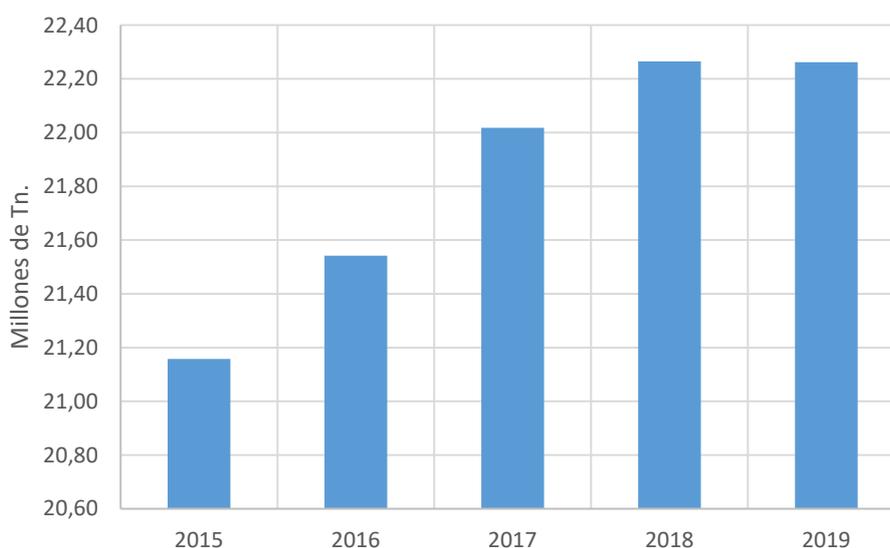


Figura 1: Evolución temporal de los residuos a nivel nacional.

Otro factor muy importante que está directamente relacionada con la cantidad de residuos y todavía sigue siendo la última opción a la hora de gestionar los residuos es la “prevención”, de hecho, la Unión Europea dicto como objetivo para 2030 una jerarquía de la gestión de residuos que la posiciona como la principal actuadora.

I. Introducción



Figura 2: Gestión de los residuos. [2]

Otro método para reducir la cantidad de residuos en el futuro (además de la prevención) es el proceso de recolección y transformación de residuos para convertirlos en productos nuevos (reciclaje). El porcentaje de los residuos que se reciclan apenas ha ido aumentando a lo largo de los últimos años, de hecho entre los años 2017 y 2018 además de que se generaron más residuos, el porcentaje de reciclado bajó de un 18,3% (2017) a un 18% (2018) dando lugar a 25.000 toneladas menos recicladas todo esto se puede corroborar en la siguiente gráfica. [3, 4]

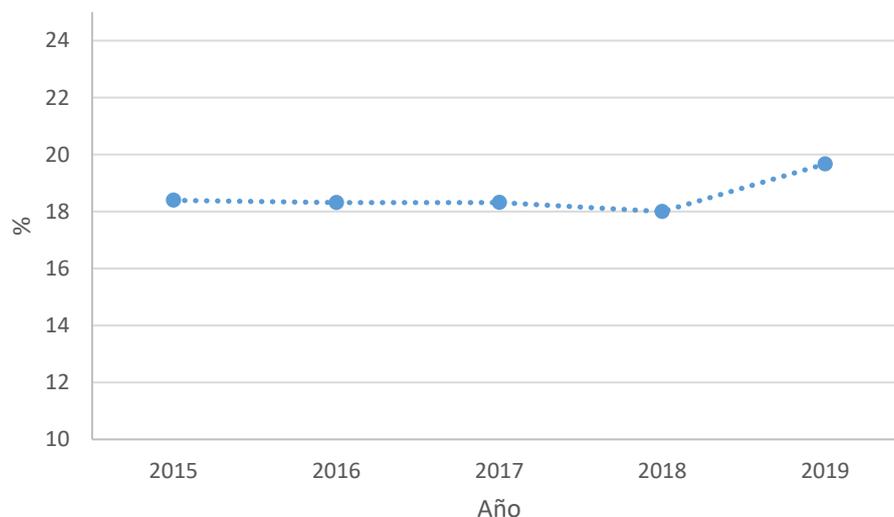


Figura 3: Porcentaje de reciclado a nivel nacional.

I. Introducción

Uno de los objetivos para pasar de un modelo económico lineal a uno circular establecido por la directiva (UE) 2018/851 del parlamento europeo actualizada el 2018 es que el porcentaje de reciclaje de los residuos municipales sea de un 55% para 2025. Es evidente que si se continua con ese ritmo de gestión de residuos antes mencionado, este propósito será complicado de alcanzar lo cual repercutirá en sanciones (normalmente económicas) al país por parte de la directiva de la UE.

Una vez presentada la problemática a la que está sometida el país, se procederá a explicar lo que se pretende realizar para minimizar la cantidad de residuos que van a parar a vertederos. Actualmente solo las ciudades grandes de España cuentan con el contenedor marrón donde se depositan los residuos orgánicos y cada vez más ciudades pequeñas como Alcoy están empezando a implementar este contenedor debido a que antes de enero de 2024 todas las comunidades autónomas y las entidades locales de toda España deben prever la recogida de restos orgánicos a través del contenedor marrón para aprovechar los biorresiduos, ya que ello es una exigencia de la Unión Europea [5].

Como en un futuro muy cercano todas o casi todas las ciudades de España como es el caso de Alcoy podrán separar la materia orgánica de los demás residuos, es importante el uso que se les va a dar. Uno de los usos es el compostaje que es el punto clave en el que se va a centrar el presente proyecto.

I. Introducción

I.2. RESIDUOS

Debido a la necesidad de supervivencia, el hombre ha ido desarrollando y mejorando diversas actividades a lo largo de los años, las cuales lamentablemente tienen como subproducto principal los residuos. Como este último forma parte de la materia prima para poder realizar el presente trabajo, se va a comenzar por definirlo.

Existen numerosas definiciones para los residuos, según la RAE residuo es todo aquello que resulta de la descomposición o destrucción de algo [6]. Si se llega a indagar un poco más se puede obtener una determinación más precisa como puede ser el que define el artículo 1 de la Directiva 75/442/CEE, que define a los residuos como cualquier sustancia u objeto del cual se desprenda su poseedor o tenga la obligación de desprenderse en virtud de las disposiciones nacionales en vigor [7].

Para poder clasificar los residuos se remite a la Lista Europeo de residuos (LER) que clasifica los residuos según un código de seis dígitos, donde los primeros identifican el grupo al que pertenece el residuo (existen 20 grupos en total) según la fuente que lo genera o el tipo de residuos y los dos siguientes al subgrupo. Los residuos que se marquen con un asterisco (*) dentro de esta lista se considera residuo peligroso, y la que no tenga este símbolo se considera residuo no peligroso. El grupo que contiene los residuos de interés para el presente proyecto es el 20 01 08 que corresponden con los residuos biodegradables de cocinas y restaurantes [7].

20 01 Fracciones recogidas selectivamente (excepto las especificadas en el subcapítulo 15 01)

20 01 01 Papel y cartón

20 01 02 Vidrio

20 01 08 Residuos biodegradables de cocinas y restaurantes

20 01 10 Ropa

20 01 11 Tejidos

20 01 13* Disolventes

20 01 14* Ácidos

20 01 15* Alkalís

20 01 17* Productos fotoquímicos

Figura 4: Ejemplo de clasificación de residuos LER. [7]

I. Introducción

1.2.1. Residuos sólidos urbanos (RSU)

Dentro del grupo de la Figura 4: Ejemplo de clasificación de residuos LER. [7] se encuentran los residuos sólidos urbanos (RSU) los cuales no tienen ningún tipo de residuo peligroso y se componen de vidrio, restos orgánicos, papel y cartón, plásticos, textiles, metales, madera y escombros (procedentes de pequeñas obras).

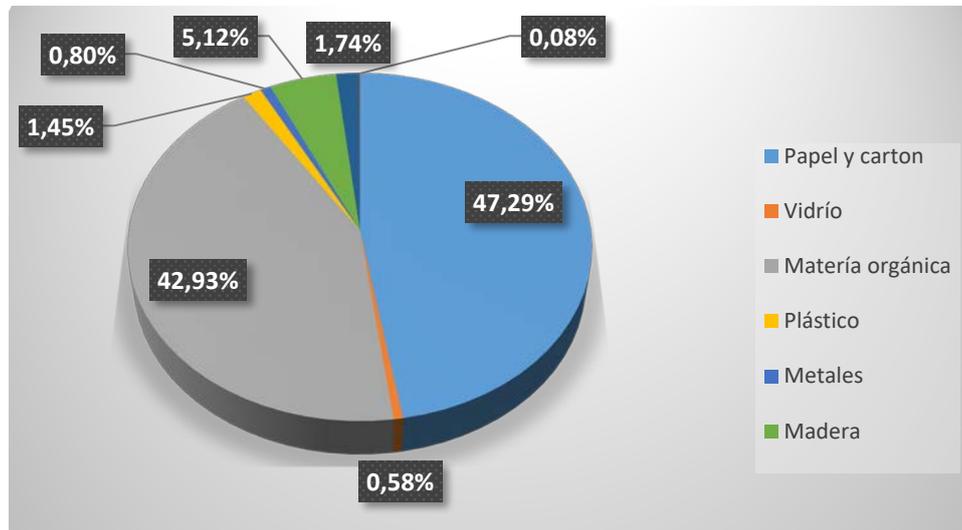


Figura 5: Composición de los RSU a nivel nacional.

Todos estos residuos que se recogen son tratados de la siguiente manera:

1.2.2. Vertederos

Los vertederos son depósitos normalmente controlados para prevenir la contaminación de suelos y acuíferos, además de evitar malos olores y ser posible foco de roedores, insectos y otro tipo plagas. Gran parte de los residuos generados terminan en estos depósitos para ser más concretos alrededor de un 51% en el año 2019 debido a que es la forma más sencilla y económica de tratar los residuos. [1]

I. Introducción



Figura 6: Vertedero de Alicante. [8]

Para poder instalar un depósito controlado se deben de tener en cuenta los siguientes factores selección del emplazamiento, adecuación del terreno, implantar un sistema de captación y recogida de aguas fluviales y otro de captación y transporte de lixiviado, captación de los gases producidos, fase de operación (control del vertedero) y finalmente la fase de clausura que es cuando se cierra el vertedero. [9]

1.2.3. Incineradoras

Las plantas incineradoras someten a los residuos a un tratamiento térmico que elimina principalmente materia orgánica ya que los residuos inorgánicos son más complejos de tratar por los elevados costes de energía que requiere, (justificado por los enlaces que tienen las moléculas) por ello solo es posible una reducción del volumen en estos casos.



Figura 7: Incineradora de Zabalgardi. [10]

I. Introducción

El proceso es de la siguiente forma, se introduce el residuo (compuesto por un 17% de agua, 60% de materia orgánica y el resto de inorgánica) al horno industrial se aporta oxígeno y metano durante el proceso, y se obtiene como producto final cenizas o escoria y como subproductos gases de combustión como el dióxido de carbono, vapor de agua, monóxido de carbono, entre otros. los cuales son tratados adecuadamente ya que son gases muy peligrosos para el medio que los rodea.

El hecho de que se implanten incineradoras es porque se puede aprovechar la energía generada en el momento de la combustión para generar energía y que reduce el volumen de los residuos. En contra de este proceso se puede mencionar el coste económico muy elevado que conlleva la instalación, el mantenimiento y el tratamiento de los gases generados. [11]

1.2.4. Reciclado

Es uno de los objetivos de la economía circular ya que consiste en reutilizar recursos ya utilizados, en los procesos de fabricación de nuevos productos. Para poder reciclar los residuos primero se deben separar en los diferentes contenedores que se disponen en las vías urbanas según el origen que tengan cada uno, para posteriormente llevarlos a la planta correspondiente donde serán tratados e incorporados en los nuevos productos.

1.2.5. Compostaje

Este subapartado se centrará en citar las ventajas e inconvenientes de este método, debido a que en el siguiente apartado se definirá lo que es el compostaje con más detalle, pero para tener una idea se puede decir que es una técnica de estabilización y tratamiento de residuos orgánicos biodegradables que está documentado desde el siglo I d.C. [12]

I. Introducción



Figura 8: Beneficios del compostaje. [13]

1.2.5.1. Beneficio del compostaje

Entre los beneficios que proporciona se encuentran [12, 14]:

- Mejora las propiedades químicas del suelo debido a que la materia orgánica aporta macronutrientes como N, P, K y micronutrientes. Mejora la capacidad de intercambio de cationes del suelo, esta propiedad consiste en absorber los nutrientes catiónicos del suelo, poniéndolos más adelante a disposición de las plantas evitándose así la lixiviación.
- Mejora las propiedades físicas del suelo: aumenta la capacidad de retención hídrica, ayuda a regular la temperatura y mejora la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola (serán más permeables los suelos pesados y más compactos los ligeros).
- Aumenta la actividad biológica del suelo debido a que el sustrato suministrado sirve de fuente de energía para los microorganismos, estos viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización.
- Se puede usar una parte de los 7.7 millones de toneladas de alimentos que se desperdician en España, como material de partida. [15]
- Forma parte del reciclaje que es uno de los objetivos de la economía circular ya que revaloriza la materia orgánica que van a parar a los basureros.

I. Introducción

- Mejora el manejo de estiércoles ya que el compostaje reduce el peso, el volumen, el contenido en humedad y la actividad de los estiércoles. El compost es mucho más fácil de manejar que los estiércoles y se almacenan sin problemas de olores.
- El compost convierte el contenido en nitrógeno presente en los estiércoles en una forma orgánica más estable. Por tanto, esto produce unas menores pérdidas de nitrógeno, el cual permanece en una forma menos susceptible a lixiviarse y, por tanto, se evita perder amonio. [16]
- Destrucción de patógenos, en la fase termófila la actividad microbiana comienza a generar calor y la temperatura puede estar entre 60-70°C. Está temperatura higieniza el medio, eliminando larvas, patógenos y esteriliza las semillas.
- Versatilidad de producción, el compost se puede producir tanto de manera industrial como de manera casera

1.2.5.2. DESVENTAJAS DEL COMPOSTAJE

Entre las desventajas se tienen [12]:

- Las del tipo económico, gran parte de las maquinarias se pueden encontrar en las granjas, pero normalmente se necesita una serie de equipos y un mínimo de instalaciones lo que repercute en gastos para el proceso de producción.
- Disponibilidad de los terrenos, se debe tener terrenos disponibles para poder almacenar las materias primas, otros para el proceso de maduración y otros para el almacenaje de los productos
- Las del tipo climatológico, si el clima es muy frío la fermentación se alarga por las bajas temperaturas. Las lluvias excesivas también pueden provocar problemas de encharcamiento y de anaerobiosis si no hay un buen drenaje
- Las de valor fertilizante, Las cantidades que hay que aplicar de compost son superiores a las que habría que aplicar cuando se usan fertilizantes químicos de síntesis, debido a que en un compost los nutrientes se encuentran en formas muy complejas que necesitan sufrir en el suelo un proceso de mineralización para ser asimilados por las plantas.

I. Introducción

En la **Figura 9** se puede observar un resumen del porcentaje de los residuos que van a parar a vertederos, incinerados, reciclado y compostaje entre los años 2015-2019 [1].

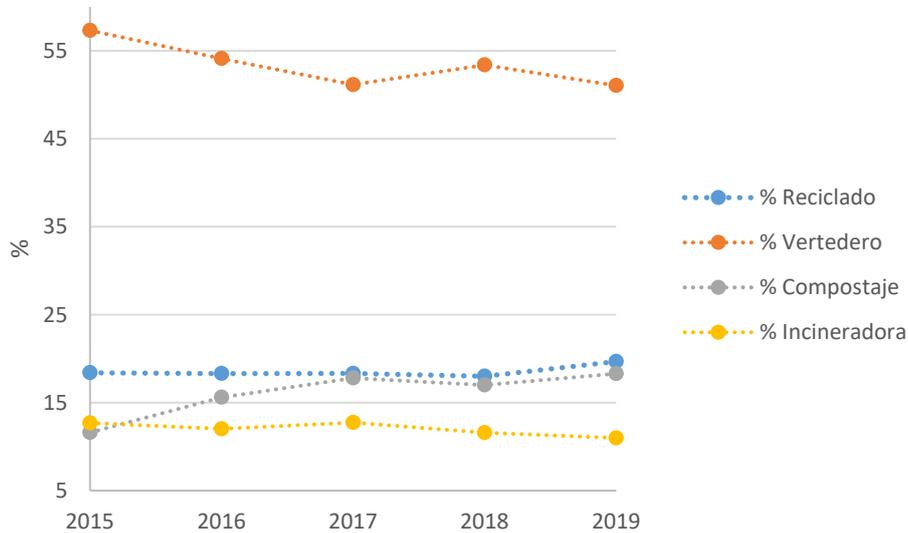


Figura 9: Gestión de los residuos.

Se puede observar que el porcentaje de los residuos que van a parar a vertederos fueron disminuyendo con el tiempo, esto es debido a que la cantidad de residuos que se destinan a compostaje ha ido aumentando ya que gran parte de los RSU son materia orgánica que se puede compostar. Aunque es importante saber que no toda la materia orgánica es compostable, a continuación, se puede observar una tabla donde se indica los tipos de materiales que se pueden compostar y cuáles no.

Tabla 1: Tipos de materiales compostable. [14]

| | |
|----------------------|--|
| Material compostable | <ul style="list-style-type: none"> -Restos de cosecha, plantas de huerto o jardín -Estiércol de animales de granja -Restos orgánicos de cocina, alimentos caducados o estropeados -Aceites y grasas comestibles (en pequeñas cantidades) -Virutas de serrín y cortes de pelo sin tinte (Pequeñas cantidades ya que tiene muy poco nitrógeno y poca humedad) |
|----------------------|--|

I. Introducción

| | |
|-------------------------|--|
| Material no compostable | <ul style="list-style-type: none">-Residuos químico-sintéticos, gasolina, petróleo, aceite de autos, pintura-Vidrio, metales y plásticos-Tabaco (contiene nicotina)-Detergentes, residuos de medicamentos-Animales muertos (Deben ser incinerados en condiciones especiales o pueden ser compostados en pilas especiales)-Carne y pescado |
|-------------------------|--|

I. Introducción

I.3. PARÁMETROS CLAVE DEL COMPOST

El compostaje consiste en la transformación aerobia de la materia orgánica por parte de diferentes tipos de agentes microbianos (como bacterias y hongos). Durante este proceso se genera calor (fase termófila) el cual va a destruir las bacterias patógenas, huevos de parásito y muchas semillas de malas hierbas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar como producto final al compost que posee un importante contenido de materia orgánica y nutrientes, pudiendo ser aprovechado como abono orgánico o sustrato para reacciones bioquímicas. [12, 17]

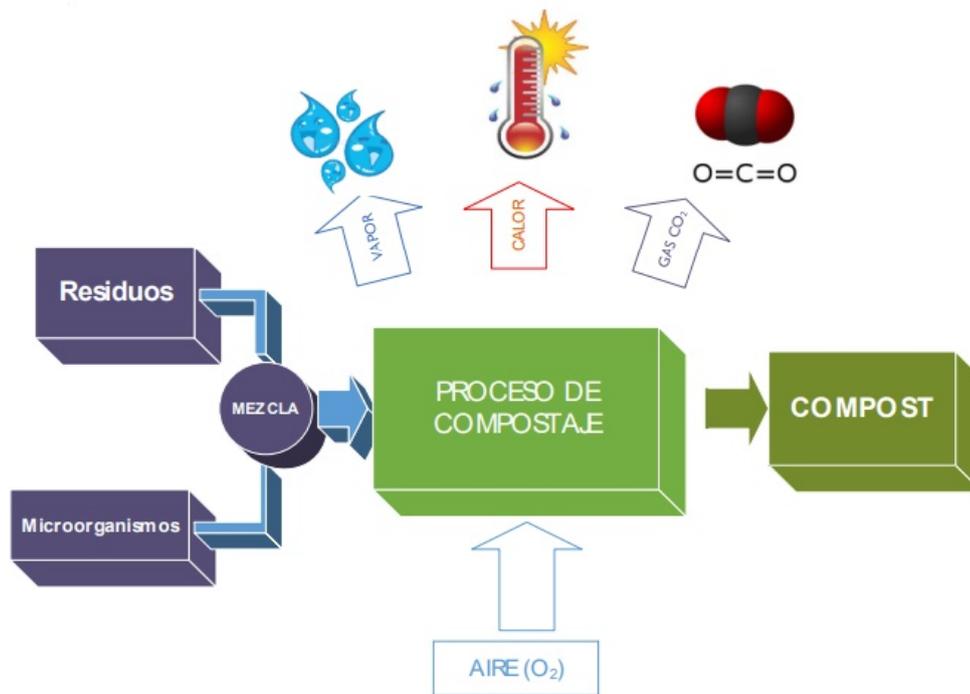


Figura 10: Proceso de compostaje. [13]

Los microorganismos aprovechan el oxígeno y carbono presentes para producir su propia biomasa generando un calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Durante este proceso de fermentación se producen cuatro etapas, de las cuales 3 dependen de la temperatura generada durante el proceso [14, 12]

1.Fase Mesófila: El proceso de compostaje inicia a temperatura ambiente y dentro de unos pocos días, la temperatura aumenta hasta los 45 °C consecuencia de la

I. Introducción

actividad microbiana donde los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de Carbono y Nitrógeno generando calor. Durante esta fase se tiene un pH ácido que se encuentra entre 4 y 4.5 ya que los microorganismos descomponen los compuestos solubles, como el azúcar produciendo ácidos orgánicos

2.Fase Termófila o de Higienización: Una vez superados los 45 °C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias llamados mesófilos desaparecen y son remplazados por microorganismos que pueden soportar hasta 100 °C, en su mayoría bacterias llamadas termófilas las cuales degradan fuentes más complejas de Carbono, como la celulosa y la lignina. El pH del medio sube, en especial a partir de los 60 °C debido a que los microorganismos transforman el nitrógeno en amoníaco y aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de Carbono complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta varios meses lo cual dependerá de la composición del material de partida, humedad, temperatura y otros.

También es llamada como fase de higienización debido a que las altas temperaturas eliminan bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia Coli* y *Salmonella spp.* También destruye los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas.

3.Fase de Enfriamiento o Mesófila II: Las temperaturas descienden entre los 40-45 °C debido a que ya están agotadas las fuentes de carbono y especialmente la de nitrógeno. Vuelven a aparecer los microorganismos mesófilos, se sigue degradando la celulosa, aparecen algunos hongos visibles y el pH desciende levemente. Esta fase dura varias semanas y suele confundirse con la fase de maduración.

4.Fase de Maduración: Una vez la producción del compost ha finalizado, llega esta última fase el cual dura varios meses a temperatura ambiente donde se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

I. Introducción



Figura 11: Fases del compostaje. [18]

Como se pudo observar se tiene un proceso donde intervienen microorganismos, por tanto, se debe tener en cuenta que los factores ambientales óptimos para el proceso de compostaje están directamente relacionados con el metabolismo propio de los mecanismos implicados en las diferentes fases o etapas del proceso. De esta manera se debe tener en cuenta factores como la temperatura, cantidad de oxígeno presente, humedad, PH, tamaño de las partículas y la relación C/N (carbono/nitrógeno). Ya que estos factores determinan la velocidad de las reacciones de oxidación y las características físicas y químicas del compost obtenido. [12, 14, 13]

1.3.1. Temperatura

Durante el proceso aumenta la temperatura sin necesidad de añadir ningún tipo de actividad antrópica, pudiendo llegar hasta los 65°C. Es importante tener temperaturas elevadas durante un buen periodo de tiempo para que la fase de higienización pueda producirse eficientemente

1.3.2. Aireación

Es importante tener una adecuada aireación ya que el oxígeno suministrado hace que se desarrollen los microorganismos y también reduce el dióxido de carbono presente durante el proceso. La saturación de oxígeno en el medio debe ser superior al 5% y del 10% en casos óptimos. En caso de tener una aireación excesiva se puede producir variaciones de temperatura y pérdida de humedad por evaporación lo cual inhibiría la actividad microbiológica hasta para el proceso de compostaje, en caso de tener una

I. Introducción

aireación inadecuada existirá un exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis generando malos olores y acidez por la presencia de compuestos como el ácido acético, ácido sulfúrico o metano.

1.3.3. Humedad

Es uno de los factores clave porque los microorganismos necesitan agua para poder transportar los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular, la humedad optima depende del estado físico y del tamaño de las partículas, pero, el rango optimo suele situarse entre 45% y 60% de agua en peso del material de partida. Si se tiene humedades muy elevadas el agua satura los poros e interviene en la transferencia de oxígeno.

1.3.4. pH

Cada grupo de los microorganismos tiene su pH optimo y el valor de este dependerá de la fase en la que se encuentre el proceso de compostaje. Valores entre 6 y 7,5 de pH dará como resultado una mayor actividad bacteriana y entre 5,5 y 8 se tiene la mayor actividad fúngica.

1.3.5. Relación carbono-nitrógeno

El carbono es usado como fuente de energía y el nitrógeno para la síntesis de proteína (además de cantidades pequeñas de fosforo y azufre). El 33% del carbono entra a formar parte del protoplasma celular de los nuevos microorganismos y el restante es quemado y transformado en CO_2 .

Esta relación se obtiene dividiendo el carbono total que se tiene (%C) dividido entre el Nitrógeno total (%N) y el valor de la relación depende del material de partida y debe estar dentro del rango 35:1 -15:1 (Va disminuyendo conforme avance el proceso).

1.3.6. Tamaño de las partículas

El tamaño de partículas y la homogenización de la mezcla de partida son importantes para que el proceso inicie más rápido ya que entre menor sea el tamaño de la materia orgánica los microorganismos tendrán un acceso más fácil hacia el sustrato.

I. Introducción

Tabla 2: Valores de los parámetros de compostaje. [14]

| Parámetro | Rango ideal al inicio (2-5 días) | Rango ideal en la fase termófila II (2-5 semanas) | Rango ideal de compost maduro (3-6 meses) |
|--|----------------------------------|---|---|
| C: N | 25:1 - 35:1 | 15:1-20:1 | 10:1- 15:1 |
| Humedad (%) | 50 - 60 | 45 - 55 | 30 - 40 |
| Concentración de oxígeno base húmeda (%) | 15 | 15 | 15 |
| pH | 6.5 - 8.0 | 6.0 - 8.5 | 6.5 - 8.5 |
| Temperatura (°C) | 45 - 50 | 45 - 60 | T. ambiente |
| Nitrógeno total base seca (%) | 2.5 - 3 | 1 - 2 | 1 |

El tiempo necesario para obtener compost es entre 3 y 6 meses, si se disponen el material de partida en pilas o montones (sistemas abiertos) en caso de usar reactores este tiempo disminuye considerablemente por los factores que se mencionaran en el siguiente apartado.

I.3.7 Compost

El compost es el producto obtenido de la degradación y estabilización de la materia orgánica. Tiene una amplia variedad de aplicaciones, las cuales dependerán del tamaño que tienen las partículas que lo conforman.

Tabla 3: Usos del compost.

| Fracción | Diámetro de las partículas(mm) | Aplicaciones del compost |
|-----------------|--------------------------------|--|
| Compost fino | <12 | Abono, mejoramiento del suelo. |
| Compost mediano | 12-25 | Abono, mejoramiento del suelo, material de filtros biológicos. |

I. Introducción

| | | |
|----------------|-----|---|
| Compost grueso | >25 | Material de estructura para mejoramiento del suelo, material de cobertura de relleno sanitario, material de estructura para compostaje, material de relleno para trabajos de construcción o de arquitectura de paisaje. |
|----------------|-----|---|

1.3.8. Calidad del compost

Para determinar la calidad del compost se tienen en cuenta diversos factores, como por ejemplo: los laboratorios de análisis de suelos y foliares ofrecen como análisis del compost la digestión total ya que determina el contenido total de nutrimentos, el departamento de transportes (DOT) de los estados unidos utiliza el tamaño de las partículas como criterio principal, porque el compost es utilizado para bordes de carretera y zonas verdes [23], también se puede tomar en cuenta la inocuidad y la actividad microbiana como un criterio. [2]

Se llega a concluir que la calidad del compost viene determinada por la suma de diversas propiedades, características y del uso que se le vaya a dar al producto, y en todos los casos debe hablarse de:

Tabla 4: Calidad del compost. [2, 23]

| Propiedades | Parámetros | Informar sobre: |
|-------------|--------------------------------|--|
| Físicas | Densidad aparente | Transporte, manejo y aplicación |
| | Olor | Aceptación, higiene e impacto ambiental |
| | Humedad | Transporte y manejo |
| | Granulometría | Manejo, aceptación y efecto sobre el suelo |
| | Capacidad de retención de agua | Efecto sobre el suelo y ahorro de agua |
| | Contaminantes inertes | Aceptación e impacto ambiental |

I. Introducción

| | | |
|------------|---|---|
| Químicas | Contenido, estabilidad de la materia orgánica y nutrientes minerales Contaminantes, sales minerales y PH | Efecto sobre el suelo, vegetales y aceptación Salud, efecto sobre el suelo y vegetales e impacto ambiental |
| Biológicas | Patógenos Semillas de malas hiervas | Salud e impacto ambiental Efecto sobre el suelo y sobre la producción |

A parte de todo lo anterior con respecto a la calidad del compost, también se puede determinar la calidad desde dos perspectivas: legal y agronómica. Desde el punto de vista legal, se trata de garantizar que el producto puesto en el mercado cumple con las especificaciones de etiquetado en cuanto a su contenido total en diferentes parámetros que definen su valor comercial, así como de minimizar su impacto en el medio ambiente y la salud humana, animal y vegetal. Desde el punto de vista agronómico, interesa conocer la respuesta de las plantas a diferentes dosis de compost [24].

I.4. SISTEMAS DE COMPOSTAJE

I. Introducción

Los sistemas de compostaje tienen como finalidad facilitar el control y la optimización de los parámetros antes mencionados, para obtener un producto con la suficiente calidad, los factores que determinan el tipo de sistema que se va a utilizar son el acortamiento de tiempo del proceso, seguridad de la planta de tratamiento y disminución del espacio y energía. Existen dos tipos de sistemas [12]:

1.4.1. Sistemas abiertos

Es el tipo de compostaje más tradicional y económico, los compuestos a compostar se disponen en montones o pilas (que pueden estar al aire libre o en naves), cubiertos con pasto, hojas de plantas de banano o materiales similares para evitar el problema de los olores y una vez por semana se deben mezclar las pilas para airear y homogeneizar el material. La aireación de la masa fermentable puede realizarse de tres maneras diferentes en pilas estáticas con aireación natural, pilas por volteo y pilas estáticas con aireación forzada. Esta última es la más ventajosa ya que permite un mejor control del nivel de oxígeno, humedad y temperatura. [12, 19, 20]



Figura 12: Pilas de compostaje. [21]

1.4.1.1 Pilas estáticas con aireación natural:

La altura de la pila no debe superar los 1.5 m. y como no se debe mover durante todo el proceso de compostaje, cada pila debe cumplir con la masa crítica mínima que se encuentra entre 50-100 Kg. para que tenga una buena ventilación.

1.4.1.2. Pilas estáticas con aireación forzada:

La pila de fermentación es estática con un sistema mecánico de ventilación por tuberías perforadas y una altura de la pila que se encuentra entre 2.5 y 3 m. La ventilación puede realizarse por succión o inyección de aire, en el caso de que sea por succión (método Beltsville) el flujo de aire es alrededor de $0.2 \text{ m}^3/\text{min}$

I. Introducción

1.4.1.3. Pilas por volteo:

Las pilas pueden llegar hasta los 2.5 m. y la frecuencia del volteo depende del tipo de material de partida, humedad y la velocidad con la que se quiere que se realice el proceso, este volteo se puede realizar de manera mecánica con palas o automática usando volteadoras.

1.4.2. Sistemas cerrados

Normalmente se usa para compostar residuos en las proximidades de ciudades medianas o grandes. La fase inicial de fermentación se realiza en reactores que pueden ser horizontales o verticales y la fase de maduración se realiza al aire libre o en naves abiertas. Este tipo de sistemas son más costosos y mejores que el anterior sistema debido a que son más rápidos requiere menos espacio, logra un mejor control de los parámetros de fermentación y controla los malos olores. Entre sus desventajas se puede mencionar el elevado coste de inversión, son sistemas susceptibles a daños mecánicos y solo son capaces de compostar residuos sólidos anteriormente separados ya que el alto contenido de materiales foráneos (de la basura mezclada) causaría daños al equipo. [12, 19, 20]

Todos los reactores disponen de un sistema de depuración de olores mediante biofiltro de compost y una recirculación de los lixiviados.

1.4.2.1. Reactores de circulares:

Es una variante de los reactores verticales con unas dimensiones de 6 y 36 m. de diámetro y una altura de 2 a 3 metros.

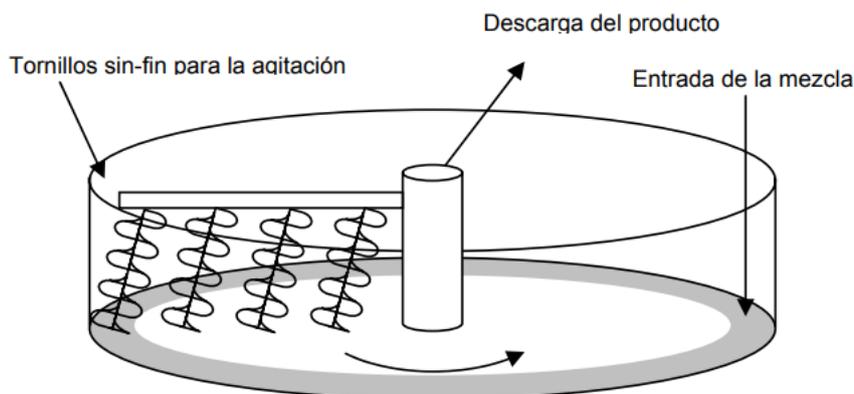


Figura 13: Reactor circular de lecho agitado. [20]

I. Introducción

1.4.2.2. Reactores horizontales o de tambor:

Su principal función es separar la materia orgánica de la materia inerte a nivel particular es por ello que no se considera un verdadero reactor para compostar, ya que la materia a compostar solo dura entre 1 o 2 días dentro de este reactor lo que solo permite una iniciación del proceso.

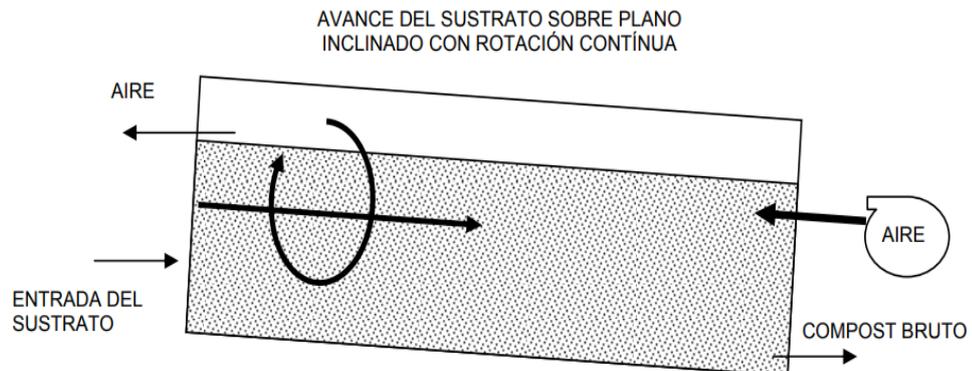


Figura 14: Bioestabilizador cilíndrico Danu [20]

1.4.2.3. Compostaje en túneles:

Es otro tipo de reactor horizontal el cual mantiene el material aislado del exterior en contenedores con un volumen de 20-70 m³, este sistema permite una mejor homogeneidad en las condiciones de la masa y el sistema de aireación permite un buen control de la temperatura, aire y humedad.



Figura 15: Túneles de compostaje. [22]

1.4.3. Vermicompostaje

I. Introducción

Es una biotecnología que ayuda y es una alternativa al compostaje, consiste en criar lombrices (generalmente la lombriz roja californiana) ya que estos animales ingieren grandes cantidades de materia orgánica descompuesta de la cual un 60% se excreta en sustancia llamada humus de lombriz o vermicompostado que constituye un sustrato ideal para los microorganismos.

El humus de lombriz es inodoro, no se pudre ni fermenta y su apariencia general es similar a la borra del café. En los análisis químicos realizados se detecta la presencia de hasta un 5% de nitrógeno, 5% de fósforo, 5% potasio, un 4% de calcio, una carga bacteriana de 2 billones por gramo y un pH entre 7 y 7.5, es decir, sirve de nutrientes directos para la tierra. [19]



Figura 16: Humus de lombriz

I.5. POBLACIÓN DE ESTUDIO

I. Introducción

La población en la que se pretende instalar la planta de compostaje es Alcoy, una ciudad que se encuentra en la provincia de Alicante al sureste de España que cuenta con 59.128 habitantes [3].



Figura 17: Puente Fernando Reig-Alcoy [10]

En el año 2021 se produjeron 23.735,269 Tn. de residuos, de los cuales un 14.753,220 Tn. corresponde con los residuos mezclados, es decir, residuos que se desechan en el contenedor gris. Aunque es importante destacar que debido a la implantación del contenedor marrón (en el año 2020) se recicla mucho más, ya que desde 2020 a 2021 la cantidad de materia orgánica recogida ha ido en aumento de 121,920 Tn. a 307,690 Tn. Teniendo en cuenta que según Ecoembes un 37 % de lo que se desecha en los hogares corresponde con materia orgánica se podrían recuperar alrededor de 5.458,691 Tn de materia orgánica de los contenedores grises. [25, 26, 27]

Según los datos mencionados, se tienen que tratar 5.766,381 t de materia orgánica por año de los cuales entorno a un 30% se transformará en compost, debido a que posee un alto contenido de humedad, además de tener cantidades considerables de carbono, nitrógeno y fósforo los cuales son mineralizables por los microorganismos dando como resultado la formación de compuestos húmicos debido a la pérdida de carbono en forma de anhídrido carbónico. [28, 29, 20]

II. OBJETIVO

II. Objetivos

II.1. OBJETIVO GENERAL

Incentivar la revalorización de los residuos con la posible implantación de una planta de compostaje en la ciudad de Alcoy. Para ello se deben utilizar la mayor cantidad de los residuos orgánicos compostables que se recogen en las 5.766,381 toneladas de materia orgánica, para obtener de forma estimativa 1.700 toneladas de compost al año, los cuáles serán vendidos para obtener un beneficio a lo largo de los años.

II.2. OBJETIVOS PARTICULARES

- Fomentar el reciclaje para que la cantidad de residuos que van a parar a vertederos disminuya.
- Dar a conocer que el compostaje es parte de los modelos económicos circulares, ya que el compost forma parte de la producción de las frutas, verduras y otros alimentos que luego son desechados y utilizados para el proceso del compostaje.
- Cumplir con parte de los objetivos que tiene la UE en relación con el tratamiento de los residuos orgánicos y los residuos en general.
- Diseñar y cuantificar el coste de las instalaciones de una planta de compostaje en la población mencionada anteriormente.
- Conocer la viabilidad económica de este proyecto.

II. Objetivos

II.3. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

El actual proyecto pretende trabajar sobre los siguientes objetivos:

- Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación. Tal como describe el propio objetivo, el actual proyecto ayudaría a mejorar el flujo de efectivo de su entorno ya que genera puestos de trabajo y beneficios.
- Objetivo 12: Producción y consumo responsables, ya que el proyecto fomenta el reciclaje de la materia, de manera que se consuman los mínimos recursos naturales vírgenes.
- Objetivo 13: Acción por el clima, debido a que casi toda la materia prima proviene de residuos y el producto obtenido se usa principalmente para la mejora del suelo.

III. DESARROLLO DEL PROYECTO

III. Desarrollo del proyecto

III.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

Se va a comenzar con una identificación breve de los procesos que se deben seguir para poder obtener compost a partir de los residuos urbanos, para ello se hará uso de un diagrama de flujo donde se verá el tipo de distribución que tendría la planta. Posteriormente se harán apartados donde se hablará con más detalle de los procesos mencionados junto con los tipos de máquinas necesarias. Cabe resaltar que todas las zonas del proceso de compostaje estarán dentro de naves industriales cubiertas, para tener mejor control sobre la humedad de las pilas, gases y lixiviados resultantes de las operaciones realizadas. Para tener una visión gráfica de la distribución de las zonas y áreas que conforman todo el proceso, se realizó un plano de distribución el cual se encuentra en el apéndice 3 (88)

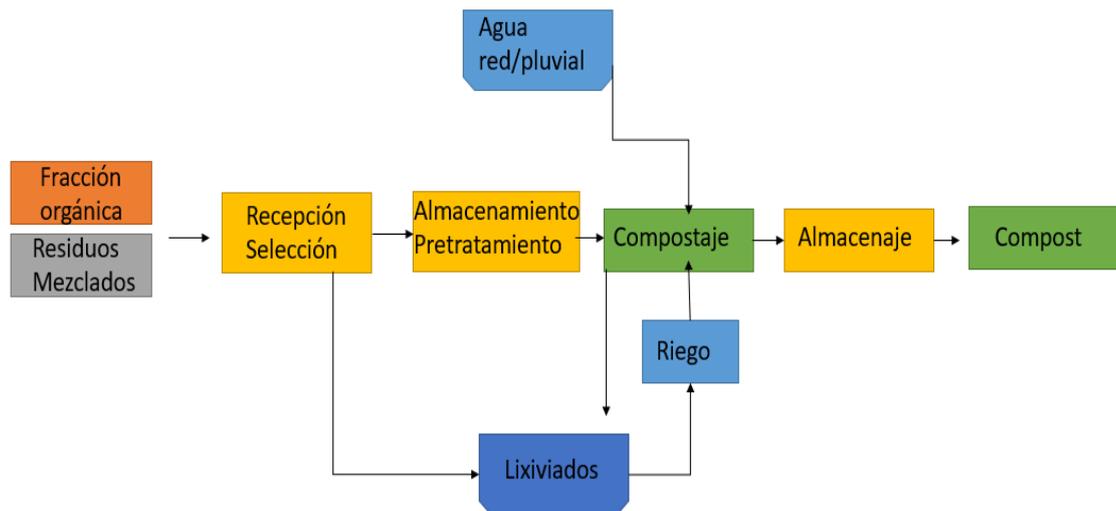


Figura 18: Diagrama de flujo planta de compostaje

Los residuos mezclados y la materia orgánica recogida selectivamente serán llevados por los camiones de basura hasta la zona de recepción, el cual contará con una solera pavimentada con cierta pendiente para poder captar todos los posibles lixiviados. Más adelante se pasará todos estos residuos a tratamientos mecánicos para separar la materia orgánica.

Posteriormente la fracción orgánica será llevada a almacenes, que al igual que la zona de recepción será una solera pavimentada. A partir de aquí se realizará un

III. Desarrollo del proyecto

pretratamiento para poder homogeneizar la materia orgánica compostable y reducir el tamaño de partículas para poder ponerlos en la zona de fermentación y finalmente terminar en la zona de almacenaje como compost, para su posterior venta.

Antes de proceder a explicar cada uno de los procesos, se realizará una caracterización de la materia prima que se va a utilizar en el proyecto. La materia orgánica de los RSU se divide en dos fracciones la orgánica (FO) y la vegetal (FV), los residuos que se tratan son las fracciones orgánicas ya que estos son los que se encuentran en los contenedores de las calles. En la **Tabla 5** se puede ver los compuestos que conforman cada una de las fracciones, así como sus características. [4]

Tabla 5: Clasificación materia orgánica.

| | Fracción Orgánica (FO) | Fracción vegetal (FV) |
|------------------------|--|---|
| Características | <ul style="list-style-type: none">-Densidad oscila entre 0,6 y 0,8 t/m³.-Humedad entre el 75 y 85% en peso-Relación C/N: 17-Se genera constantemente | <ul style="list-style-type: none">-Densidad oscila entre 0,3 y 0,4 t/m³. Si está triturada-Humedad entre el 20 y 40% en peso-Relación C/N: 32-Se genera estacionalmente |
| Composición | No es una fracción uniforme ya que está sujeta a los hábitos alimentarios y a los cambios estacionales. Está compuesto mayoritariamente por agua, hidratos de carbono, proteínas y grasas. | Restos vegetales de jardinería y poda de gran tamaño y leñoso. |

III. Desarrollo del proyecto

III.2. RECEPCIÓN Y SEPARACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA.

La zona destinada a la recepción de la materia prima contará con una báscula de sobreesuelo metálica de 14 x 3 m con una capacidad de 60 t y un error máximo de 20 kg, para poder cuantificar la cantidad de residuos que llegan a la planta (junto con los camiones). Teniendo en cuenta que se deberían tratar alrededor de 0,842 t de residuos del contenedor marrón y 40,419 t de residuos mezclados por día, es decir la planta tendría que tratar de media 41,261 t/día de residuos, asumiendo que la planta trabajará todos los días del año.



Figura 19: Báscula de sobreesuelo con rampa. [30]

Una vez la planta reciba los residuos, estos son llevados a almacenes temporales en forma de “playas de residuos” que debe ser una loza preferentemente de hormigón con una ligera inclinación para captar los posibles lixiviados, cabe resaltar que se escogió este tipo de almacén por los costes económicos y porque el volumen a tratar no es elevado [21].

III.2.1. Área del almacén temporal

Teniendo en cuenta que gran parte de los RSU es materia orgánica, la densidad de los residuos será de $0,7 t/m^3$ [4]. Conocida la densidad y cantidad de residuos que se deben recepcionar al día (42 toneladas) se sabe que el volumen que ocuparía los residuos

III. Desarrollo del proyecto

en 1 día es de $60 m^3$, teniendo en cuenta que estos residuos deben ser tratados a la mayor brevedad posible se dimensionará el almacén con una capacidad de 5 días, para evitar posibles inconvenientes. Tomando una altura próxima a 2 m el área del almacén es de $150 m^2$.



Figura 20: Playa de residuos. [31]

Se debe evitar mezclar los residuos orgánicos de los residuos del contenedor gris, para poder facilitar el triaje. Posteriormente todos los residuos son sometidos a tratamientos mecánicos, para poder separar la materia orgánica compostable.

Antes de explicar los procesos mecánicos, se determinará el flujo de entrada teniendo en cuenta que al tratarse de cantidades pequeñas de residuos (comparados con otras plantas de tratamiento de residuos) la planta operará 8 h/día, lo que proporcionaría un flujo de entrada de 5.250 kg/h .

III.2.2. Triaje manual

Los residuos son llevados desde el almacén temporal a un alimentador de goma (cinta transportadora) con la ayuda de una pala cargadora, donde pasaran por un triaje primario que consistirá en eliminar los materiales voluminosos que se encuentren tales como posibles cadáveres de animales, cartones, vidrios de gran tamaño y cualquier tipo de material que pueda dañar el siguiente triaje.

III. Desarrollo del proyecto



Figura 21: Triaje primario. [21]

III.2.3. Triaje automático

Posteriormente los residuos pasaran por una cinta de goma inclinada, para ser llevados a un trómel con pinchos para abrir las bolsas y separar la fracción orgánica, este trómel consiste en un cilindro de 1,9 m. de diámetro con mallas a tres niveles y de diferente calibre, 7,5 m. de longitud y una capacidad máxima de 8,5 t/h. Su disposición será con una pequeña inclinación para favorecer el avance y salida de los materiales, al finalizar se dispondrá de dos cintas diferenciadas, una para la fracción orgánica (fracción más fina) que se encontrará debajo del trómel y otra para el resto de las fracciones.



Figura 22: Trómel de triaje [32]

Las fracciones no orgánicas pasan por un segundo triaje manual (traje secundario) para separar los plásticos, aluminio u otro tipo de materiales que se puedan reciclar y lo demás se irá a la zona de rechazo que acabará en vertederos. No es necesario poner otro tipo de maquinaria como separadores magnéticos (electroimán) o separadores de inducción para poder separar los plásticos y los metales, debido a que se está tratando

III. Desarrollo del proyecto

volúmenes de residuos muy pequeños y esto solo encarecería drásticamente el precio final de la planta de compostaje.

Por otra parte, la cinta de fracción orgánica contará con un separador magnético de 1700mm x 750mm encargado de retirar todos los elementos férricos. Para poder facilitar los cálculos y sobredimensionar el área de almacenamiento necesario, se supondrá que la eficiencia de las separaciones es del 98% y que existe muy poca materia orgánica no compostable como el pescado, carne y trozos de plástico, por tanto, la cantidad de materia orgánica a tratar es de 5.651,053 t/año. (15,482 t/ día)

III. Desarrollo del proyecto

III.3. ALMACEN Y PRETRATAMIENTO

Finalmente, la cinta llevara la fracción orgánica hacia una solera pavimentada con hormigón el cual cuenta con una inclinación del 2% para recoger todos los lixiviados, la forma de almacenar la materia se asemeja a una pirámide debido que en el momento de que la cinta deje caer los residuos la parte que tiene contacto con el suelo es más ancha que las sucesivas capas superiores [33]. Para poder calcular el área de almacenaje, se debe tener en cuenta que el proceso de fermentación tiene una duración próxima de 35 días [12, 20], es decir, que no se podrá poner más materia prima hasta que pasen 35 días (5 semanas) desde que se ponen las pilas en la zona de descomposición.

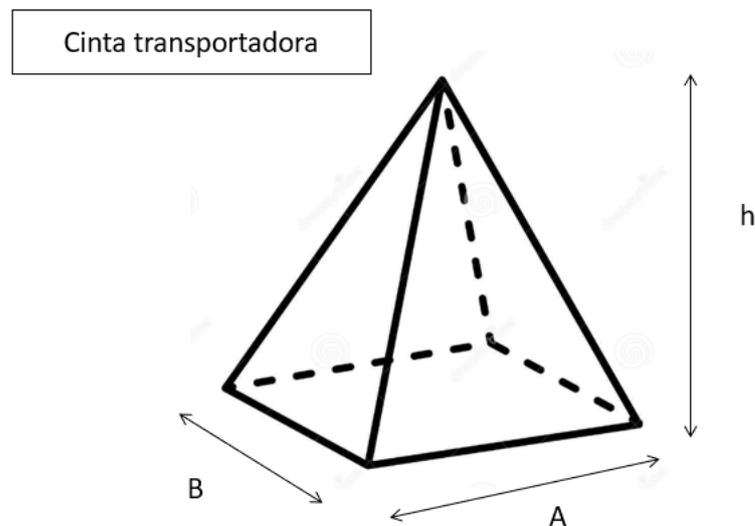


Figura 23: Pirámide de residuos.

III.3.1. Cálculo de la altura de la cinta transportadora

La altura de la pirámide de residuos orgánicos dependerá del ángulo y de la longitud de la cinta. La cinta utilizada tiene una longitud de 8 m y una inclinación máxima de 33° , por tanto, se puede calcular la altura usando la siguiente formula: [34, 32]

$$h = L \operatorname{sen}(\theta)$$

III. Desarrollo del proyecto

Donde:

h = Altura de la cinta

L = Longitud de la cinta

θ = Angulo de inclinación de la cinta

$$h = L \operatorname{sen}(\theta) = 8 \operatorname{sen}(30^\circ) = 4 \text{ m.}$$

Se escogió un ángulo de inclinación inferior a la capacidad que tiene la cinta, para evitar el funcionamiento en condiciones límite

III.3.2. Calculo área de almacenaje

La cantidad de materia orgánica a tratar durante los 35 días corresponde con 541.890,702 kg, conocido este valor y teniendo en cuenta la densidad de la materia orgánica ($700\text{kg}/\text{m}^3$) [4] el volumen que ocuparía los residuos (en los 35 días) es de $774,129 \text{ m}^3$, por tanto, el área de almacén ya se puede calcular con la formula del volumen de una pirámide:

$$V = \frac{A B h}{3}$$

Donde:

V = Volumen del cono

A = Largo(m)

B = Ancho(m)

h = Alto(m)

$$A B = \frac{3 V}{h} = 580,59 \text{ m}^2$$

El valor del largo y ancho de la pirámide será de 24,095 m.

III. Desarrollo del proyecto

III.3.3. Zona de pretratamiento

Una pala transportadora tomará los residuos del almacén y los irá suministrando a una maquina trituradora para homogeneizar la mezcla y reducir el tamaño de la materia favoreciendo a una mayor eficiencia en los procesos de fermentación. La velocidad de descomposición aumenta al triturar los residuos, pero también se debe tener en cuenta que un pequeño tamaño de materia reduce el espacio entre las mismas (reduce la porosidad) lo cual limita la difusión del aire por todas las zonas de la pila. Por todo esto las dimensiones optimas de la materia se encuentran en un rango de 2,5 y 4,5 cm. [17]

Debido a que la fracción orgánica tiene un alto contenido de humedad (75-85 %) y una relación C/N baja (17) [4], se debe hacer la mezcla con algún tipo de fracción vegetal (material estructurante) como el aserrín y viruta que son residuos de la industria forestal ya que estos tienen una relación C/N mayor a 100, son ricos en carbono de lenta descomposición (celulosa y lignina) y absorben el exceso de agua. [35]

La relación C/N debe encontrarse entre 30 y 40 durante la fermentación, una relación por encima de este rango provocará una fermentación lenta (debido a la alta concentración de carbono), temperaturas por debajo de la fase termófila y se perderá el exceso de carbono en forma de CO₂. Por el contrario, si está relación es baja el exceso de nitrógeno se perderá en forma de amoníaco. Respecto a la humedad debe mantenerse entorno al 50% [36]

III. Desarrollo del proyecto



Figura 24: Maquina trituradora. [37]

Una vez los materiales han sido triturados y mezclados comienza la fase de latencia y crecimiento, en la que los microorganismos se aclimatan a su nuevo medio y comienzan a multiplicarse. Esta fase dura entre 2 y 4 días, al finalizar se alcanzan temperaturas de 50° C. [36]

III. Desarrollo del proyecto

III.4. ETAPA DE DESCOMPOSICIÓN

El material ya homogeneizado se dispone en forma de pilas sobre la zona de fermentación formado por un rectángulo de hormigón con una inclinación del 2 %. La aireación, humidificación y mezcla de las pilas de compostaje se realizará de forma mecánica con una maquina volteadora la cual cuenta con un sistema de riego, se escogió este tipo de sistema ya que además de ser uno de los más económicos es bastante competente.



Figura 25: Maquina volteadora con sistema de riego. [38]

La fermentación tiene una duración de 5 semanas [12], en los cuales se producen dióxido de carbono, agua y se desprende calor debido a la biooxidación producida por los microorganismos [20]. Los lixiviados resultantes de la humedad propia y de los riegos que se suministran a los almiarés (pilas de compostaje) escurren por el pavimento gracias a la pendiente, pasan a través de las arquetas con rejilla desde donde son canalizados hasta llegar al pozo de lixiviados, cabe resaltar que los lixiviados de las pilas de compostaje se almacenan en un depósito diferente a los lixiviados de las zonas de almacenaje temporal y almacenamiento, para luego poder reutilizarlos [36, 39].

III.4.1. Cálculo del área de compostaje

Para poder conocer las dimensiones del área de degradación, se debe tener en cuenta la capacidad de la maquina volteadora ya que a partir de esta se dimensionarán las pilas de compostaje y también se conocerá el espacio circundante para el movimiento

III. Desarrollo del proyecto

de la máquina. La máquina que se va a utilizar es ideal para plantas pequeñas con una capacidad de mover pilas de 2.5 m. de ancho y 1.2 m. de alto.



Figura 26: Máquina volteadora. [38]

Conocido el ancho y alto de la pila, se debe calcular el volumen por metro lineal que se tiene. Para ello se utiliza la fórmula del volumen de un prisma triangular

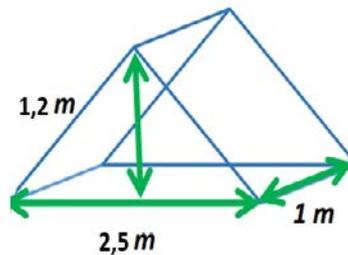


Figura 27: Volumen por metro lineal.

$$V = \frac{1}{2} b h L = 1,5 m^3$$

Donde:

$b = base$

$h = altura$

$L = longitud$

Como ya se conoce el volumen que se debe tratar en los 35 días (5 semanas), la longitud de una única fila será la relación entre el volumen a tratar (774,12 m³) y el volumen por metro lineal obtenido.

III. Desarrollo del proyecto

$$\frac{V_{\text{residuos en 5 semanas}}}{V_{\text{por metro lineal}}} = 516,08 \text{ m}$$

Esta longitud de pila total se dividirá en filas de 3, 6, 9, 12, 15, 18 y 21, con el objetivo de conocer la distribución de filas que ocupe el menor espacio ya que este será el área óptimo de compostaje. Para poder calcular el área total de compostaje (zona rectangular) se diferenciarán dos longitudes:

III.4.1.1. Longitud horizontal (L_h)

En el momento de calcular esta longitud, se debe tener en cuenta: el ancho que ocupa el número de filas (se tendrá en cuenta el sobredimensionamiento de una fila más), el espacio que se deja entre las pilas es de 1,8 m debido a que es el espacio que la máquina volteadora necesita y que la distancia entre las pilas y las aristas que formara el área total del rectángulo será de 4,5 m, porque es el espacio que necesitaría la máquina volteadora junto con el tractor que lo impulsa. Todos estos factores se encuentran resumidos en la siguiente ecuación.

$$L_h = d * 2 + ap * n + ep * 1,8$$

Donde:

d = Distancia entre las aristas del rectángulo y las pilas (4,5 m)

ap = Ancho de las pilas (2,5 m cada una)

n = Número de filas

ep = Espacio entre filas (1,8 m)

III.4.1.2. Longitud vertical (L_v)

En el momento de calcular esta longitud, se debe tener en cuenta: la longitud de pila que deje las diferentes configuraciones de pilas (se tendrá en cuenta el sobredimensionamiento de una fila más) y que la distancia entre las pilas y las aristas que formara el área total del rectángulo será de 4,5 m, porque es el espacio que necesitaría la máquina volteadora junto con el tractor que lo impulsa. Al igual que en el subapartado anterior, todos estos factores están resumidos en una ecuación.

$$L_v = d * 2 + l/n$$

Donde:

III. Desarrollo del proyecto

$l =$ Longitud total de una unica fila (516,08 m)

Todos los valores de área total obtenido con los diferentes números de filas se encuentran resumidas en la **Tabla 6**, con el objetivo de que se pueda apreciar con mayor facilidad. Posteriormente en la **Figura 28** se puede apreciar un diagrama donde se ve la distribución que tendría el área de compostaje más óptimo.

Tabla 6: Calculo área óptimo de compostaje

| N.º De filas | Longitud por cada fila (m) | Longitud horizontal (m) | Longitud vertical (m) | Área total (m2) |
|--------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|
| 4 | 129,045 | 24,400 | 138,045 | 3368,29 |
| 7 | 73,740 | 31,900 | 82,740 | 2639,40 |
| 10 | 51,618 | 39,400 | 60,618 | 2388,34 |
| 13 | 39,706 | 46,900 | 48,706 | 2284,31 |
| 16 | 32,261 | 54,400 | 41,261 | 2244,61 |
| 19 | 27,167 | 61,900 | 36,167 | 2238,76 |
| 22 | 23,463 | 69,400 | 32,463 | 2252,91 |

III. Desarrollo del proyecto

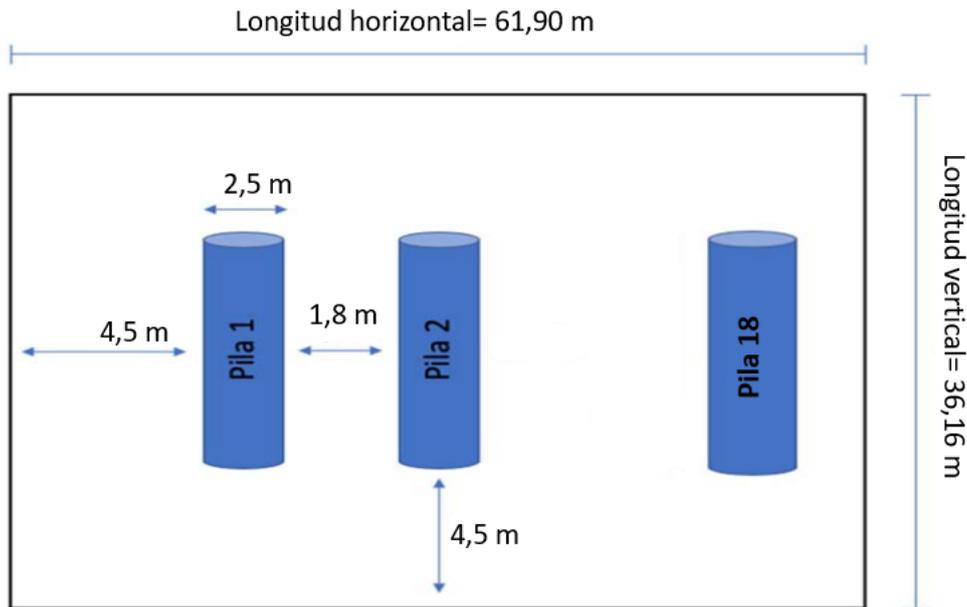


Figura 28: Dimensiones del área óptimo de compostaje

III.4.2. Control de parámetros

El control del oxígeno, temperatura y humedad se realizarán mediante sondas manuales, de manera que la cantidad de oxígeno se mantenga entorno al 15% del peso de la materia húmeda, la temperatura entre los 60 y 70 ° C y la humedad entre el 50 y 60 % [17]. Para poder mantener estos parámetros dentro de los rangos mencionados, se realizarán volteos una vez por semana y/o cuando se vea necesario.



Figura 29: Termómetro para las pilas. [40]

Se colocará un termómetro por cada fila y se dejará en esa posición durante todo el proceso, ya que está compuesta de acero inoxidable resistente a las condiciones de trabajo [40], además se realizará la medición de la humedad y temperatura por lo menos

III. Desarrollo del proyecto

dos veces al día usando otro medidor que tiene la capacidad de medir rangos de -40-200 °C y 0-100 % de humedad [41]. Con respecto a la concentración de oxígeno se usará un medidor de oxígeno disuelto con un rango de medición de 0-200 % que puede trabajar entre 0-100 °C. [42]



Figura 30: Medidor de oxígeno. [42]



Figura 31: Medidor de temperatura y humedad. [41]

Por otra parte, también existe la posibilidad de realizar riegos periódicos con los líquidos recogidos (lixiviados) de las pilas de compostaje, a través de una cisterna con bombeo de presión [39]. Estos riegos periódicos con los lixiviados solo se realizan en la zona de descomposición y no en la zona de maduración donde es recomendable usar agua limpia [18]

III. Desarrollo del proyecto

III.4.3. Diseño de una balsa de lixiviados

Los lixiviados son el líquido resultante del proceso de recepción, almacenaje, fermentación y maduración de la materia orgánica. Todas las zonas del proceso de compostaje (recepción, almacenaje,...), contará con un techado para que en el momento de calcular el volumen de la balsa solo se tengan en cuenta la humedad debida a la propia materia de partida y a los riegos efectuados.

Se calculará el volumen para dos balsas de lixiviados, una para las zonas de recepción y almacenaje y la otra para las zonas de fermentación y maduración con el objetivo de que se pueda reutilizar el agua recogida en la última balsa, debido a que será la menos contaminada. Para calcular el volumen de las balsas se usará la siguiente ecuación [18]:

$$V_{balsa} = \frac{Q_{fo} t_1 0,05 1,3}{52}$$

Donde:

Q_{fo} = Cantidad de materia orgánica (t/año)

$t_1: t_2$ = Tiempo que dura los procesos (semanas)

0,05 = Cantidad de lixiviado generado por tonelada (m^3/t)

1,3 = Factor de seguridad

52 = Factor de conversión (semanas/año)

III.4.3.1. Volumen balsa zonas de recepción y almacenaje

Esta fórmula no abarca la zona de recepción, ya que en esta zona se tienen una mezcla de residuos. Pero, debido a que gran parte de la humedad de los residuos del contenedor gris es debido a la materia orgánica se podrá usar la fórmula también para esta zona. Por tanto, la cantidad de materia orgánica a tratar es de 5.766,381 t/año y que el tiempo próximo que duran los dos procesos es de 6 semanas

$$V_{balsa} = \frac{5.651,053 \cdot 6 \cdot 0,05 \cdot 1,3}{52} = 42,382 \text{ m}^3$$

III. Desarrollo del proyecto

III.4.3.2. Volumen balsa zonas de fermentación y maduración

La cantidad de materia orgánica a tratar es igual a la del subapartado anterior, y el tiempo próximo de los procesos es de 13 semanas. Teniendo en cuenta que en la zona de maduración se generarán menos lixiviados que en la zona de fermentación.

$$V_{balsa} = \frac{5.651,053 \cdot 13 \cdot 0,05 \cdot 1,3}{52} = 91,829 \text{ m}^3$$

Suponiendo una altura próxima a 2 m para cada balsa el área total que ocuparían las dos balsas sería de $67,10 \text{ m}^2$.

El tratamiento propuesto para los lixiviados se encuentra dentro del apartado de "Impacto ambiental" (63). Para poder tratarlos se necesita de una bomba que transporte el líquido hasta la zona de tratamiento, para la elección de la bomba se debe tener en cuenta que el tratamiento se realizará cada 6 semanas (tiempo próximo que tarda en llenar la balsa de lixiviado más pequeña), por tanto, el volumen de las dos balsas a tratar cada seis semanas es de $52,877 \text{ m}^3$. ($1,261 \text{ m}^3/\text{día}$)

La bomba seleccionada está compuesta por acero inoxidable 304 sumergible en pozos y tiene una capacidad máxima de $2,10 \text{ m}^3/\text{h}$ [43]. Es decir, que la bomba funcionará en torno a 1 hora cada seis semanas.



Figura 32: Bomba sumergible. [43]

III. Desarrollo del proyecto

III.5. ETAPA DE MADURACIÓN

Una vez terminé la fase de estabilización de la materia orgánica, se inicia la verdadera síntesis del compost, donde los microorganismos termófilos disminuyen su actividad y aparecen los hongos. En esta etapa las temperaturas decaen y los almiarés se trasladan a la zona de maduración con el mismo tipo de disposición que en la zona de descomposición, es decir, que a pesar de que después de la etapa de descomposición se tenga menor cantidad de materia orgánica que al principio el área de la zona de maduración será igual al área de la zona de descomposición con el objetivo de poder poner más pilas, ya que puede que en algunos casos el tiempo de maduración dure más de lo previsto. En esta etapa se sintetizan coloides húmicos, hormonas, vitaminas, antibióticos y otros compuestos que favorecen el desarrollo vegetal [36].



Figura 33: Diferencia material estabilizado y compost. [31]

Existe muy poca degradación orgánica, por lo que no hay un consumo elevado de oxígeno ni liberación de energía. La temperatura debe mantenerse alrededor de los 25°C y la cantidad de oxígeno igual a las del medio, aunque debe evitarse que las temperaturas se eleven demasiado (ralentizarían y/o inhibirían la actividad microbiana) y se debe mantener una humedad entorno al 40% [18].

Para poder controlar estos parámetros se mide la temperatura, el oxígeno y la humedad mediante sondas manuales (igual que en la zona de descomposición), la aireación y humidificación se realiza con la maquina volteadora cada 15 días y/o cuando sea necesario [39]. El tiempo que dura esta etapa dependerá del valor de las características físicas y químicas de la **Tabla 7**, pero al tratarse de material de alta biodegradabilidad y para garantizar la síntesis de un buen producto suele ser próximo

III. Desarrollo del proyecto

a los dos meses. [18] Los métodos para medir los parámetros de la **Tabla 7** se encuentran en el apéndice 1 (82)

Tabla 7: Parámetros de control de calidad del producto final.

| característica | Valor |
|-----------------------|--------------|
| Olor | Inoloro |
| Humedad (%) | 35-40 |
| pH | 7-8 |
| Relación C/N | 8-10 |
| Ácidos húmicos (%m/m) | 18-19 |

III. Desarrollo del proyecto

III.6. POSTRATAMIENTO Y ALMACENAMIENTO

Pasada la etapa de maduración, el compost pasa a la maquina cribadora provista de un trómel con mallas intercambiables para poder separar el compost en diámetros inferiores o iguales a 25 mm. Alrededor de un 15% de todo que entra en la maquina resultan ser elementos gruesos de rechazos (compuesto por los materiales estructurantes usados en el pretratamiento y otras materias gruesas mayores a 25 mm) [18], los cuales se vuelven a incorporar a la fase termófila ya que es un material rico en microorganismos [36]. Para poder realizar la fase de cribado se utilizará un trómel igual al de la zona de triaje automático, incluso se podría llegar a utilizar el mismo trómel, debido a su "simple" transportabilidad gracias a las ruedas que tiene incorporadas, además de tener la posibilidad cambiar los diámetros de las mallas con cierta facilidad.



Figura 34: Ejemplo de rechazo de una maquina cribadora. [31]

Se puede hacer una aproximación de la cantidad de compost obtenido, ya que se sabe que la cantidad de materia orgánica tratada cada 4 meses (tiempo próximo que dura los procesos de descomposición, maduración y postratamiento) es de 1.883,684 toneladas, de los cuales se obtiene en torno a 565,105 toneladas de compost (ya que tal como se comentó en la introducción entorno al 30% de la materia inicial se vuelve compost). Conocido este valor la maquina ensacadora debe ser capaz de tratar 141,276 t/mes de compost el cual se etiquetará con la información de la **Tabla 7** junto con su diámetro para posteriormente pasar al almacén. La máquina seleccionada para este fin tiene la capacidad de empaquetar 6 sacos de 50 litros por minuto.

III. Desarrollo del proyecto



Figura 35: Máquina ensacadora. [43]

Teniendo en cuenta el formato del producto en el mercado, el compost se ensacará en envases de 20 kg (50 litros aproximadamente) [44, 45, 46]

III.6.1. Almacenamiento del compost

Se necesita un tiempo mínimo de almacenamiento para dar respuesta a la estacionalidad de la demanda, las emergencias logísticas y trazabilidad del producto. Por ello es recomendable que la capacidad de almacenamiento sea de dos meses como mínimo [18], teniendo en cuenta que se generan 282,552 toneladas de compost cada dos meses, el cual ensacado ocuparía en torno a $706,38 \text{ m}^3$ y suponiendo una altura próxima de 2,5 m. El área del almacén que estará cubierto y con buena ventilación es de $282,55 \text{ m}^2$.

III. Desarrollo del proyecto

III.7. SELECCIÓN DEL TERRENO

Se seleccionará el emplazamiento teniendo en cuenta el área que necesitan los procesos antes mencionados, el impacto ambiental y las posibles molestias que se podría causar a los núcleos habitados más próximos a la instalación (tales como malos olores y ruidos)

Tabla 8: Área de los procesos de compostaje.

| Zona de: | Área necesaria (m^2) |
|--------------------------------------|--------------------------|
| Almacén temporal de residuos urbanos | 150 |
| Almacén de residuos orgánicos | 580,59 |
| Descomposición | 2.238,76 |
| Maduración | 2.238,76 |
| Balsas de lixiviados | 67,10 |
| Almacén de compost | 282,55 |
| Área total (m^2) | 5.557,76 |

III.7.1. Vías de acceso (impacto del tráfico)

Es uno de los factores que pueden afectar significativamente al correcto funcionamiento de la planta, además ayuda a evitar molestias a los vecinos. Por ello, se debe considerar la capacidad de la vía para vehículos de gran tonelaje y si la vía atraviesa poblaciones.

III.7.2. Emplazamiento idóneo

Se debe instalar la planta alejada de: los núcleos habitados (500 m como mínimo), los sauces de los ríos, zonas inundables y zonas con freático muy superficiales [18]. Teniendo en cuenta todos los aspectos mencionados, la planta debería situarse entre Alcoy y Cocentaina, debido a que en estas zonas existe la posibilidad tratar las fracciones orgánicas que se generen en Cocentaina y/o pueblos cercanos que no generen muchos residuos, además de disponer de plantas depuradoras para poder tratar los lixiviados

III. Desarrollo del proyecto

después de que estos hayan sido sometidos al proceso biológico que se comentará en subapartados siguientes. El precio por metro cuadrado sería en torno a 28,846 euros [47]

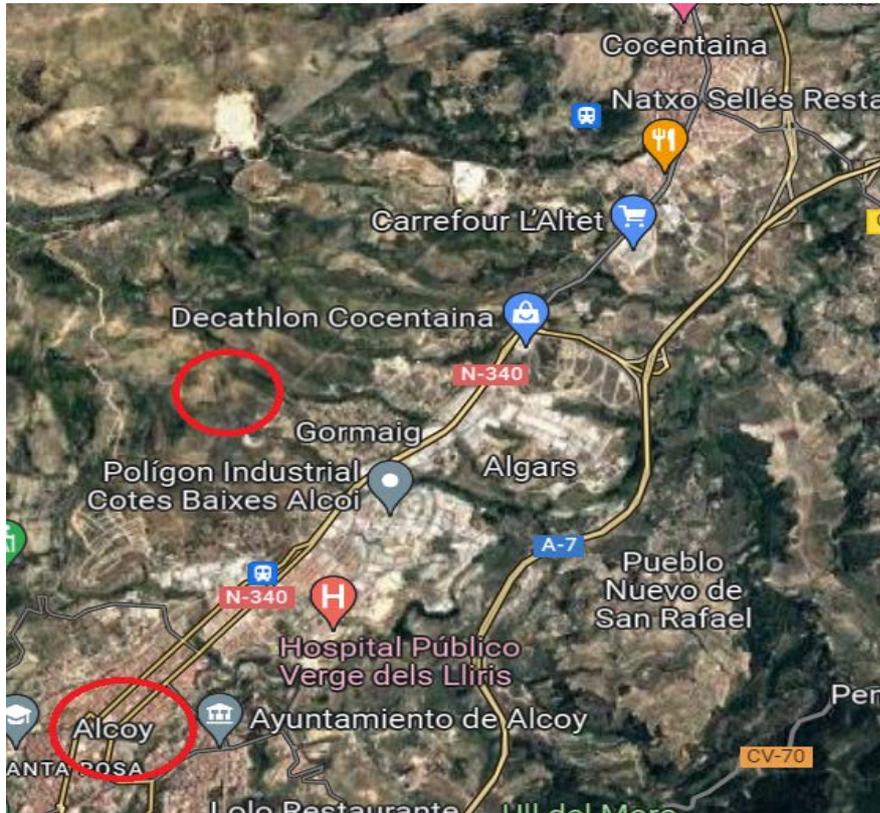


Figura 36: Terreno seleccionado. [48]

En el emplazamiento seleccionado es donde se montará la nave industrial similar a la Figura 37.

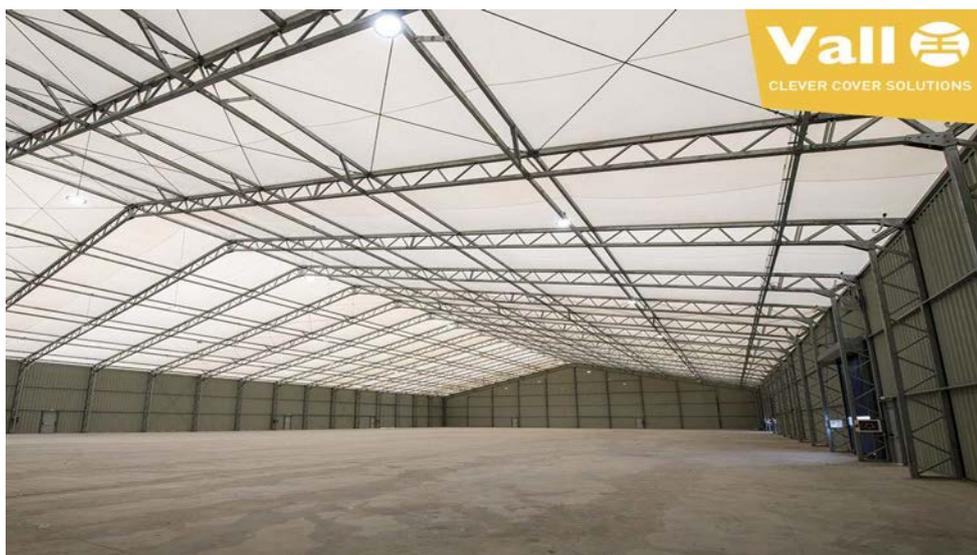


Figura 37: Nave industrial. [50]

III. Desarrollo del proyecto

III.8. IMPACTO AMBIENTAL

Durante todo el proceso de compostaje se generan nuevas células, dióxido de carbono, lixiviados, amoníaco, sulfatos y ácido sulfhídrico (en caso de que se pase por una degradación anaerobia, el cual es un proceso llamado biometanización). [49] Para controlar estos subproductos generados se utilizarán los siguientes tratamientos.

III.8.1. Tratamiento de gases

Los parámetros que se deben controlar para tener una menor cantidad de gases durante los procesos son principalmente la relación C/N, humedad y la concentración de oxígeno. Es evidente que a pesar del control exhaustivo de estos parámetros siempre se generarán gases que generan olores (formado por compuestos orgánicos volátiles como los terpenos, alcoholes, cetonas, aminas y el amoníaco) y gases que contribuyen al efecto invernadero como el metano, óxido nitroso y dióxido de carbono. [50]

Los gases generados serán tratados mediante un método biológico llamado biofiltración, donde los encargados de degradar los contaminantes son microorganismos. Por tanto, se necesita tener un control sobre la humedad, temperatura y la biomasa que generalmente está compuesto por los gases que se van a tratar y por una biomasa porosa que puede ser el compost. [18] [51]

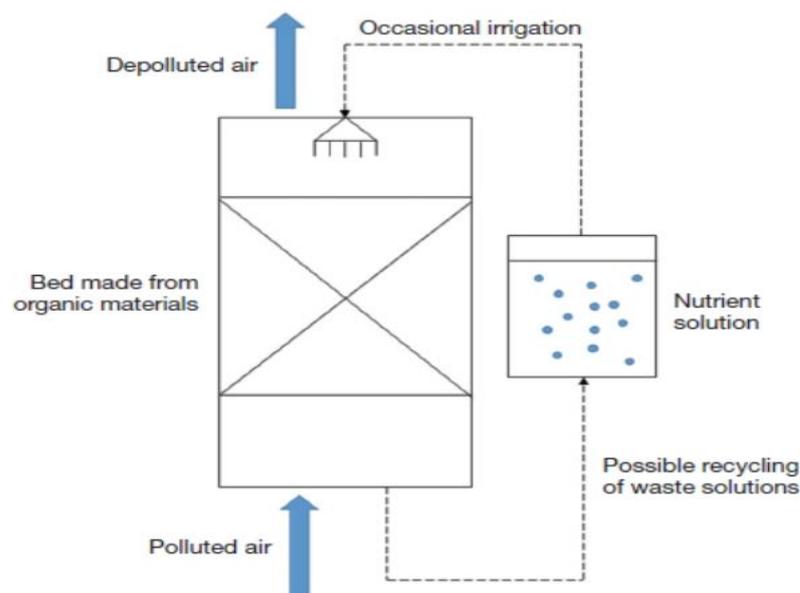


Figura 38: Esquema biofiltración. [52]

III. Desarrollo del proyecto

III.8.2. Tratamiento de lixiviados

Los tratamientos de lixiviados usados en las plantas de tratamientos, se centra en la depuración para reducir la concentración de contaminantes existentes en los mismos, para que estos estén por debajo de los límites fijados por normativa. Los tratamientos utilizados son mediante recirculación, evaporización forzada, tratamientos biológicos, tratamientos fisicoquímicos y tratamientos con membranas.



Figura 39: Balsa de lixiviados cubierta. [31]

Para poder tratar los lixiviados se necesitarán bombas, las cuales ayudaran a transportar los lixiviados a el tratamiento biológico de nitrificación- desnitrificación donde los compuestos nitrogenados son degradados biológicamente hasta nitrógeno molecular. Para poder asegurar un correcto tratamiento este método se puede combinar con membranas de ultrafiltración donde se lleva a cabo una separación de la biomasa del permeado. Se escogió un tratamiento biológico porque son los procesos más conocidos y con una muy buena relación coste-efectividad. [53] [54]

III.8.3. Normativa y acreditaciones

Se ha elaborado el real decreto sobre sustratos de cultivo que define y tipifica todos aquellos productos así denominados, con el fin de garantizar que los que se ponen en el mercado sean agrónomicamente eficaces y que eviten sus posibles efectos nocivos en el agua, el suelo, la flora, la fauna y el ser humano. Lo dispuesto en el presente real decreto tiene el carácter de normativa básica al amparo de lo establecido en el artículo 149.1. 13.^a, 16.^a y 23.^a de la Constitución, que reserva al Estado la competencia exclusiva

III. Desarrollo del proyecto

sobre bases y coordinación de la planificación general de la actividad económica, bases y coordinación general de la sanidad y legislación básica sobre protección del medio ambiente, respectivamente. Estas bases se establecen mediante real decreto debido al carácter marcadamente técnico de la materia a regular. [55]

Para que se pueda comercializar el producto, también debe cumplir con el Real Decreto 506/2013 sobre productos fertilizantes. [56] La normativa que se debe cumplir con respecto a los lixiviados es el Real Decreto 646/2020 el cual regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. [57]

Con respecto a las acreditaciones, la planta debería pasar auditorias para certificarse de la ISO 9001, el cual acredita que la empresa tiene una correcta gestión de calidad.

IV. ESTUDIO ECONÓMICO

IV.1. ADECUACIÓN DEL TERRENO

El área total de la planta según la **Tabla 8** es de $5.557,76 \text{ m}^2$, pero se adecuarán 6500 m^2 con el objetivo de evitar incidencias por falta de espacio, añadir posibles operaciones complementarias a lo largo del tiempo y también por la posibilidad de ampliar la planta.

El coste del allanamiento del terreno varía entre 8 y 20 €/m^2 en función del porcentaje de inclinación, dureza del suelo y servicios adicionales como tala de arboles o retirada de escombros [58]. Para evitar posibles incidencias de pago se supondrá un coste de 20 €/m^2 , por tanto, el coste de la adecuación del terreno es de 130.000 € . Por otro lado, el coste de adquisición del terreno sería de 187.499 € (teniendo en cuenta que el coste por metro cuadrado es de $28,846 \text{ €}$)

IV.1.1. Naves industriales

Tal como se comentó en apartados anteriores toda la planta de compostaje estará cubierta para descartar las posibles incidencias por lluvias y tener mejor control sobre los subproductos generados (gases y lixiviados), para poder lograr este fin se instalarán naves industriales. El precio varía entre 180 y 450 €/m^2 , el precio está condicionado principalmente por la estructura de la nave ya que puede ser metálica o de hormigón. Para el presente proyecto se instalarán naves industriales con estructura de hormigón porque su resistencia y durabilidad no varían por las condiciones climáticas, son buenos aislantes térmicos, tienen buena ventilación, requiere mínimas operaciones de mantenimiento y son fáciles de limpiar. [59, 60, 61]



Figura 40: Nave industrial. [59]

El precio de la nave industrial será de 2.795.000 € (tomando como referencia un precio de 430 €/m² ya que se evitaría el coste de nivelado), este precio incluye las licencias para construir, construcción de los cimientos, armaduras, columnas, cubierta, fachada, instalaciones eléctricas y fontanería básica.

IV.1.2. Impermeabilizar y pavimentado del suelo

Para asegurar que no haya contaminación del suelo, lo primero que se hace es impermeabilizar el terreno para ello se recubrirá por completo con polietileno de alta densidad (PEAD) de 2 mm de espesor de 1,805 gr/m² con resistencia a la perforación CBR (los ensayos CBR consisten en compactar un terreno según unos moldes normalizados) de 5,5 kN según Norma UNE-EN-ISO-12236. El coste de este proceso es de 4,59 €/m² [62], teniendo en cuenta que este proceso de impermeabilizado se realizará en las zonas de almacenamiento (sin contar la zona de almacenamiento de compost), descomposición, maduración y para las balsas de lixiviados. El área total es de 5.358,975 m², por tanto, el precio total del impermeabilizado es de 24.597,695 €.

Posterior a este proceso se procederá al pavimentado, el cual tiene un precio de 24 €/m² [63]. Todo el terreno será pavimentado lo cual tiene un precio de 156.000 €.

IV.2. COSTES MAQUINARIA

El coste total de la maquinaria es de 343.364,55 euros, es de vital importancia dar a conocer que se comprarán 36 termómetros para las 36 pilas que tendrá la planta (18 pilas en la zona de descomposición y 18 pilas en la zona de maduración), de esta manera se tiene un control continuo de la temperatura ya que tal como se comentó a lo largo del proyecto es uno de los parámetros que más afecta al proceso. En la **Tabla 9** se puede ver un resumen de toda la maquinaria necesaria junto con su precio y en el apéndice 2 (84) se encontrará las especificaciones de las maquinas. [66, 67, 44, 68, 43]

Tabla 9: Coste total maquinaria.

| Elemento | Unidades | Precio (€) |
|--|----------|------------|
| Báscula de pesaje de camiones | 1 | 31560 |
| Alimentador de goma 1500x4 | 1 | 16800 |
| Cinta de goma CGI 1200x5 | 1 | 17142,86 |
| Trómel de triaje | 1 | 46571,43 |
| Cinta de goma CG 800X8 | 1 | 15714,29 |
| Cinta de goma CG 800X5 | 2 | 17714,29 |
| Separador magnético | 1 | 21000 |
| Molino triturador de martillos M600 | 1 | 68857,14 |
| Cinta de goma CG 600X5 | 1 | 6785,71 |
| Maquina volteadora | 1 | 30296,12 |
| Tractor con pala | 1 | 8000 |
| Zonda manual para medir temperatura | 36 | 631,8 |
| Zonda manual para medir concentración de oxígeno | 3 | 2055,96 |

I.V. Estudio económico

| | | |
|---|---|-------------------|
| Zonda manual para medir humedad y temperatura | 3 | 1353 |
| Trómel de criba y afino | 1 | 37571,53 |
| Maquina ensacadora | 1 | 5023 |
| Bomba sumergible | 1 | 72,99 |
| Montaje y sintonización eléctrica | 1 | 10714,43 |
| Puesta de marcha y pruebas | 1 | 5000 |
| Formación a nivel usuario | 1 | 500 |
| Coste total (€) | | 343.364,55 |

IV.3. COSTES DE EQUIPAMIENTO AUXILIAR

I.V.3.1. Coste de láminas de plástico

Para poder recoger todos los lixiviados se usará una lámina de polietileno que cubrirá las zonas de almacenamiento, descomposición y maduración. Es decir, el área total cubierto con esta lámina es de $5.290,5 \text{ m}^2$, teniendo en cuenta que el coste de la lámina es de $1,12 \text{ €/m}^2$ [67] el coste será de $5.925,36 \text{ €}$.



Figura 41: Lámina de polietileno. [67]

I.V.3.2. Coste de mallado

Para poder delimitar todo el terreno se realizará un cercado con mallas metálicas de simple torsión porque es resistente, económico e ideal para emplazamientos grandes. La malla metálica tiene un precio de 35 €/m^2 [68], es decir, que el coste que supondría cercar todo el terreno es de 227.500 € .



Figura 42: Mallado de la planta. [68]

I.V. Estudio económico

I.V.3.3. Coste de personal

Para el correcto funcionamiento de la planta se necesitará un director técnico con la categoría de técnico diplomado, un encargado de planta que llevará el control continuo de la misma y se encargará de hacer cumplir las emanadas de la dirección técnica. Por último, se contará con 12 operarios los cuales realizarán los controles de los parámetros que afecten al proceso, volteo con la máquina, limpieza, triajes manuales y del proceso de empaquetamiento del producto.

Para la elección del número de trabajadores y de las cualificaciones que deben tener estos, se usó como referencia el pliego de condiciones de la planta de compostaje de Migas Calientes de Madrid porque el volumen de producción de compost que tiene es similar al que se desea obtener [39], además de tener en cuenta que se trata de una planta que no genera mucho producto. En la **Tabla 10** se puede observar el coste anual de cada uno de los trabajadores [69], junto con el coste total del personal teniendo en cuenta que se realizarán tres turnos de 8 horas cada uno.

Tabla 10: Coste anual personal.

| Personal | Salario anual (€) | N.º de personas | N.º de turnos | Coste anual total (€) |
|---------------------|-------------------|-----------------|---------------|-----------------------|
| Director técnico | 40.333,7 | 1 | 3 | 121.001,1 |
| Encargado de planta | 31.816,3 | 1 | 3 | 95.448,9 |
| Operarios | 22.112,5 | 12 | 36 | 796.050 |
| Coste total (€) | | | | 1.012.500 |

I.V.3.4. Coste de electricidad

Se realizará la iluminación de la planta con luces led, como regla general se recomienda una iluminación de 4 W por metro cuadrado [70]. Teniendo en cuenta que el área de la planta es de 6500 m² la potencia necesaria será de 26.000 W.

Para conocer la potencia eléctrica que se debe contratar se debe tener en cuenta la iluminación y la potencia de la maquinaria utilizada, ya que la potencia eléctrica

I.V. Estudio económico

determina la cantidad de aparatos que se pueden conectar de manera simultánea. Para conocer la potencia mínima contratada se utilizará la siguiente fórmula [71].

$$PC = P * 0,25 + 1 kW$$

Donde:

P = Es la sumatoria de las potencias de todos los elementos eléctricos (kW)

0,25 = Factor de simultaneidad

Utilizando la ecuación y teniendo en cuenta las potencias de las maquinarias e iluminación que se encuentran en la **Tabla 11**, la potencia mínima contratada debe ser de 16,815 kW. En la misma tabla se puede observar el coste anual de la luz, teniendo en cuenta la potencia de los motores de las maquinarias (las cuales se encuentran en las características mencionadas en el apéndice 2 (84)), tiempos estimados de funcionamiento de las maquinarias al día en base a que gran parte de ellas se usan en las zonas de recepción, triaje y pretratamiento. Y por último se determinó un precio de 0,246 €/kWh (precio medio de mayo de 2022). [72]

Tabla 11: Coste anual electricidad.

| Elemento | Potencia(kW) | h/día | Consumo kWh/día | Precio (€/kWh) | Coste anual (€) |
|----------------------------|--------------|-------|-----------------|----------------|-----------------|
| Iluminación | 26 | 24 | 624 | 0,246 | 56028,96 |
| Alimentador de goma 1500x4 | 3,725 | 8 | 29,8 | 0,246 | 2675,742 |
| Cinta de goma CGI 1200x5 | 2,235 | 8 | 17,88 | 0,246 | 1605,4452 |
| Trómel de triaje | 3,725 | 8 | 29,8 | 0,246 | 2675,742 |
| Cinta de goma CG 800X8 | 3,725 | 8 | 29,8 | 0,246 | 2675,742 |

I.V. Estudio económico

| | | | | | |
|-------------------------------------|--------|----|-----------|-------|-------------------|
| Cinta de goma CG 800X5 | 2,98 | 8 | 23,84 | 0,246 | 2140,5936 |
| Separador magnético | 1,8625 | 8 | 14,9 | 0,246 | 1337,871 |
| Molino triturador de martillos M600 | 37,25 | 8 | 298 | 0,246 | 26757,42 |
| Cinta de goma CG 600X5 | 2,235 | 8 | 17,88 | 0,246 | 1605,4452 |
| Trómel de criba y afino | 3,725 | 8 | 29,8 | 0,246 | 2675,742 |
| Bomba sumergible | 0,5 | 38 | 0,02 0 | 0,011 | 0,246 1,068 |
| Maquina ensacadora | 1,3 | 8 | 10,4 | 0,246 | 933,816 |
| Coste total anual (€) | | | | | 45084,6275 |

I.V.3.5. Coste de combustible

El único elemento que consume combustible es el tractor pequeño con pala, ya que la maquina volteadora solo funciona si se encuentra enganchado a este. El tractor tiene un motor diésel de 4 ciclos refrigerado con agua y una potencia de 42 kW.

Para el cálculo del consumo anual se debe tener en cuenta que el consumo de combustible para producir un kWh en los motores Diesel es de 0,272 kg/kWh [73]. Por tanto, el tractor consume 11,424 kg/kWh. Dividiendo este valor entre la densidad del Diesel (850 kg/m^3) [74] y aplicando un factor de conversión de m^3 a litros, se puede establecer que el consumo de combustible es de 13,44 litros/hora.

I.V. Estudio económico

Determinando un precio de 1,918 €/litro (a fecha de 25-07-22) [75] y suponiendo un tiempo de uso próximo a 12 horas diarias (ya que se usará en casi todas las zonas, principalmente en la zona de recepción y triaje), **el coste anual del combustible es de 112.907,289 € .**

IV.4. ESTUDIO VIABILIDAD ECÓNOMICA

Para realizar este estudio se utilizarán los indicadores económicos VAN y TIR, los cuales serán explicados con detalle en los siguientes apartados. Ya que lo primero que se debe hacer, es definir algunos parámetros económicos.

IV.1.1. Inversión inicial

Esta inversión es el coste que se tiene antes de iniciar con los procesos de producción, el cual se encuentra resumido en la **Tabla 12**.

Tabla 12. Inversión inicial.

| Elemento | Coste (€) |
|------------------------------|---------------------|
| Compra del terreno | 187.499 |
| Adecuación del terreno | 130.000 |
| Naves industriales | 2.795.000 |
| Impermeabilizado de suelo | 2.460 |
| Pavimentado | 156.000 |
| Maquinaria | 343.364,55 |
| Coste lamina de polietileno | 5.925,36 |
| Coste mallado | 227.500 |
| Inversión inicial (€) | 3.847.748,67 |

IV.1.2. Precio estimado de venta del producto

Realizando un estudio del precio por kilogramo que ofrecen algunas empresas y del formato que tienen para venderlo, el compost se ensacará en envases de 20 kg (50 litros aproximadamente) y el precio de cada saco será de 18,5 € [44, 45, 46]. Al determinar

I.V. Estudio económico

el precio también se tuvo en cuenta que el beneficio neto sea lo más elevado posible para que el VAN sea positivo en un menor periodo de tiempo.

En **Tabla 13** se puede ver el beneficio anual que tendría la venta de compost, teniendo en cuenta que se producen 1.729,914 toneladas anuales.

Tabla 13: Beneficio anual venta de compost.

| Cantidad(kg) | Precio (€/kg) | Beneficio anual (€) |
|--------------|---------------|---------------------|
| 1729914 | 0,925 | 1.600.170,45 |

IV.1.3. Flujo neto de efectivo

El flujo neto está compuesto por los ingresos y gastos que tiene la empresa en un periodo de tiempo determinado, y representa la liquidez que posee.

$$CF_t = \text{Beneficio neto} + \text{Amortizaciones}$$

El valor de los ingresos y gastos anuales que tiene la empresa se irán actualizando conforme al índice de precios de consumo IPC, el cual consiste en una medida estadística de la evolución de los precios [76]. Por tanto, el valor del dinero se calculará conforme la siguiente ecuación.

$$€ \text{ año}_i = € \text{ año}_{i-1} (1 + IPC)$$

El valor de IPC tomado es del 10,2% (valor de IPC junio 2022) [77].

Las amortizaciones son la pérdida del valor de los activos y pasivos con el paso del tiempo. Para calcularlo se utiliza una ecuación decreciente

$$A_n = I_0 r (1 - r)^{n-r}$$

Donde:

I_0 = Inversión inicial

r = Tasa de amortización

I.V. Estudio económico

$$r = 1 - \left(\frac{R}{I_0}\right)^{1/t}$$

R = Valor residual (€). (Se considerará el 1% de la I_0)

t = Periodo de amortización (15 años)

n = Año del calculo

IV.1.4. Valor actual neto (VAN)

El VAN es el valor actual/presente de la sumatoria de flujos netos de efectivo en un periodo de tiempo determinado, el cual estará relacionado con una tasa de descuento llamado tasa de expectativa o de rendimiento, que consiste en la rentabilidad mínima exigida por el inversor. A toda esta sumatoria se le resta el capital inicial invertido, obteniendo de esta forma el VAN tal como se puede ver en la siguiente ecuación.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Donde:

I_0 = Inversión inicial

n = Números de periodos de tiempo (15 años en este caso)

F_t = Flujos netos de efectivo del periodo t

k = Rentabilidad minima exigida

Se debe tener en cuenta que un valor positivo de valor actual neto significa que el proyecto estudiado es viable, en caso contrario indica que un proyecto es inviable.

IV.1.4.1. Calculo valor actual neto (VAN)

Una vez definidos todos los parámetros anteriores ya se puede proceder cálculo del VAN para los diferentes periodos de tiempo (15 años), el cual se encuentra resumido en la **Tabla 14** de forma que la rentabilidad tomada será del 10 %.

I.V. Estudio económico

Tabla 14. Calculo del VAN.

| Año | Ingresos (€) | Gastos (€) | Amortización (€) | Beneficio bruto (€) | Beneficio neto (€) | Ft (€) | VAN |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3847748.7 | -7695497.3 |
| 1 | 1600170.45 | 1170491.92 | 811545.927 | -381867.39 | 0 | 811545.927 | -3109979.6 |
| 2 | 1763387.84 | 1289882.09 | 597007.475 | -123501.73 | -420054.13 | 176953.343 | -2963737.2 |
| 3 | 1943253.4 | 1421450.07 | 439183.925 | 82619.4048 | -135851.9 | 303332.021 | -2735839.4 |
| 4 | 2141465.24 | 1566437.97 | 323082.253 | 251945.017 | 90881.3453 | 413963.598 | -2453096.7 |
| 5 | 2359894.7 | 1726214.65 | 237672.957 | 396007.094 | 277139.518 | 514812.475 | -2133438.6 |
| 6 | 2600603.96 | 1902288.54 | 174842.27 | 523473.146 | 435607.804 | 610450.073 | -1788855.5 |
| 7 | 2865865.56 | 2096321.97 | 128621.361 | 640922.227 | 575820.461 | 704441.823 | -1427365.4 |
| 8 | 3158183.85 | 2310146.81 | 94619.3083 | 753417.726 | 705014.45 | 799633.758 | -1054330.4 |
| 9 | 3480318.6 | 2545781.79 | 69605.9613 | 864930.851 | 828759.499 | 898365.46 | -673335.73 |
| 10 | 3835311.09 | 2805451.53 | 51205.0863 | 978654.481 | 951423.936 | 1002629.02 | -286778.84 |
| 11 | 4226512.83 | 3091607.58 | 37668.6251 | 1097236.62 | 1076519.93 | 1114188.55 | 103737.45 |
| 12 | 4657617.13 | 3406951.56 | 27710.6323 | 1222954.95 | 1206960.28 | 1234670.91 | 497141.652 |
| 13 | 5132694.08 | 3754460.62 | 20385.112 | 1357848.35 | 1345250.44 | 1365635.55 | 892717.627 |
| 14 | 5656228.88 | 4137415.6 | 14996.1498 | 1503817.13 | 1493633.19 | 1508629.34 | 1289986.88 |
| 15 | 6233164.22 | 4559431.99 | 11031.8014 | 1662700.43 | 1654198.84 | 1665230.64 | 1688629.86 |

IV.1.5. Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR)

El TIR es un indicador derivado del VAN, la cual evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento. Es decir, que el TIR es aquella rentabilidad que hace el VAN igual a cero.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n} = 0$$

Donde:

I_0 = Inversión inicial

n = Números de periodos de tiempo (años)

F_t = Flujos netos de efectivo del periodo t

k = TIR

La tasa interna de retorno se calculará para el mismo periodo de tiempo y se debe saber que para que el proyecto sea viable este valor debe ser mayor que la rentabilidad mínima exigida. El valor de este indicador para el periodo mencionado es del 15 % lo que indica que el proyecto es viable.

V. CONCLUSIONES

V.1. CONCLUSIONES

Mediante el proyecto se ha conseguido diseñar una estación de compostaje capaz de tratar 41.216 kg de residuos mezclados y orgánicos diarios, con la ligera posibilidad de aumentar esta capacidad en 10 toneladas diarias ya que el trómel de triaje utilizado tiene la capacidad de tratar 68 t/día de residuos. Es decir, se podría utilizar la fracción orgánica recogida selectivamente de alguno de los pueblos pequeños cercanos a Alcoy. Con este proceso se incentiva la reutilización y valorización que forma parte de la jerarquía de gestión de residuos que tiene como objetivo la unión europea.

El proyecto debe ser planteado para tiempos de vida muy elevados, como mínimo de 11 años ya que es el tiempo que se tarda en recuperar la inversión inicial (valores de VAN positivos). Además, mediante el estudio económico del proyecto se demuestra que se cumple con los 3 objetivos de la ONU planteados en los objetivos del proyecto, ya que se pueden generar altos beneficios (siempre que se invierta a largo plazo) sin la necesidad de tener elevados impactos ambientales, debido a que se reutiliza materia que generalmente se desecha en vertederos, para generar un producto que mejora las condiciones del suelo y se puede utilizar para el mismo proceso de producción. Entrando de esta manera a la economía del futuro llamada "economía circular".

VI. APÉNDICES

VI. Apéndices

Apéndice 1: Métodos para determinar los parámetros de control

Los valores de humedad se realizarán con los sondas manuales y las medidas de los demás parámetros de control se realizarán por lo menos 1 vez al día.

pH

Se utilizará un método basado en la norma ISO 10390:2005, en muestras solidas como la tierra, se puede hacer una distinción entre pH actual que es el da la disolución de un suelo y el pH potencial el cual incluye además los protones adsorbidos en los coloides del suelo.

El pH actual se determina midiendo el pH en una disolución de agua+suelo, mientras que el pH potencial necesita del intercambio de iones del coloide de cambio por otros cationes, esto se debe hacer antes de realizar la medida del valor pH. Por lo que se determina el pH en agua y en KCl, en este último caso los iones adsorbidos son remplazados por k+, por lo que generalmente, para un mismo suelo el pH del KCl es menor que en agua, esto ocurre en suelos sin presencia de carbonatos. [78]

El equipo necesario consta de un equipo de agitación magnética, pH-metro con electrodo de vidrio, frasco, vaso para la muestra, espátula o cuchara, agua destilada y una disolución de KCl. Y el procedimiento es el siguiente (antes de realizar el procedimiento, la muestra debe estar seca con un tamaño de partícula igual o inferior a 2mm):

- Se toma una muestra de suelo de al menos 5 ml, se introduce en el material de vidrio donde realizaremos la medida y se añade cinco veces su volumen de la disolución de KCl 1 M.
- Agitar o mezclar la suspensión durante 60 min empleando agitador magnético. Etiquetar como muestra ref. A
- Repetir los pasos anteriores utilizando solo agua destilada, etiquetar como muestra ref. B(blanco)

$$\Delta pH = pH \text{ KCl} - pH \text{ H}_2\text{O}$$

$\Delta pH > 0$: indica predominio de carga positiva

VI. Apéndices

$\Delta pH = 0$: indica carga neutra

$\Delta pH < 0$: indica predominio de carga negativa

En suelos salinos y/o con $pH > 7$, esta diferencia de pH tiene un significado distinto: si el pH_{KCl} es similar al pH_{H_2O} , indica que el suelo está saturado de bases. Cabe resaltar que, midiendo el pH del suelo+agua, se puede saber el pH que tiene el compost. El otro tipo de pH solo se medirá en caso de que sea necesario, se puso en el documento como información complementaria

Relación C/N

No existen métodos cuantitativos para determinar el valor de esta relación, pero se puede estimar un rango de valores, midiendo los valores de nitrógeno y carbono a lo largo del proceso. Es decir que se debe hacer un seguimiento de la evolución de esta relación durante todo el proceso, ya que si la relación de C/N es baja la temperatura de compost es muy alta y se generan malos olores (el exceso de nitrógeno se desprende como amoníaco). En caso de que la relación sea alta existe un proceso de degradación muy lento (alto contenido de carbono). [17]

Determinación de ácidos húmicos

Existen varios índices para determinar el grado de humificación del compost, los cuales varían en función del contenido y relación del carbono presente en las distintas fracciones de la materia orgánica. Entre estos métodos destacan la relación de humificación, grado de humificación, índice de humificación y el porcentaje de ácidos húmicos. [79]

VI. Apéndices

Apéndice 2: Especificaciones de la maquinaria utilizada. [66, 67, 44, 68, 43]

Báscula de pesaje de camiones

La báscula puente está diseñada con una estructura modular electrosoldada, compuesta por 6 células de carga a compresión. Es versátil para ser instalada indistintamente sobre el nivel del suelo con rampas de acceso o bien empotrada en foso. Consta de superficie transitable metálica realizada en chapa con 10 mm de espesor y trampillas de acceso directo interno. Dotada de células de carga a compresión analógicas/digitales con sistema pendular y protección de toma tierra antidisturbios.

Alimentador de goma 1500x4

Recoge el material desde la zona de descarga:

- Con motor de 5CV
- Ancho útil de 1500 mm y largo de 4m
- Banda de caucho anti grasa
- Variador de velocidad

Cinta de goma CGI 1200x5

Es una banda inclinada que recoge el material a la salida del alimentador y lo descarga en el trómel.

- Con motor de 3 CV
- Cinta transportadora con banda de caucho anti grasa de 1200 mm por 5000 mm
- Banda de caucho anti grasa
- Variador de velocidad
- Paro de emergencia

Trómel de triaje

- Sistema interior de pinchos para poder abrir las bolsas
- Dos virolas con ruedas fabricadas con chapa anti desgaste
- Tracción mediante ruedas con motorreductor

VI. Apéndices

- Dos puntos de apoyo con doble rueda cada uno
- Motor de 5 CV con reductora incorporada
- Parrillas con chapa perforada, atornilladas y recambiables

Cinta de goma CG 800x8

Situada debajo del trómel para recoger la fracción orgánica

- Motor de 5 CV
- Ancho útil de 800 mm y largo de 8 m
- Banda de caucho anti grasa
- Incluye patas de apoyo y variador de velocidad

Cinta de goma CG 800x5

Recoge el material desde la salida del trómel (los materiales impropios)

- Motor de 4 CV
- Ancho útil de 800 mm y largo de 5 m
- Banda de caucho anti grasa
- Incluye patas de apoyo y variador de velocidad

Separador magnético

Separador magnético encargado de retirar los elementos férricos

- Largo de 1700 mm y ancho de 750 mm
- Banda lisa resistente
- Motor de 2,5 CV
- Cadenas de agarres para montaje de estructura

Molino triturador de martillos M600

- Largo de 1000 mm y ancho de 600 mm
- Motor de 50 CV
- Martillos recambiables y con dos caras de corte
- Normativa CE

Maquina volteadora

- Capacidad de volteo hasta $400 \text{ m}^3/\text{h}$

VI. Apéndices

- Mueve pilas de 2,5 x 1,2 m
- Túnel de chapas de acero cromado
- Placa de alimentación mecánica

Trómel de afino

- Dos virolas con ruedas fabricadas con chapa anti desgaste
- Motor de 5 CV
- Tolva de entrada
- Variador de velocidad para regular el giro

Tractor con pala

- Modelo Yunnei YN27
- Potencia nominal de 42 KW (56 CV)
- Capacidad de carga 1600 kg
- Altura de elevación 4 m
- Motor diésel de 4 ciclos refrigerado con agua

Medidor de temperatura

- Material de acero inoxidable
- Dimensiones de 51 x 51 x 410 mm
- Peso de 46 g

Medidor de temperatura y humedad

- Rango de humedad de 0-100 %
- Rango de temperatura de -40-200 °C
- Resolución del 0,1 %
- Sonda de medición GSF 40 TF

Medidor de oxígeno

- Rango de medición de 0-200 %
- Precisión de 0,3 %
- Temperatura de trabajo de 0- 100 °C
- Compensación de la presión de 80-105 kPa (automático)

VI. Apéndices

Maquina ensacadora

- Modelo SXWP-01
- Rango de peso del envase de 20-50 kg/bolsa
- Error permitido del ± 0.2 %
- Velocidad de 4-6 bolsas/min

Bomba sumergible

- Bomba sumergible de acero inoxidable 304
- Potencia de 500 W
- Capacidad de $2,1 \text{ m}^3/h$
- Malla de filtración de primera calidad

VI. Apéndices

Apéndice 3: Plano de distribución de la planta de compostaje

En la **Figura 43** se puede observar la distribución de la planta y las zonas que lo conforman son:

- 1: Zona de recepción y separación de la materia orgánica
- 2: Zona de almacenaje y pretratamiento
- 3: Área de descomposición
- 4: Balsas de lixiviados
- 5: Área de maduración
- 6: Zona de post tratamiento y almacén del compost

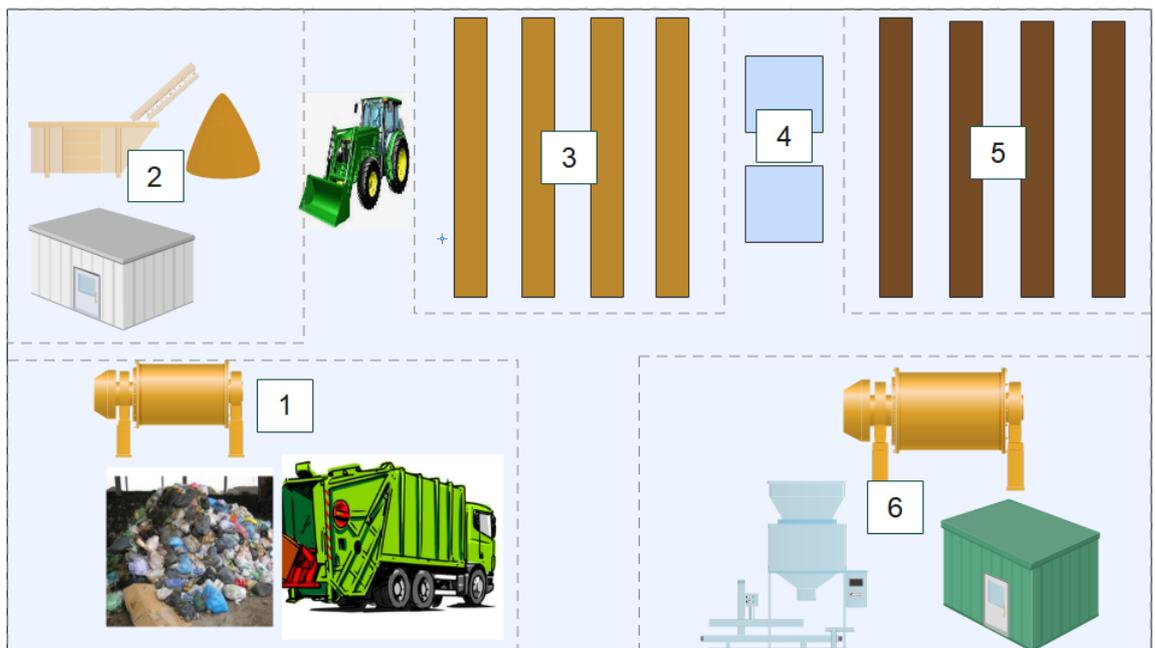


Figura 43: Plano de distribución de la planta de compostaje.

VI.1. REFERENCIAS

- I. MITECO, «miteco.gob.es,» [En línea]. Available:
[1] <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/>.
- [2] M. B. Alberto Masaguer, «Evaluación de la calidad del compost,» Universidad politecnica de Madrid, Madrid-España, 2008.
- INE, «ine.es,» [En línea]. Available:
[3] <https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=2856>.
- MITECO, «miteco.gob.es,» [En línea]. Available:
[4] <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/biorresiduos/Biorresiduos-Que-caracteristicas-tienen.aspx>.
- abc, «abc.es,» [En línea]. Available: https://www.abc.es/sociedad/abci-espana-debera-implantar-contenedor-marron-antes-enero-2024-201907121849_noticia.html.
- [5] https://www.abc.es/sociedad/abci-espana-debera-implantar-contenedor-marron-antes-enero-2024-201907121849_noticia.html.
- [6] RAE, «rae.es,» [En línea].
- [7] D. (. 2. d. p. e. y. d. c. d. 3. d. m. d. 2018, «DIRECTIVA (UE) 2018/851 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO,» Diario oficial de la UE.
- S. SamPedro, «El mundo,» 2019. [En línea]. Available:
[8] <https://www.elmundo.es/comunidad-valenciana/alicante/2019/09/21/5d850816fdddff48468b4570.html>.
- [9] V. F. Borràs, «Tema 5: Depositos de seguridad,» Valencia, 2022.
- I. Andres y F. Alvarez, «El mundo,» 2013. [En línea]. Available:
[10] <https://www.elmundo.es/comunidad-valenciana/2013/11/17/52865dda61fd3d38558b457b.html>.
- [11] V. F. Borràs, «Tema 3: Tratamientos térmicos,» Valencia, 2022.
- [12] F. V. J. A. R. A. P. M. C. A. D. M.J. NEGRO(1, «Producción y gestión del compost».
- [13] A. COMPOSTCHILE, «Introducción al compostaje».
- [14] M. M. M. A. P. Pilar Roman, «Manual de compostaje del agricultor-experiencia en america latina,» Santiago-Chile, 2013.

VI. Apéndices

- www.miteco.gob.es, «miteco,» 2018. [En línea]. Available:
- [15] <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/materiales/guia-desperdicio-alimentario.aspx>.
- [16] www.monografias.com. [En línea]. Available:
<https://www.monografias.com/trabajos46/compostaje/compostaje2>.
- [17] R. M. H. Joaquín Moreno Casco, *Compostaje*, Mundi-Prensa, 2008.
- [18] G. d. Catalunya, «Guía diseño planta de compostaje,» 2016.
- [19] E. Röben, «Manual de compostaje para municipios,» Loja-Ecuador, 2002.
- [20] M. D. Pérez, «Estudio y desarrollo de técnicas respirométricas para el control de la estabilidad del compost,» Córdoba , 2008.
- [21] V. F. Borrás, «Tema 2. Compostaje,» Valencia, 2022.
- Eggersmann, «Eggersmann-recyclingtechnology,» [En línea]. Available:
- [22] <https://www.eggersmann-recyclingtechnology.com/es/plantas-de-reciclaje/tratamiento-biologico/compostaje-en-tuneles/>.
- [23] W. B. Santana, «El proceso del compostaje,» Universidad de la Salle, Colombia, 2019.
- [24] J. A. Miner, *El compost de bioresiduos*, Mundi-prensa libros, 2016.
- [25] M. d. t. e. d. Alcoy, «alcoi.org,» 16 Mayo 2022. [En línea]. Available:
https://www.alcoi.org/es/portada/noticias2/noticia_2374.html.
- [26] pagina66, «pagina66,» 19 Junio 2022. [En línea]. Available:
<https://pagina66.com/art/125176/crece-la-separacion-de-residuos-en-alcoy>.
- elnostreciutat, «elnostreciutat,» 16 Mayo 2022. [En línea]. Available:
- [27] <https://www.elnostreciutat.com/es/alcoy-duplica-la-basura-organica-en-el-segundo-año-de-campana/>.
- Ecovidrio, «hablandodevidrio,» [En línea]. Available:
- [28] <https://hablandoenvidrio.com/el-compost-o-como-convertir-tus-residuos-organicos-en-abono-natural/>.
- [29] innovatione, «innovatione,» 2019. [En línea]. Available:
<https://innovatione.eu/2019/06/03/compostaje/>.
- [30] P. G. S.L., «Báscula de pesaje con rampa,» 2022.
- [31] G. d. C.-. D. d. t. y. sostenibilidad, «Relación de las infraestructuras de gestión de residuos,» ARC, 2013-2020.

VI. Apéndices

- [32] B. tecnologías, «Batan.es,» [En línea]. Available: <https://bastan.es/producto/tromel-y-abre-bolsas/>.
- [33] D. I. Fombuena Vicent, «Dimencionamiento de unidad de almacenaje de residuos orgánicos para proceso de compost».
- [34] H. Rodriguez, «Ingemecánica,» Ingeniería, consultoría y formación, [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn84.html>.
- [35] S. Hang y G. N. A. D. E. B. A. R. P. S. y. M. M. E. Castán, «Compostaje de estiércol de feedlot,» Agriscientia, Argentina, 2015.
- [36] Á. d. m. a. d. Madrid, «Planta de compostaje de migas calientes Madrid,» Madrid.
- [37] B. tecnologías, «bastan.es,» [En línea]. Available: <https://bastan.es/producto/molino-triturador/>. [Último acceso: 2022].
- [38] G. I. AG, «Volteadora de compost modelo TG231,» 2022.
- [39] Á. d. m. a. d. Madrid, «Pliego de condiciones técnicas para la explotación de la planta de tratamiento de residuos vegetales de Migas Calientes,» Madrid.
- infoagro, «inforagro.com,» [En línea]. Available: https://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=13082&_termometro_para_compostaje_sustrato_y_tierra_tfa192008_control_de_temperatura_del_compost. [Último acceso: 2022].
- profishop, «profishop.es,» [En línea]. Available: https://www.profishop.es/greisinger-balecheck-200-1500-medidor-de-humedad-para-heno-y-paja-con-medicin-de-temperatura-integrada-longitud-de-la-sonda-1500-mm-607146?number=GH0-650&gclid=Cj0KCQjwuO6WBhDLARIsAIdyDL_bY4rsGNx8KjrcGMRdyj6si9nYd5u6GPcjJV_Oia2C9. [Último acceso: 2022].
- Alibaba, «Alibaba.com,» 2022. [En línea]. Available: https://spanish.alibaba.com/p-detail/Best-1600304772656.html?spm=a2700.7735675.normal_offer.d_image.53515754VnqdMK&s=p. [Último acceso: 2022].
- [43] L. Zhengzhou Shunxin Engineering Equipment Co., «Oferta de maquina empaquetadora,» 2022.
- L. Merli, «leroymerlin.com,» [En línea]. Available: https://www.leroymerlin.es/fp/258930/sustrato-universal-compo-sana-para-todo-tipo-de-plantas-interior-y-exterior-501?keyword=&ds_kid=92700068915335450&ds_ag=Todas+Categorias&ds_c=LM_Empoderar_AO_SmartShopping_Todas_Categoria/final_Google_Conversion_OMD&so. [Último acceso: 2022].

VI. Apéndices

- Carrefour, «carrefour.es,» [En línea]. Available:
[45] <https://www.carrefour.es/flower-substrato-compost-organico-50-1/8426584800256/p>. [Último acceso: 2022].
- Amazon, «amazon.es,» [En línea]. Available: https://www.amazon.es/Compo-Substratos-Sana-universal-36x10x80/dp/B00UCCL90G/ref=sr_1_4_sspa?keywords=compost&qid=1658664592&sr=8-4-spons&psc=1&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUEzNzNZQ1dNUVRQU1dUJmVuY3J5cHRlZElkPUEwMDY1MTk2M0NMQVdHV0Q0UTU5SCZlbnNyeXB0ZW50ZWRBZE. [Último acceso: 2022].
- idealista, «idealista.com,» [En línea]. Available:
[47] <https://www.idealista.com/inmueble/38677582/>. [Último acceso: 2022].
- G. maps, «google maps,» 2022. [En línea]. Available:
[48] <https://www.google.com/maps/@38.7229698,-0.453349,8474m/data=!3m1!1e3!5m1!1e4>. [Último acceso: 2022].
- [49] D. D. C. A. R. Batallán, «Aprovechamiento integral de lixiviados,» 2010.
- G. d. i. d. c.-U. DIVULGA, «uab.cat,» 2014. [En línea]. Available:
[50] <https://www.uab.cat/web?cid=1096481466568&pagenome=UABDivulga%2FPa%2FTemplatePageDetallArticleInvestigar¶m1=1345678566586>. [Último acceso: 2022].
- Emison, «emison.com,» [En línea]. Available:
[51] <https://www.emison.com/biofiltracion.htm>. [Último acceso: 2022].
- A. J. o. A. Enviroment, «AJAE-asianajae.org,» [En línea]. Available:
[52] http://asianjae.org/_common/do.php?a=full&bidx=1457&aidx=18768. [Último acceso: 2022].
- S. Limpieza de Málaga, «Limpieza de Málaga, S.A.M.- Tratamiento de lixiviados,» [En línea]. Available: <https://limpiezademalaga.es/centro-ambiental-de-malaga/tratamiento-lixiviados/>. [Último acceso: 2022].
- A. SIGMA, «Agua sigma,» 18 04 2021. [En línea]. Available:
[54] <https://aguasigma.com/es/articulos-tecnicos/tratamiento-de-lixiviados-en-vertederos#toc-9>. [Último acceso: 2022].
- A. E. B. O. d. E. (BOE), «boe.es,» 14 10 2010. [En línea]. Available:
[55] <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2010-11153>.
- BOE, «boe.es,» [En línea]. Available:
[56] <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-7540>. [Último acceso: 2022].

VI. Apéndices

- BOE, «boe.es,» [En línea]. Available:
[57] <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2020-7438>. [Último acceso: 2022].
- C. share, «cronoshare.com,» 02 2022. [En línea]. Available:
[58] <https://www.cronoshare.com/cuanto-cuesta/nivelar-terreno>. [Último acceso: 2022].
- C. share, «cronoshare.com,» 02 2022. [En línea]. Available:
[59] <https://www.cronoshare.com/cuanto-cuesta/construir-nave-industrial>. [Último acceso: 2022].
- Rosacoloma, «rosacoloma.es,» 11 2018. [En línea]. Available:
[60] <https://www.rosacoloma.es/construccion/ventajas-desventajas-nave-industrial-hormigon-nave-industrial-metalica/>. [Último acceso: 2022].
- e.-e. industriales, «edilnalia.es,» 08 2019. [En línea]. Available:
[61] <https://edinalia.es/2019/08/01/ventajas-estructuras-metalicas-o-de-hormigon/>. [Último acceso: 2022].
- L. R. B. B. J. B. Ingenieros Laureano Martinez, «Segunda balsa de recogida de Lixiviados en el centro integral de tratamiento de residuos Planta de Cárcar,» 2016.
[62]
- Cronoshare, «cronoshare.com,» 01 2022. [En línea]. Available:
[63] <https://www.cronoshare.com/cuanto-cuesta/asfaltar#:~:text=El%20precio%20del%20asfalto%20por,40%20o%2060%20%E2%82%AC%2Fm2..> [Último acceso: 2022].
- M.-. M. a. y. renovables, «Detalle de la maquinaria y los procesos de una planta de triaje para compostaje,» Alcoy, 2022.
[64]
- [65] BercaBrand, «Presupuesto volteadora,» 2022.
- Alibaba, «alibaba.com,» [En línea]. Available: https://spanish.alibaba.com/p-detail/front-60793132784.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.7713eb6321tc6e. [Último acceso: 2022].
[66]
- Playte, «playte.es,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.playte.es/plasticos-agricultura/49-embalse-negro-g1000-rollos.html>. [Último acceso: 2022].
[67]
- cronoshare, «cronoshare.com,» 01 2022. [En línea]. Available:
[68] <https://www.cronoshare.com/cuanto-cuesta/vallar-terreno#:~:text=En%20cuanto%20a%20su%20precio,30%20y%2060%20%E2%82%AC%2Fm2..> [Último acceso: 2022].
- INE, «ine.es,» [En línea]. Available:
[69] <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=10916>. [Último acceso: 2022].

VI. Apéndices

- C. d. luz, «companias-de-luz.com,» 2022. [En línea]. Available:
[70] <https://www.companias-de-luz.com/precio-de-la-luz/kwh/espana/>. [Último acceso: 2022].
- Sport, «sport.es,» 25 07 2022. [En línea]. Available:
[71] <https://www.sport.es/es/noticias/fuera-de-juego/precio-gasolina-diesel-hoy-25-14163463>. [Último acceso: 2022].
- bankinter, «bankinter.com,» 01 2021. [En línea]. Available:
[72] <https://www.bankinter.com/blog/economia/que-es-el-ipc-como-se-calcula-el-ipc>. [Último acceso: 2022].
- INE, «ine.es,» 06 2022. [En línea]. Available:
[73] <https://www.ine.es/daco/daco42/daco421/ipcia0622.pdf>. [Último acceso: 2022].
- [74] R. V. Pérez, «Prácticas química medioambiental 2022,» Valencia, 2022.
- G. Tortosa, «compostandociencia.com,» 2013. [En línea]. Available:
[75] <http://www.compostandociencia.com/2013/05/sustancias-humicas-en-el-compostaje-html/>. [Último acceso: 2022].
- [76] M. Campins Eritja, 1994.
- [77] AENOR, «<https://portal.aenormas.aenor.com>,» [En línea].
- www.bortziriakzabor, «<https://www.bortziriakzabor.com>,» [En línea].
[78] Available: <https://www.bortziriakzabor.com/es/factores-que-influyen-en-el-compostaje/>.
- infobae, «infobae,» [En línea]. Available:
[79] <https://www.infobae.com/tendencias/ecologia-y-medio-ambiente/2019/05/26/compostaje-una-bolsa-de-basura-contiene-un-40-de-materia-organica-que-puede-ser-devuelta-a-la-tierra-en-forma-de-humus/>.
- L. sexta, «La sexta,» Febrero 2020. [En línea]. Available:
[80] https://www.lasexta.com/noticias/medio-ambiente/en-espana-hay-mas-de-1500-vertederos-ilegales-denuncian-descontrol-en-la-gestion-de-residuos_202002225e5147940cf2e7d8ac13ff61.html#:~:text=En%20Espa%C3%B1a%20existen%20182%20vertederos,Uni%C3%B3n%20Europea%2.
- [81] UNED, «UNED.es,» [En línea]. Available:
<https://www2.uned.es/biblioteca/rsu/pagina1.htm>.
- I. d. a. d. datos, «Interpretación de análisis de datos,» [En línea]. Available:
[82] https://www.gipuzkoa.eus/documents/2227195/2229015/interpretacioncompost_v1.pdf/26b0b56f-ff7d-af7c-56c6-0faac739b012.