



*Escuela Técnica Superior de
Ingenieros de Caminos, Canales y
Puertos.*



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

ESTUDIO DE DIMENSIONAMIENTO PARA UNA PLANTA DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS DE PODA Y SIEGA MUNICIPAL EN SUANCES

Trabajo realizado por:

Pablo Bengochea Mantecón

Dirigido:

***Amaya Lobo García de Cortazar
Ana López Martínez***

Titulación:

Grado en Ingeniería Civil
Mención en Hidráulica e Hidrología

Santander, julio 2021

TRABAJO FIN DE GRADO



**ESTUDIO DE DIMENSIONAMIENTO PARA UNA PLANTA DE COMPOSTAJE
DE RESIDUOS DE PODA Y SIEGA MUNICIPAL EN SUANCES**



Pablo Bengochea Mantecón



Resumen

Título TFG: Estudio de dimensionamiento para una planta de compostaje de residuos de poda y siega municipal en Suances

Autor: Pablo Bengochea Mantecón

Directores: Amaya Lobo García de Cortázar
Ana López Martínez

Titulación: Grado en Ingeniería Civil, Mención en Hidráulica e Hidrología

Palabras clave: Planta de compostaje; Ayuntamiento de Suances; Residuos vegetales; Fracción Vegetal; Suances; Fases; Dimensionamiento; Residuos de poda y siega; Hojas; Poda gruesa; Pilas volteadas.

Resumen:

Suances es un municipio de Cantabria que necesita mejorar su gestión actual de residuos, en especial la de restos vegetales, residuos procedentes de podas y siegas.

Así, el presente Trabajo Fin de Grado tiene el propósito de seleccionar la metodología óptima de compostaje para los residuos a gestionar además de encontrar una ubicación adecuada para la planta de compostaje a construir. De esta planta se ha realizado un dimensionamiento preciso de los elementos que la conforman y se aporta una breve valoración económica tanto de su proceso constructivo como de su coste de operaciones.

Actualmente, este tipo de residuos supone un elevado coste tanto de transporte como de tratamiento. En este momento se cuenta para el transporte con una brigada municipal y una empresa subcontratada mientras que el destino de los residuos es el antiguo vertedero municipal de inertes, en el que se utiliza como material de relleno. En el caso de que la cantidad de los residuos sea un gran volumen la empresa Cántabra de Turba es la encargada de su gestión.

Esta situación tiende a agravarse en el futuro ya que Suances es una villa con alto interés turístico vacacional, y por los motivos recientes de la pandemia se está desarrollando una importante política animando el éxodo urbano. De esta forma se estima que para 2032 el municipio cuente con una población de 10.300 habitantes, un 18% más que en año 2017. Dicho incremento poblacional llevará consigo un incremento proporcional de la generación de residuos en general, y de los residuos de poda y siega en particular llegando a una producción de 3.900 t en el año 2032.



La realización de este proyecto se desarrollará por fases, para que este no suponga una gran inversión inicial para el Ayuntamiento, ni un cambio extremo para los habitantes del municipio en cuanto a la forma de recogida de sus residuos de fracción vegetal.

El proyecto completo de la planta de compostaje se compondrá de una fase inicial de construcción y otras dos de ampliación, tanto en dimensiones de los elementos, como del radio de actuación. A continuación, se describen las tres fases del proyecto:

- **Fase I:** se tratará la cantidad suficiente para abastecer con el compost producido los jardines municipales. Se estima que sea el 20% de los residuos de poda y siega generada desde 2022 hasta 2032 de los pueblos de Suances y Cortiguera.
- **Fase II:** aumentará su capacidad hasta el 60% de los residuos generados y su radio de actuación se ampliará hacia el oeste cubriendo los pueblos de Hinojedo, Tagle y Ongayo.
- **Fase III:** para el año 2050 la planta funcionará al máximo rendimiento siendo capaz de tratar más de 4.000 t/año recogiendo residuos de poda y siega de todo el municipio, incluso de municipios colindantes.

El compostaje es un proceso biológico en el que los residuos orgánicos se descomponen por acción de microorganismos aerobios, generando como resultado dióxido de carbono, agua, calor y un compuesto estabilizado que denominada compost.

Cuando los residuos de podas y siegas llegan a la planta de compostaje se clasificarán en tres categorías: siega y gramíneas, hojas y poda gruesa. Posteriormente, se dosifican para generar una mezcla uniforme que contenga el 70% de materiales de baja degradabilidad y el 30% de restos no leñosos. El resto de los residuos de fracción vegetal que no sean dosificados al descargarse se almacenan para su posterior tratamiento.

Una vez preparada la mezcla a tratar, el siguiente paso del tratamiento sería la etapa activa, o de fermentación donde se desarrolla la biodegradación a altas temperaturas. Es una etapa muy exigente, por lo que hay que cumplir unas condiciones de trabajo de humedad, temperatura, aireación y características de la mezcla para realizar el compostaje con éxito. Algunas de estas condiciones son las que aparecen en la siguiente tabla:

Variable	Rango óptimo
Estructura	Tamaños entre 2 - 5 cm
Aireación	Necesidad de volteos periódicos
Temperatura	55 - 75°C
Humedad	40 - 65%
pH	6 - 8
Relación C/N	25/1 – 35/1



Por otra parte, de las posibles soluciones tecnológicas existentes en la actualidad y de acuerdo con las necesidades en cuanto a cantidad de material, coste de inversión, complejidad de la tecnología, coste de operación y la superficie necesaria para la instalación se optó por las **pilas volteadas** como la solución óptima para este caso.

La opción seleccionada tiene un coste de inversión y de operación menos en comparación con las otras tecnologías y es adecuado para el tratamiento de cantidades pequeñas de residuo (3.900 t/año). El principal inconveniente de este sistema es la superficie necesaria para su implantación, aunque, en este caso, la superficie no es un verdadero condicionante ya que se dispone de una gran parcela para ubicar la planta de compostaje.

Los elementos necesarios en la instalación de la planta de compostaje de pilas volteadas son: una báscula, vestuarios y oficina, muelle de descarga de los residuos, zona de pretratamiento, almacén de materiales a tratar, zona de fermentación, zona de maduración, almacén de compost y elementos complementarios como pueden ser una valla de cierre perimetral, puerta de entrada al recinto, un tanque para la recogida de lixiviados, puntos de iluminación o diferentes elementos de control del proceso de compostaje.

Atendiendo a la metodología seleccionada se ha realizado un dimensionamiento de los elementos de la planta de compostaje optando por unos modelos concretos de elementos que permiten tener el espacio suficiente para su buen funcionamiento. En concreto, se ha elegido casetas de obras como vestuarios y oficina (modelo EP 6000), una pala cargadora para realizar operaciones de carga y descarga de grandes volúmenes de material (modelo Caterpillarr 242D3), una trituradora biológica para funciones de pretratamiento (modelo UNTHA LR700), una puerta de acceso con barrotes de la empresa ROPER y para la báscula se usarán células de carga de compresión BG-GTD en acero inoxidable OIML-R60-C3, previamente testadas.

Teniendo esto en cuenta en la tabla siguiente se muestran las dimensiones de los elementos de la planta de compostaje propuesta.

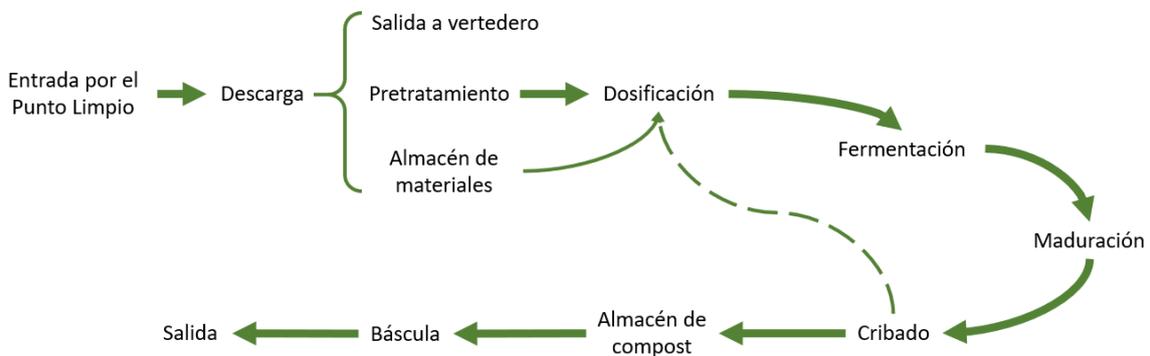
Elementos	Dimensiones (m)
Báscula	3 x 9
Muelle de descarga	10 x 10
Zona de pretratamiento	5 x 5 x 3
Almacén de materiales	15 x 20 x 3,3
Zona de fermentación	8 x 40 x 4,5
Zona de maduración	10 x 15 x 3
Almacén de compost	10 x 15 x 2,5
Elementos complementarios:	
Puerta de acceso	10 x 2
Tanque de lixiviados	5 x 5 x 2



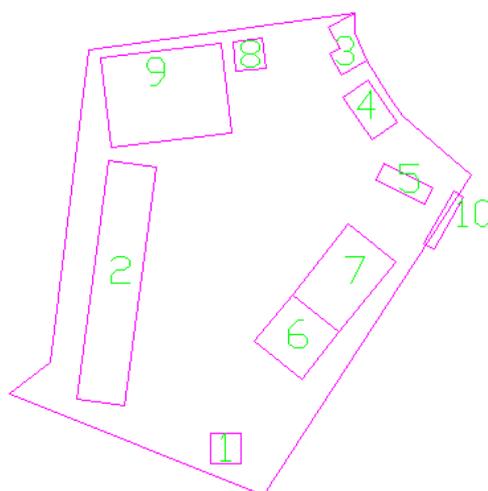
Para la ubicación de planta de compostaje se partía de dos lugares concretos, contiguo al punto limpio, o a la entrada del vertedero municipal. Finalmente se escogió unificar la planta de compostaje con el punto limpio a fin de concentrar la gestión de los residuos de la fracción vegetal creando un pequeño complejo medioambiental.

Las coordenadas UTM de la parcela del punto limpio próximo a la ubicación de la planta de compostaje de residuos de podas y siegas son UTM ETRS89 zona 30N X 414.683 Y 4.809.020.

En la configuración de la planta se ha tenido en cuenta el recorrido que realizarán los residuos en la instalación y que se muestra en la siguiente figura.



Este diagrama de flujo se utilizó para diseñar la planta facilitando el transporte del material e intentando economizar esfuerzos a la hora de mover la maquinaria pesada (pala cargadora y camiones). Teniendo en cuenta lo anterior, la configuración final de la planta es la que aparece en la siguiente figura en la que aparece el tanque de lixiviados (1), la zona de fermentación (2), el muelle de descarga (3), los vestuarios y la oficina (4), la báscula (5), el almacén de compost (6), la zona de maduración (7), la zona de pretratamiento (8), el almacén de materiales (9) y la puerta de acceso (10).





Por último, se evaluó su viabilidad económica de la planta de compostaje en Fase I tanto de su construcción como de su puesta en marcha. Se estima que para su construcción se realice en 6 meses y tendrá un coste inferior a los 500.000 €, mientras que para la estimación del coste de operaciones (90.000 €/año) se tuvo en consideración el coste de mantenimiento y maquinaria (30.000 €/año), el del personal (40.000 €/año) y el de la energía (20.000 €/año).



Abstract

TFG Title: Dimensioning study for a municipal pruning and mowing waste composting plant in Suances

Author: Pablo Bengochea Mantecón

Directors: Amaya Lobo García de Cortázar
Ana López Martínez

Major: Civil engineering, Specialisation in Hidraulics and Hidrology

Keywords: Composting plant; City Council of Suances; Vegetable waste; Plant fraction; Suances; Phases; Dimensioning; Waste from pruning and mowing; Leaves; Coarse pruning; Composting piles turned.

Abstract:

Suances is a municipality in Cantabria that needs to improve its current waste management, especially vegetable waste and waste from pruning and mowing.

Thus, the purpose of this Final Degree Project is to select the optimal composting methodology for the waste to be managed, as well as to find a suitable location for the composting plant to be built. A precise dimensioning of the elements that make up this plant has been carried out and a brief economic assessment of both its construction process and its operating cost is provided.

At present, this type of waste entails high transport and treatment costs. At the moment, a municipal brigade and a subcontracted company are responsible for transporting the waste, while the destination of the waste is the old municipal landfill site, where it is used as filler material. In the case of large volume waste, the company Cántabra de Turba is in charge of its management.

This situation is likely to worsen in the future, as Suances is a town with a high tourist interest in holidays, and for the recent reasons of the pandemic, an important policy is being developed to encourage the urban exodus. It is estimated that by 2032 the municipality will have a population of 10.300 inhabitants, 18% more than in 2017. This population increase will lead to a growth of waste generation in general, and of pruning and mowing waste in particular, reaching a production of 3.900 ton in 2032.

This project will be carried out in phases, so that it does not involve a large investment for the City Council, nor an extreme change for the inhabitants of the municipality in terms of the way they collect their vegetable waste.



The complete composting plant project will consist of an initial construction phase and two further phases of expansion, both in terms of the size of the elements and the radius of action. The three phases of the project are described below:

- **Phase I:** sufficient quantity will be treated to supply the municipal gardens with the compost produced, estimated to be 20% of the pruning and mowing waste generated from 2022 to 2032. The vegetable fraction from the villages of Suances and Cortiguera will be collected.
- **Phase II:** its capacity will be increased to 60% of the waste generated. And its radius of action will be extended towards the west, covering the villages of Hinojedo, Tagle and Ongayo.
- **Phase III:** by 2050 the plant will be operating at full capacity and will be able to treat more than 4.000 ton/year, collecting pruning and mowing waste from all over the municipality, including neighbouring municipalities.

Composting is a biological process in which organic waste is decomposed by the action of aerobic micro-organisms, resulting in carbon dioxide, water, heat and a stabilised compound called compost.

When the pruning and mowing waste arrives at the composting plant, it will be classified into three categories: mowing and grasses, leaves and coarse pruning. Subsequently, they are dosed to generate a uniform mixture containing 70% of low degradable materials and 30% of non-woody debris. The rest of the plant fraction waste that is not dosed when unloaded is stored for subsequent treatment.

Once the mixture to be treated has been prepared, the next step in the treatment process is the active or fermentation stage, where biodegradation takes place at high temperatures. It is a very demanding stage, so it is necessary to comply with certain working conditions of humidity, temperature, aeration and characteristics of the mixture in order to carry out the composting process successfully. Some of these conditions are shown in the following table:

Variable	Optimal range
Structure	Sizes between 2 - 5 cm
Airation	periodic turn-over
Temperature	55 - 75°C
Wetness	40 - 65%
pH	6 - 8
C/N ratio	25/1 – 35/1



On the other hand, of the possible technological solutions currently available and according to the needs in terms of amount of material, investment cost, complexity of the technology, operating cost and the surface area required for the installation, **composting piles turned** were chosen as the optimal solution for this case.

The selected option has a lower investment and operating cost compared to the other technologies and is suitable for the treatment of small quantities of waste (3,900 t/year). The main disadvantage of this system is the surface area required for its implementation, although, in this case, the surface area is not a real conditioning factor as there is a large plot of land available for the composting plant.

The elements necessary for the installation of the turned windrow composting plant are: a weighing machine, changing rooms and office, waste unloading dock, pre-treatment area, storage of materials to be treated, fermentation area, maturation area, compost storage and complementary elements such as a perimeter fence, entrance door to the site, a tank for leachate collection, lighting points or different control elements for the composting process.

In accordance with the selected methodology, a sizing of the elements of the composting plant has been carried out, opting for specific models of elements that allow sufficient space for its proper operation. Specifically, we have chosen construction site huts as changing rooms and office (model EP 6000), a loader for loading and unloading large volumes of material (model Caterpillarr 242D3), a biological shredder for pre-treatment functions (model UNTHA LR700), an access door with bars from the company ROPER and for the weighing scale we will use BG-GTD compression load cells in stainless steel OIML-R60-C3, previously tested.

With this in mind, the following table shows the dimensions of the elements of the proposed composting plant.

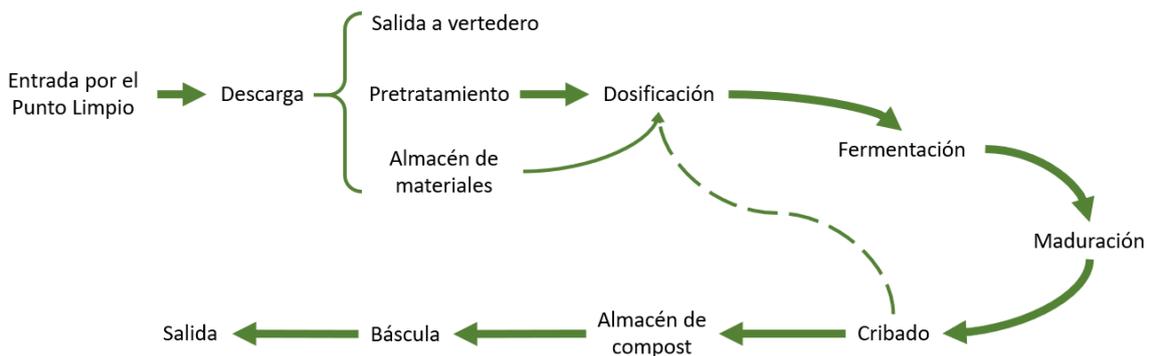
Elements	Dimensions (m)
Weighbridge	3 x 9
Material unloading quay	10 x 10
Pre-treatment area	5 x 5 x 3
Materials store	15 x 20 x 3,3
Fermentation area	8 x 40 x 4,5
Ripening area	10 x 15 x 3
Compost store	10 x 15 x 2,5
Additional elements:	
Access door	10 x 2
Leachate tank	5 x 5 x 2
Perimeter enclosure	250



For the location of the composting plant, two specific locations were considered: next to the clean point or at the entrance to the municipal landfill. In the end, it was decided to unify the composting plant with the clean point in order to concentrate the waste management of the vegetable fraction, creating a small environmental complex.

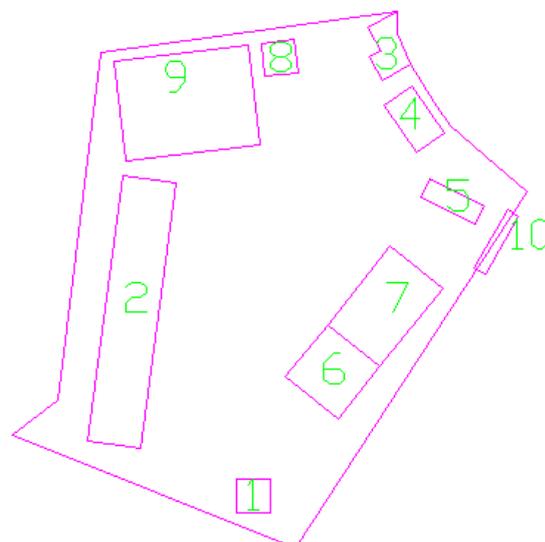
The UTM coordinates of the clean point plot near the location of the pruning and mowing waste composting plant are UTM ETRS89 zone 30N X 414.683 Y 4.809.020.

The configuration of the plant has taken into account the route that the waste will take through the installation, which is shown in the following figure.



This flowchart was used to design the plant in order to facilitate the transport of the material and to try to save efforts when moving heavy machinery (loader and trucks). Taking into account the above, the final configuration of the plant is as shown in the following figure, which shows the leachate tank (1), the fermentation area (2), the material unloading quay (3), the changing rooms and office (4), the weighbridge (5), the compost store (6), the ripening area (7), the pre-treatment area (8), the materials store (9) and the access door (10).

Finally, the economic feasibility of the Phase I composting plant was assessed for both its construction and start-up. It is estimated that its construction will take 6 months and will cost





Finally, the economic feasibility of the Phase I composting plant was assessed for both its construction and start-up. It is estimated that its construction will take 6 months and will cost less than 500,000 €, while for the estimation of the operating cost (90.000 €/year), the cost of maintenance and machinery (30.000 €/year), work staff (40.000 €/year) and energy (20.000 €/year) were taken into consideration.



**ESTUDIO DE DIMENSIONAMIENTO PARA UNA PLANTA DE COMPOSTAJE
DE RESIDUOS DE PODA Y SIEGA MUNICIPAL EN SUANCES**



Pablo Bengochea Mantecón



Índice

1. Introducción.....	1
2. Antecedentes y Objeto.....	2
3. Ámbito de actuación	3
4. Datos de partida	5
4.1 Población objeto.....	5
4.2 Estudio de generación	6
4.2.1 Variación anual	8
4.2.2 Recolección de los residuos	9
5. Estudio de necesidades	11
6. Selección de la tecnología	15
6.1 Descripción del proceso	15
6.2 Condiciones de trabajo.....	18
6.3 Parámetros de diseño.....	19
6.4 Alternativas tecnológicas	20
6.5 Selección de la solución.....	23
7. Dimensionamiento	25
7.1 Descripción de los elementos	25
7.2 Dimensión de los elementos	32
7.3 Predimensionamiento de las futuras fases	36
8. Ubicación y configuración de la planta	39
8.1 Ubicación de la planta	39
8.2 Configuración de la planta	42
9. Valoración económica	45
9.1 Valoración económica de la construcción	45
9.2 Coste de operaciones	49
10. Bibliografía.....	52
Anexos.....	58
Anexo 1.- Planos.....	59



Anexo 2.- Documentación técnica..... 68



Figuras

Figura 1. Mapa mudo de Suances en Cantabria	3
Figura 2. Mapa de situación de Suances.....	3
Figura 3. Distribución temporal de residuos	8
Figura 4. Distribución cuantitativa de los residuos	10
Figura 5. Radio de actuación por fases	12
Figura 6. Proceso de Compostaje.....	15
Figura 7. Fases del compostaje	17
Figura 8. Esquema de pilas volteadas	21
Figura 9. Tambor de compostaje	22
Figura 10. Nave de compostaje.....	23
Figura 11. Ejemplo de estructura de descarga de la planta de compostaje de Bezana	26
Figura 12. Estructura para cubrir las pilas de compostaje	27
Figura 13. Dibujo técnico general del almacén de compost y la zona de maduración	29
Figura 14. Puerta de acceso ejemplo de la planta de compostaje de Bezana.....	30
Figura 15. Porcentaje de superficie ocupada por cada fase del compostaje	36
Figura 16. Posible ubicación de la planta junto al punto limpio.....	39
Figura 17. Posible ubicación de la planta a la entrada del vertedero.....	40
Figura 18. Simulación histórica del viento en Suances el año 2020	40
Figura 19. Gran depresión en la finca del vertedero	41
Figura 20. Tendido eléctrico en la finca del vertedero.....	41
Figura 21. Ubicación finalmente escogida	42
Figura 22. Diagrama de flujo	43
Figura 23. Distribución de la planta	43
Figura 24. Cronograma de las principales actividades de obra.....	47
Figura 25. Reparto de costes por sectores.....	51



Tablas

Tabla 1. Superficie de recogida	4
Tabla 2. Cálculo de la tasa de crecimiento	6
Tabla 3. Propiedades de la poda triturada	7
Tabla 4. Resumen de la composición de los restos	14
Tabla 5. Parámetros indicadores y rangos recomendados	19
Tabla 6. Tabla de comparativa de procesos	24
Tabla 7. Parámetros en la maduración	28
Tabla 8. Dimensiones de los elementos en planta	33
Tabla 9. Cálculos de dimensionamiento	33
Tabla 10. Alturas totales de los elementos	36
Tabla 11. Predimensionamiento de la Fase II del proyecto	37
Tabla 12. Predimensionamiento de la Fase III del proyecto	38
Tabla 13. Resumen de los conceptos incluidos en cada capítulo del presupuesto de construcción.....	45
Tabla 14. Mediciones y presupuesto por capítulos.....	47
Tabla 15. Resumen del presupuesto por capítulos	48
Tabla 16. Cálculos del presupuesto por capítulos de energía eléctrica.....	50
Tabla 17. Cálculos del presupuesto por capítulos de los combustibles fósiles	50



1. Introducción

En la Unión Europea (UE) se plantean una serie de directrices en lo relativo a los residuos y al medio ambiente, como la reducción de vertido a vertedero de los residuos municipales hasta un máximo del 10% para 2035, o la implantación obligatoria de la recogida separativa de biorresiduos antes de 2024 (Chifari, 2021). No obstante, para acatar estas indicaciones es necesario proponer soluciones y tratamientos alternativos para llegar a conseguir estos nuevos estándares.

El compostaje puede ser la solución para gran parte de los residuos orgánicos, ya que durante su tratamiento en la planta de compostaje los residuos disminuyen su volumen considerablemente y como producto final obtenemos un recurso con diferentes usos. Además, esta práctica obligaría a realizar una recogida separativa agilizando así el proceso y a la vez cumpliendo los objetivos marcados por la UE.

En nuestro país, hace tiempo que se trabaja en esta materia, así es como en 2016 se consiguió recoger hasta 3.826.300 t de forma separada. En 2015 un 57,8% de los residuos y ya en el año siguiente esta cifra se consiguió bajar del 54%. También, es significativo el aumento en los últimos años de los residuos reciclados (INE, 2019). Todas estas prácticas de reciclaje y la importancia de separar los residuos han ido calando poco a poco en la sociedad española con el paso de los años, al igual que lo hará el compostaje ya que es un tema no muy conocido en la actualidad, pero capaz de convertir un residuo en un recurso.

En este documento se valorará el caso concreto del municipio de Suances, en Cantabria, estudiando la zona y su sistema de recogida para poder proponer la construcción de una planta de compostaje que se adecue en tamaño, ubicación y tecnologías disponibles a lo requerido por el Ayuntamiento de Suances.

Finalmente, se propondrá una distribución y dimensionamiento de los elementos de la planta y se valorará económicamente el coste de su construcción y de su puesta en marcha.



2. Antecedentes y Objeto

Suances es un municipio de Cantabria que necesita mejorar su gestión de residuos actual, en especial la de restos vegetales, residuos procedentes de podas y siegas.

Actualmente, el Ayuntamiento no realiza ningún tipo de gestión específica para este tipo de residuos. En general, los residuos generados en los jardines municipales se llevan a la empresa Cántabra de Turba, para la restauración de terrenos degradados y/o creación de abono orgánico (Cántabra de Turba, 2021). Por otro lado, los residuos de jardín procedentes de los vecinos del municipio se depositan de forma no uniforme en dos lugares: en los contenedores de la fracción resto de la recogida de los residuos sólidos urbanos (normalmente en bolsas de plástico), o en contenedores metálicos abiertos localizados en puntos estratégicos de mayor generación (que se utilizan como relleno del antiguo vertedero municipal de inertes de Suances).

En definitiva, este tipo de residuos y su actual gestión genera un coste elevado al Ayuntamiento dado su gran volumen de producción.

Para fomentar la separación en origen de los biorresiduos y su tratamiento y aprovechamiento posterior el Ministerio para la Transición Ecológica convoca las ayudas del Plan de Impulso al Medio Ambiente (PIMA). De esta forma se busca impulsar actuaciones que permitan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, impulsar acciones a favor de la mejora del medio ambiente y de la integración de las políticas de calidad ambiental, así como el cumplimiento de los objetivos relativos a las energías renovables (Ambium Consultores, 2019).

Para solucionar este problema de gestión de residuos se propone construir una Planta de Compostaje para residuos de fracción vegetal (FV). De esta forma se reduce parcialmente el volumen de esta problemática y se daría una salida a un producto procedente de un residuo que actualmente es un problema.

Este trabajo tiene como objetivo principal realizar el dimensionamiento y la valoración económica de una planta de compostaje a construir en el municipio de Suances para gestionar este tipo de residuos. Se seleccionará la ubicación más idónea para la instalación y la mejor alternativa disponible para su implantación además del diseño y viabilidad económica del proyecto.

3. Ámbito de actuación

De inicio la futura planta de compostaje recibirá una fracción de los residuos vegetales procedentes del municipio de Suances, en Cantabria (ver **Figura 1**). Posteriormente, existirá la opción de ampliar el radio de actuación a los municipios adyacentes, ampliando las dimensiones de la planta por fases, para aumentar su capacidad de tratamiento sin afectar al funcionamiento de esta, en el momento que se realice la obra.



Figura 1. Mapa mudo de Suances en Cantabria (Wikipedia, 2021)



Figura 2. Mapa de situación de Suances (MICHELIN, 2020)



Los residuos a tratar por la planta serán los residuos vegetales municipales procedentes de los siguientes usos del suelo:

- **Edificación residencial unifamiliar**, de la superficie total de este tipo de suelo se estima que entre a la planta de compostaje un 50%, ya que es preciso tener en cuenta la superficie ocupada por las edificaciones.
- **Espacios libres de uso público**, se incluyen en este epígrafe las playas y los jardines municipales. Por tanto, se considera una superficie de jardín del 30% sobre la total.

En la **Tabla 1** se muestra la superficie dedicada a cada uso del suelo que es relevante para este estudio. En el Anexo 1 aparecen detalles sobre el plano correspondiente a los usos del suelo.

Tabla 1. Superficie de recogida (Dirsur, 2019)

Uso del suelo:	Superficie:
Edificación residencial unifamiliar	5.789 m ²
Espacios libres de uso público	66.569 m ²

Además, sería necesario añadir a la cantidad total del residuo gestionado por la planta los restos vegetales procedentes de las **empresas de jardinería** de la zona (actualmente no se tiene cuantificada su importancia en la aportación de residuo) y los restos leñosos o **poda gruesa** de los árboles de fincas particulares (Ambium Consultores, 2019).



4. Datos de partida

4.1 Población objeto

Como se ha mencionado anteriormente, la planta de compostaje se quiere construir para dar servicio a todo el municipio de Suances, tanto para los residuos de podas y siegas municipales como para los residuos de particulares, incluyendo los restos intermitentes de las empresas de jardinería de la zona.

Para calcular su dimensionamiento se ha tomado como población base del estudio la población de Suances en 2017, 8.645 habitantes, según el Instituto Cántabro de Estadística (ICANE) (ICANE, 2019). Teniendo en cuenta que la planta de compostaje tendrá una vida útil de 10 años y contando con una posible ampliación en el futuro se estima para el municipio una población en 2032 de 8.710 habitantes (ICANE, 2019).

En estos tiempos de pandemia se ha desarrollado un éxodo urbano importante y ante las situaciones futuras de posibles confinamientos, las personas en búsqueda de viviendas optarán en mayor medida por viviendas unifamiliares con jardín.

También, es necesario considerar la fuerte campaña política que está realizando desde el Gobierno de Cantabria para fomentar el retorno de la población joven a los pueblos. Es el caso de Suances, ya que es una villa con alto interés turístico vacacional, lo cual incrementará su población de forma exponencial en la estación de buen clima.

Como los datos del ICANE no consideraron la crisis pandémica de 2020-2021 y lo que esta situación involucra, se ha estimado la población futura a partir de un modelo poblacional geométrico que se detalla a continuación:

$$P_t = P_o \times (1 + r)^t$$

Siendo:

P_t: población del año t

P_o: población del año 0

r: tasa de crecimiento

Para calcular la población en el año 2032 es necesario conocer la tasa de crecimiento media en los últimos años a partir de los datos que contiene la **Tabla 2**. Por lo que tendremos una tasa de crecimiento (r):



Tabla 2. Cálculo de la tasa de crecimiento

Año	Población	r
2009	8.229	
2010	8.365	0,01653
2011	8.489	0,01567
2012	8.451	0,00891
2013	8.552	0,00967
2014	8.580	0,00839
2017	8.645	
	r_{media}	0,01183

Aplicando la tasa media obtenida al modelo poblacional geométrico la población del año 2032 con la que se realizarán las estimaciones será de **10.300 habitantes**.

4.2 Estudio de generación

La planta de compostaje tratará residuo vegetal, específicamente la FV. Esta fracción está compuesta por una mezcla de materiales generalmente de baja degradabilidad, bien por ausencia de algún componente principal para el desarrollo de microorganismos (agua, nitrógeno, carbono...) o por presentar acidez o basicidad extrema. Se estima que la FV puede representar más de un 7% en peso de los residuos municipales. Dentro de la FV se encuentran los restos de jardines (césped, hojas, flores) y la poda de árboles o arbustos (no se contemplan los restos de verduras que forman parte del contenedor restos) (ARC, 2014, 2016).

Los residuos vegetales que se generan pueden clasificarse en dos grandes grupos (Ayuntamiento de Bezana, 2020):

- **Restos verdes:** se trata de los restos procedentes de la siega de césped y recogida de hojas, incluyendo los restos de poda de mantenimiento de los arbustos. Estos restos no necesitan tratamiento previo.
- **Poda gruesa:** son los restos procedentes de la poda de arbolado. Estos restos necesitan un pretratamiento de trituración, para reducir su tamaño y facilitar su valoración. En la **Tabla 3** se muestran las características típicas de la poda triturada (ARC, 2014).



Los residuos procedentes de las empresas de jardinería quedarían fuera de estos dos grandes grupos ya que tienen un sistema de recogida diferente e independiente del resto.

Tabla 3. Propiedades de la poda triturada (ARC, 2014)

Humedad	20 – 40%
Materia orgánica	80%
Nitrógeno orgánico	1 – 1,2%
Relación C/N	35/1 – 40/1
Densidad	0,3 t/ m ³

A continuación, se muestran los diferentes métodos de recogida de la FV dependiendo de su procedencia:

- **Poda de arbustos:** los arbustos de los jardines municipales se podan de forma periódica, generalmente una vez por cada estación. Esta labor, junto con el transporte a planta, la realiza la brigada municipal del Ayuntamiento (Ambium Consultores, 2019).
- **Poda gruesa:** la brigada municipal se encarga de la poda del arbolado público, que se realiza una vez al año. También se encargaría de su transporte a la planta y del transporte de los restos de poda gruesa generados en fincas privadas, para lo cual será preciso solicitar sus servicios al Ayuntamiento con anterioridad.

Este tipo de residuos está previsto que llegue a la planta en los meses de otoño e invierno.

- **Hojas:** este residuo se caracteriza por su periodicidad, solo se generan en la estación de otoño, entre los meses de septiembre a diciembre (Ambium Consultores, 2019). De su recogida y transporte también se encargará la brigada municipal.
- **Siega:** este tipo de residuo tiene dos fuentes de generación, municipal y privada. De la siega de los jardines municipales al igual que el transporte se encarga la brigada municipal. Por otro lado, los residuos originados en la siega de jardines privados los gestiona el propietario, depositándolos en unos contenedores especializados para este tipo de residuo, de su transporte a la planta se encargaría una empresa de transporte subcontratada por el Ayuntamiento.
- **Jardinería:** de los residuos generado por las empresas de jardinería no se tienen datos actualmente. Se supone una carga homogénea en el tiempo, de bajo volumen de material. Aunque podemos esperar pequeños picos de producción entre los meses de noviembre y febrero por las festividades en esas fechas. Las mismas empresas serán las encargadas de recoger sus propios restos y depositarlos en los contenedores especializados para este tipo



de residuo que deberán solicitar al Ayuntamiento, para que este se encargue del transporte a planta.

4.2.1 Variación anual

Según la información disponible, se prevé que los meses de mayor entrada de residuos son los meses de verano (mayo y junio), siendo la mayoría de estos residuos procedentes de siegas. Por otro lado, durante el otoño (de septiembre a diciembre) los residuos que más se generan son residuos de poda y hojas. La **Figura 3** muestra la distribución anual de la generación de los diferentes tipos de residuos de jardín con una escala cualitativa aproximada (Ambium Consultores, 2019).

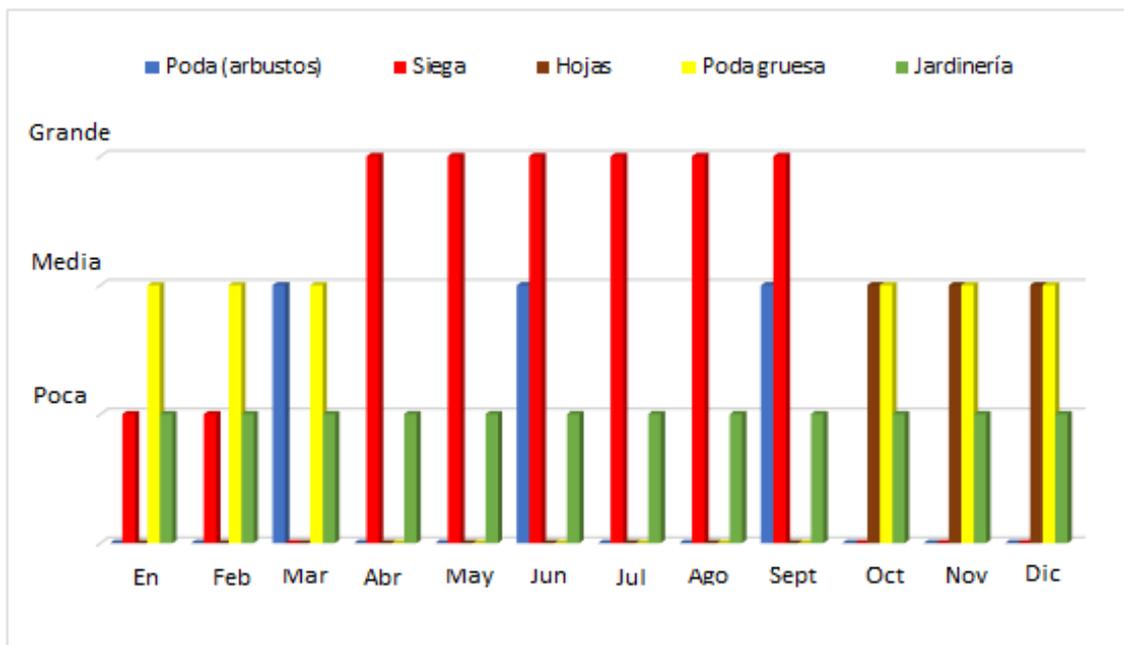


Figura 3. Distribución temporal de residuos (Ambium Consultores, 2019)

No existen datos de caracterizaciones previas realizadas a los biorresiduos vegetales que se tratarían en la planta de compostaje. Pero, al provenir de un modelo de recogida separada se espera un contenido de impuros por debajo del 5% en peso, lo cual no afectaría a la eficiencia del proceso de compostaje ni a la calidad del producto (Vermican Servicios Ambientales, 2018).



4.2.2 Recolección de los residuos

La información disponible por parte de los operarios del Ayuntamiento está relacionada con la maquinaria utilizada en la recogida de la FV y unas frecuencias aproximadas.

Actualmente, se cuenta con un camión grúa de 10 m³ que trabaja durante todo el año, de abril a septiembre trabaja a un ritmo de 8 descargas diarias mientras que el resto del año realiza 4 descargas al día.

Durante dos meses en verano, por el aumento de la demanda, se añade a la flota un camión de 12 m³, de la empresa de transporte subcontratada por el Ayuntamiento, que realiza una media de 12 descargas diarias (Ambium Consultores, 2019).

Se estima que actualmente el volumen anual de residuos producido sea 20.000 m³ aproximadamente.

Una vez los residuos se depositan en la planta y empiezan a formar parte del proceso de compostaje, se clasifican en tres categorías según sus características para realizar una dosificación ajustada.

- **Siega de césped y gramíneas:** proceden mayoritariamente de los jardines municipales, de las viviendas unifamiliares que soliciten el servicio de recogida y de las empresas de jardinería.
- **Hojas:** procedentes exclusivamente de los árboles que se encuentran en los jardines municipales.
- **Podas gruesas:** generada tanto de los jardines municipales como del arbolado de fincas privadas, solicitando previamente su recogida.

Se prevé que para el año 2032 el volumen de residuos anuales producidos aumente hasta llegar a 24.000 m³ aproximadamente. Así que, para la entrada de materiales en planta tendremos una distribución cuantitativa aproximada a la de la **Figura 4:**



Pablo Bengochea Mantecón

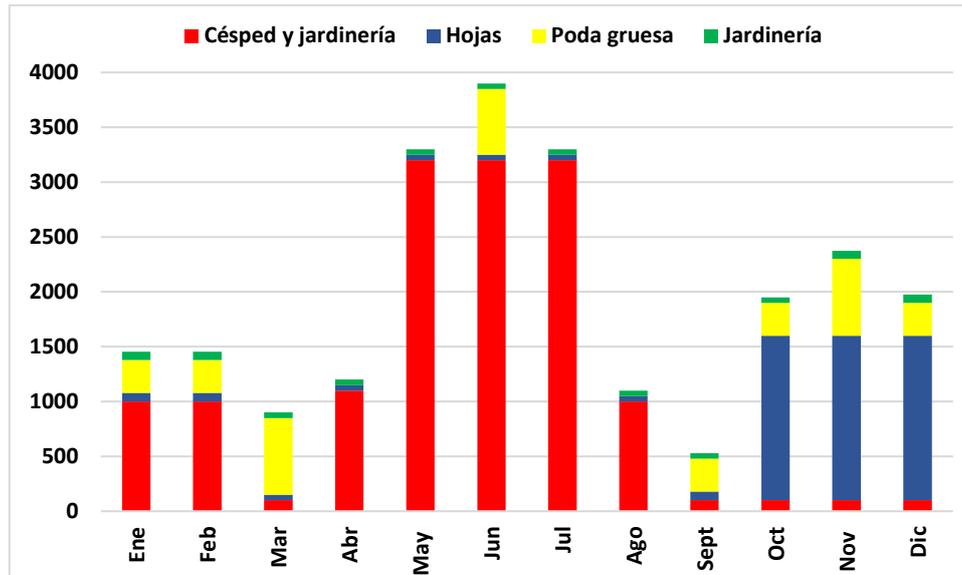


Figura 4. Distribución cuantitativa de los residuos



5. Estudio de necesidades

La realización de este proyecto se desarrollará por fases, para que este no suponga una gran inversión para el Ayuntamiento, ni un cambio extremo para los habitantes del municipio en cuanto a la forma de tratar sus residuos de FV, es decir, su método de recogida diferente al resto de residuos.

Cada fase implicará un aumento de la cantidad de materiales que entran a la planta, a la vez que involucra un crecimiento del radio de actuación, hasta el punto de poder colaborar con los municipios colindantes para gestionar de manera uniforme y conjunta los residuos de poda y siega.

Es preciso matizar que cada fase de ampliación de este proyecto llevará implícito una campaña social de concienciación e información del proceso que se va a realizar y de cómo el compostaje puede ser beneficioso para los ciudadanos del municipio.

Las fases propuestas son las siguientes:

- **Fase I:** en esta primera fase se definirá una planta de compostaje con elementos flexibles y versátiles, con capacidad de ampliación futura. Se recogerán los residuos necesarios para abastecer de compost a los jardines municipales. Por lo que habrá una parte que se destinará al vertedero municipal de inertes.
- **Fase II:** es la fase intermedia del proyecto, en esta el compost generado se repartirá entre la red de vecinos del municipio que participen en el proceso aportando sus residuos de poda y siega según unas directrices marcadas por el Ayuntamiento, a parte de lo necesario para la red de jardines municipales y espacios públicos. En esta segunda fase se pretende reducir la cantidad de residuo destinado a vertedero a la vez que se amplía el radio de actuación.
- **Fase III:** para esta última fase de implantación, lo que se pretende es tener una producción nula de residuos de poda y siega que no se aproveche para el compostaje, esto implica, recoger todos los desechos de FV que se generen en el municipio. Incluso se plantea la opción de abrir los límites de recogida colaborando con los municipios adyacentes para desarrollar una gestión unificada de este tipo de residuo. El producto que se genere con este proceso, el compost, se usará para regenerar los suelos degradados y también como fuente de ingreso con su comercialización. De este modo, la aportación a vertedero después de esta fase sería inexistente.

En todas las fases del proyecto se intentará tener control vía módem de la planta, con el fin de controlarla de forma remota. Esta medida se llevará a cabo mediante paneles individuales informatizados para cada etapa proceso, es decir, usando un sistema modular que permita su ampliación y reacondicionamiento en el futuro. Este sistema permitirá tener centralizada la

información sobre la realización del proceso de compostaje en todas sus fases (variables de control) y también poder realizar un balance entre el material que entra a la planta y el compost producto que es pesado en la báscula.

En este trabajo se aborda la primera fase del proyecto y su puesta en marcha. Para ello, se fijan unas metas y un horizonte temporal para poder tener un control de la situación y mejorar en base a esos propósitos.

En esta **Fase I** el objetivo principal es recoger la porción de cada tipo de residuo necesaria para tener una buena mezcla y almacenar residuos de baja degradabilidad ya que son los que se generan en puntas (como las hojas en otoño). El excedente que ya no sea aprovechable se destinará al relleno del antiguo vertedero municipal de inertes que se encuentra entre el Monte de la Jerra y la urbanización de La Tablía, ya que cuenta con un gran hoyo y su relleno es la práctica habitual sin causar ningún tipo de inconveniente. El relleno de esta zona dejaría la finca del vertedero disponible para otro futuro de uso del suelo, como sugiere el Ayuntamiento.

Esta primera actuación se prevé con un horizonte de 10 años, es decir, a 2032, fecha que se ha tomado como referencia al realizar todos los cálculos. El radio inicial de actuación será recoger los residuos de la FV de los pueblos de Suances y Cortiguera, dos de los tres núcleos urbanos más poblados del municipio. Para, en las siguientes fases, ir ampliando el radio de actuación hacia el sur (Hinojedo) y hacia el oeste (Tagle y Ongayo) hasta poder dar servicio a todo el territorio municipal en la Fase III. La **Figura 5** muestra un esquema del radio de actuación en las tres fases.

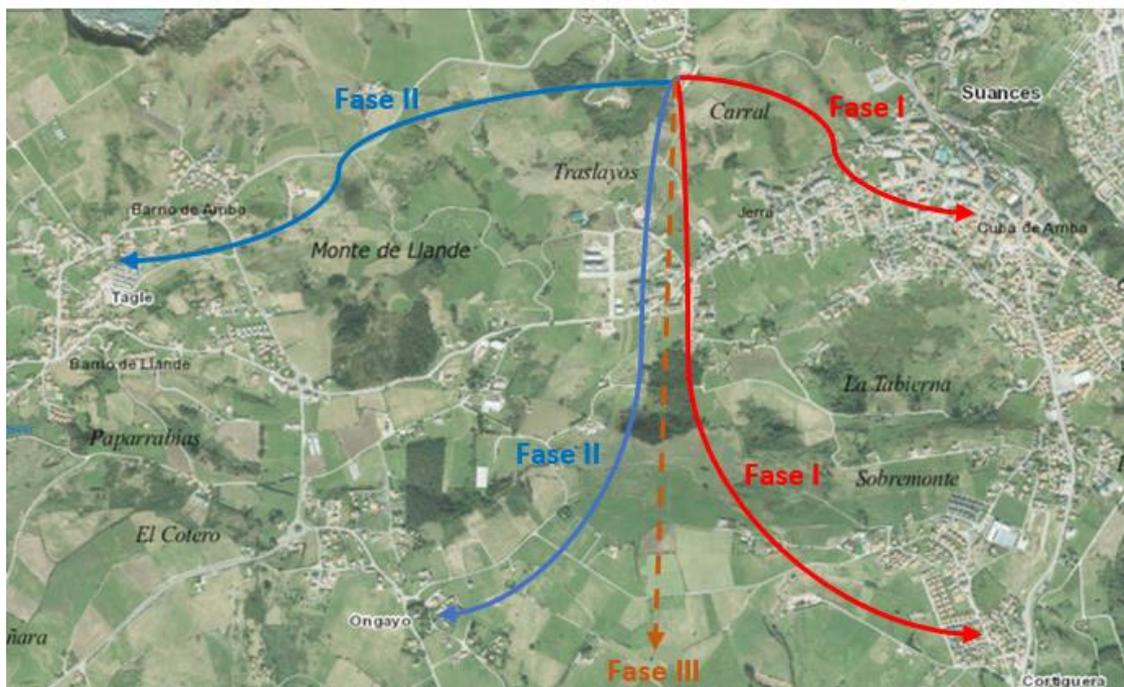


Figura 5. Radio de actuación por fases



El compost producto que se obtenga en esta **Fase I** irá destinado a la regeneración de los jardines públicos a cargo del Ayuntamiento, por tanto, la superficie a cubrir será de 66.570 m² (Dirsur, 2019). Según la bibliografía consultada se estima que se necesiten 2 kg/m²/año en capas finas por debajo de los 2 cm (SIRSD-S, P.S., 2017), lo que se traduce en una cantidad de alrededor de 150 t/año. Esto le supondrá a la planta tratar mínimo un 7% de las 3.900 t anuales que se generarán en el año 2032. Teniendo en cuenta, que el proyecto consta con varias fases de ampliación, la planta de compostaje en la Fase I se diseñará para recibir un **20% de los residuos de poda y siega generados**.

La planta de compostaje recibirá toda la FV que se genere en el radio de actuación previamente mencionado y será *in-situ* donde se realizará la separación por los operarios, y el almacenamiento de los restos leñosos y las hojas, que se usarán como estructurantes en la mezcla. La fracción de residuo que en esta primera fase no se vaya a procesar será destinada al relleno del vertedero de inertes de Suances.

Para saber qué parte de residuo se debe almacenar hay que definir la dosificación del compost al entrar a las pilas. Esta mezcla se compone en un **70% de materiales de baja degradabilidad** y un **30% de restos no leñosos**, principalmente césped ya que no puede almacenarse demasiado tiempo. Pasado el tiempo de fermentación se pueden llegar a recuperar aproximadamente un 50% de restos leñosos al realizar el cribado (Vermican Servicios Ambientales, 2018), lo que hace que la capacidad de almacenamiento disminuya al poder reutilizar material compostable.

Según los datos del Ayuntamiento de Suances la composición de los residuos vegetales actualmente es de un 10% de poda gruesa, un 20% de hierbas y hojas y un 70% de restos de siegas (Ambium Consultores, 2019).

La generación total de residuos de podas y siegas fue de 3.300 t/año en el año 2017, lo que se traduce como una producción específica de 382 kg/hab/año.

En este trabajo se ha considerado que la producción específica se mantiene constante a lo largo del tiempo, ya que al aumentar la población también lo hace la generación de residuos con la aparición de nuevas, muy similar a las casas del entorno (con un jardín privado medio de 20 m²).

De esta forma, en 2032 la generación estimada de este tipo de residuos será de 3.900 t. La **Tabla 4** presenta los datos de partida sobre los residuos generados.

De las casi 4.000 t de residuos de podas y siegas generadas, la planta de compostaje en esta fase deberá ser capaz de recoger un 20% (**780 t/año**), tal y como se refleja anteriormente.

En las siguientes fases del proyecto se estima que la capacidad de la planta de compostaje aumentará hasta el 60% para la **Fase II** y el 100% para la fase final (**Fase III**), es decir, las 4.000 t anuales estimadas anteriormente. Se espera que la instalación esté terminada y funcionando al máximo rendimiento en el año 2050.



Tabla 4. Resumen de la composición de los restos (Ambium Consultores, 2019)

Composición de restos:	Composición (%)	Densidad (t/ m³)
Poda gruesa	10	0,3
Hierbas y hojas	20	0,25
Siega	70	0,1
Densidad media:	0,165 t/m ³	
Residuo actual:	3.300 t	
Producción 2032:	3.900 t	

6. Selección de la tecnología

6.1 Descripción del proceso

El proceso que se va a realizar es el de compostaje de residuos orgánicos, concretamente de la FV de los residuos de podas y siegas del municipio de Suances para conseguir como producto un humus vegetal de buena calidad.

Como se muestra en la **Figura 6**, el compostaje consiste en la descomposición de desechos orgánicos (fuente de nutriente) por acción de microorganismos. Este proceso tiene lugar en presencia de aire y va a generar agua, dióxido de carbono, amoníaco, calor y una pasteurización más estabilizada que denominada compost, producto principal de todo este proceso (Border, 2002). La duración del proceso de compostaje es variable dependiendo de la utilización de algún producto químico que acelere el proceso, de la metodología de compostaje empleada (hileras, tambor, reactor...) y también será condicionado por el tipo de material a compostar.



Figura 6. Proceso de Compostaje (Mancomunidad de Residuos Domésticos de Cinco Villas Bortziriak, 2021)

Dentro de los residuos compostables se distinguen dos grandes grupos (ARC, 2016):

- **Residuos de baja degradabilidad (RBD)**, son los residuos orgánicos que individualmente se ven afectados por una actividad de descomposición microbiana muy escasa, ya sea por ausencia o escasez de algún componente esencial para el desarrollo microbiano (como agua o nitrógeno...) o bien por alguna condición de trabajo fuera de los rangos (como por ejemplo basicidad o acidez extrema). Este tipo de residuos lo conforman en su gran mayoría residuos vegetales dentro de los cuales encontramos la FV, precisamente el objeto a tratar en la planta a diseñar. Entre la fracción vegetal no se contemplan los restos de verduras (que forman parte de la fracción orgánica de los residuos municipales)(ARC, 2014), sino que son todos los materiales que contienen una importante porción leñosa y, por lo tanto, son de lenta degradación (madera de poda, restos forestales, corteza, etc.). Aunque el césped forme parte de la FV no entra dentro de este grupo de baja degradabilidad.



- **Residuos de alta degradabilidad (RAD)**, este tipo de residuos son susceptibles de ser biodegradados con facilidad. Por una cuestión práctica, dentro de la categoría de los RAD se distinguen dos subcategorías:
 - Los RAD preestabilizados, cuando su materia orgánica ha sufrido ya algún tipo de tratamiento biológico antes de la llegada a la instalación de compostaje.
 - Los RAD no preestabilizados, cuando lo anterior no ha sucedido.

Generalmente, el proceso de compostaje puede tener una duración media entre 4 y 6 meses. En este caso, se estima que la duración del proceso se pueda reducir debido al tipo de residuo a tratar y su alto contenido de césped (RAD) (Ambium Consultores, 2019). Durante el compostaje se dan las siguientes fases (ARC, 2016):

1) Etapa activa: está compuesta por las dos fases en las que se desarrolla el proceso de biodegradación a altas temperaturas. Son fases rápidas, donde las emisiones y la necesidad de aireación se encuentran en su nivel más alto. Las fases principales de esta etapa son (Röben, 2002):

1.1) Fase de latencia y crecimiento o fase mesófila: es el periodo de aclimatación de los microorganismos a su nuevo medio y el inicio de la multiplicación y colonización de los residuos. Esta fase tiene una duración de 2 a 4 días y, se inicia con la degradación por parte de las bacterias de los elementos más biodegradables (RAD). Como consecuencia de la acción de estas primeras bacterias mesófilas (actúan en temperaturas medias, por debajo de los 50°C) se comienza a calentar la pila de residuo y se observa la aparición de vapor de agua en la parte superior de la materia vegetal.

1.2) Fase termófila: dependiendo del material de partida y de las condiciones ambientales, el proceso puede durar entre unas semanas, en sistemas cerrados y acelerados, y uno o dos meses en sistemas de fermentación lenta. Como consecuencia de la intensa actividad bacteriana y el aumento de la temperatura en la pila se inicia la aparición de nuevos hongos y bacterias (organismos termófilos). En esta fase se alcanzan temperaturas entre los 55 y 70°C, que es cuando estos organismos comienzan a actuar, produciendo una rápida degradación de la materia. La temperatura alcanzada durante esta fase del proceso produce una esterilización del compost garantizando, de esta forma, la higienización y eliminación de patógenos, larvas y semillas (Suárez Bordón, 2012) para que sea un material homogéneo y uniforme.

Una vez pasado este tiempo disminuye la actividad biológica y se estabiliza el medio. De este modo concluye la **etapa activa** del proceso tal y como se muestra en la **Figura 7**.

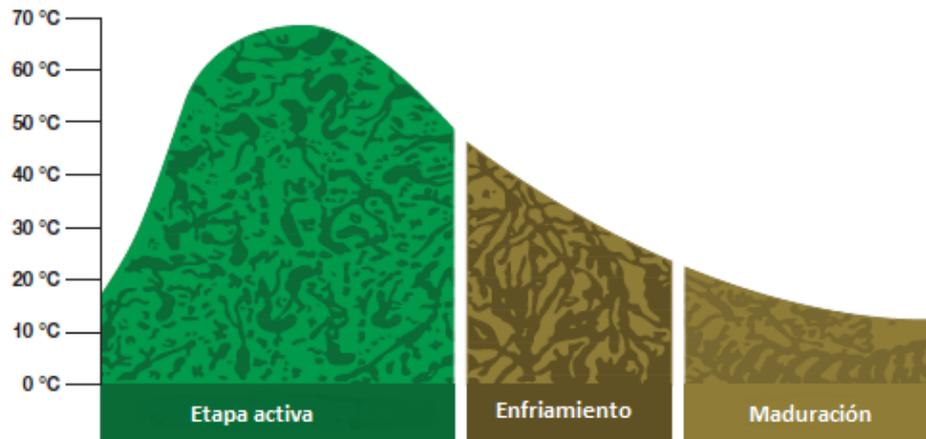


Figura 7. Fases del compostaje (ARC, 2016)

- 2) **Etapa de enfriamiento:** es el periodo de fermentación lenta, que puede llegar a durar 4 meses donde vuelven a colonizar el material los microorganismos mesófilos (Suárez Bordón, 2012). La parte menos biodegradable de la materia orgánica, la más resistente se va degradando. La temperatura de la pila va disminuyendo, hasta valores próximos a la temperatura ambiente, al igual que la actividad de las bacterias y se va estabilizando el residuo, produciéndose la colonización de la pila por todo un mundo de organismos y microorganismos que ayudan a la degradación de esas partes menos biodegradables del residuo.
- 3) **Etapa de maduración:** una vez finalizadas las etapas biológicas del proceso se debe almacenar el producto en un lugar fresco y sombreado, durante un periodo aproximado de 2-3 meses. En este tiempo se dan diferentes reacciones bioquímicas que provocan la obtención de una materia orgánica más estable y con mejores propiedades (Suárez Bordón, 2012). Teniendo en cuenta el periodo de maduración se diferencian dos grados de madurez del compost (MARM, 2009):
 - **Compost fresco:** con un periodo de madurez corto y en el que se aprecia aún materiales sin descomponer. Este producto evita la aparición de malas hierbas y protege el suelo de los cambios de temperatura y humedad.
 - **Compost maduro:** aquel que ha tenido un periodo de madurez largo, en torno a 5 meses, y no se aprecian materiales sin descomponer. Su principal uso es como abono fertilizante.

Es necesario recordar, que para que todo este proceso se realice de forma satisfactoria y poder obtener un compost de alta calidad es imprescindible realizar correctamente una fase previa de



pretratamiento (trituration, humectación y eliminación de gruesos) y dosificación de los materiales que formaran el compost antes de comenzar el proceso descrito.

6.2 Condiciones de trabajo

Para controlar si se está llevando a cabo de forma satisfactoria el proceso de compostaje existen una serie de variables indicadoras, las cuales son de fácil lectura y solución en caso de que alguna de ellas estuviese fuera de los estándares para la correcta realización de dicho proceso. Estas variables son las siguientes (Ambium Consultores, 2019):

- **Estructura:** la reducción de tamaño de las partículas mejora la estructura y facilita el proceso (trituration previa). Con partículas más pequeñas los microorganismos dispondrán de más superficie de borde de grano para actuar. Por otra parte, es necesario un equilibrio entre tamaños de partículas para favorecer la aireación de todas ellas. Se puede concluir con que el tamaño ideal se encuentra entre los 2 y los 5 cm.
- **Aireación:** el compostaje es un proceso aerobio, por tanto, necesita la presencia de oxígeno para desarrollarse, sí se realiza el proceso en ausencia de oxígeno se estaría realizando la digestión anaeróbica, que cambia totalmente todo el proceso desde su inicio. La ausencia de una buena aireación puede acabar traducándose en la generación de malos olores (impacto ambiental).
- **Temperatura:** durante el proceso de fermentación se van sucediendo distintas colonias de microorganismos y se pueden llegar a alcanzar temperaturas de 70°C. De esta forma se logra higienizar el compost y conseguir la inactivación de las semillas que pudiesen estar presentes.
- **Humedad:** para un correcto desarrollo del proceso se requiere una humedad inicial del 30% al 65%, y nunca superior al 80% porque comenzaría a generar malos olores. Es preciso proteger el compost del exceso de lluvia y del viento (ARC, 2004).
- **Relación carbono/nitrógeno (C/N):** el C forma parte de la estructura celulósica y el N abunda en hierba fresca y en excreciones de animales. Una porción óptima se sitúa entre 25/1 y 35/1 partes de carbono por cada parte de nitrógeno.
- **pH:** el proceso se inhibe con un pH menor de 6. La excesiva acidificación del compost es indicio de una incorrecta fermentación.

A continuación, se detallan algunos parámetros que permiten controlar las condiciones de trabajo y el buen funcionamiento del proceso (Ambium Consultores, 2019).



- Si la temperatura es muy alta indicará que la relación C/N está por debajo del óptimo, por tanto, se tendrá un alto contenido de materia orgánica.
- Si se desprende olor a amoníaco, la relación C/N es baja luego presenta exceso de nitrógeno.
- Si la relación C/N es insuficiente aparecerán moscas y otros insectos.
- Si el proceso se retrasa en el tiempo implica que la relación C/N es demasiado alta y los microorganismos no son capaces de procesar todo el residuo disponible.

La **Tabla 5** muestra el rango óptimo de funcionamiento del proceso de las variables a controlar.

Tabla 5. Parámetros indicadores y rangos recomendados (Ambium Consultores, 2019; ARC, 2004, 2016)

Variable	Rango óptimo
Humedad	40 - 65%
Temperatura	50 - 65°C
Porosidad	25 - 35%
pH	6 - 8
Oxígeno	15 – 21%
C/N	25/1 - 35/1
N/P	< 10/1

6.3 Parámetros de diseño

Las características de las instalaciones de la planta varían en función de los residuos que se vayan a tratar (FV y/u otros tipos de biorresiduos), de las cantidades de material a tratar y de la tecnología disponible (que será más sofisticada y automatizada cuanto más desarrollada sea la sociedad donde se desarrolla el proyecto).

En función del tipo de residuo y de la cantidad, se determinan los siguientes parámetros de diseño para la construcción de la planta (Ambium Consultores, 2019; ARC, 2016):

- **Proporción de material estructurante:** el material estructurante es un material complementario que otorga una mejor porosidad o estructura. Suelen ser materiales vegetales con alta proporción en componentes leñosos como puede ser la corteza o la poda triturada.



- **Tiempo necesario para obtener compost**, que oscila entre los 4 y 6 meses, dependiendo de distintos factores.
- **Maquinaria** necesaria y disponible en la zona, hay que adecuar la tecnología a lo que se encuentra en la sociedad.
- **Reducción de volumen** durante el proceso una ratio medio es la reducción de volumen al 60%, es decir, durante el proceso perdemos un 40% de material aproximadamente.
- **Superficie disponible** y pavimentada: dentro de esta superficie habrá que ubicar espacios de procesamiento (abierto o cerrado), báscula (para FV quedaría exento, solo si existe otro medio de tonelaje), de almacenamiento, etc.
- **Sistemas de control** del proceso (sondas de oxígeno, termómetros, higrómetros, etc.).

6.4 Alternativas tecnológicas

Existen diversas alternativas tecnológicas para configurar una planta de compostaje. Para seleccionar cuál es la opción que más se adecua al entorno (municipio de Suances) y al tipo de material a procesar FV, se ha realizado un estudio de comparativas para diferenciar las características de los diferentes procesos de compostaje.

Los dos grandes grupos principales de plantas de compostaje son:

- **Sistemas abiertos:** necesitan una inversión económica baja y una tecnología poco técnica, cuya principal característica es que el material a compostar es apilado al aire libre, preferiblemente en suelos de hormigón. Dentro de los sistemas abiertos podemos clasificarlos en función del parámetro de aireación (Jarre Castro, 2016), de esta manera encontramos:
 - o **Pilas volteadas:** es el método más económico y utilizado. En este proceso los materiales se amontonan sobre el suelo (sin ser comprimidos) controlando la forma (triangular) y medida de la pila (Madrigal, 2005; Wehrhahn, 2006).

Una vez constituida la pila, la única gestión necesaria es el volteo, ya sea manual o con una máquina volteadora especializada. Su frecuencia depende del tipo de material, de la humedad y de la rapidez con la que se desea realizar el proceso. Los volteos sirven para homogeneizar el sustrato y su temperatura, con el fin de eliminar el excesivo calor, controlar la humedad, aumentar la porosidad de la pila para mejorar la ventilación y una mayor distribución de los organismos encargados del proceso. La **Figura 8** muestra un esquema de pilas volteadas.



Figura 8. Esquema de pilas volteadas (Serra do Barbanza, 2021)

- **Pilas aireadas:** para este sistema se colocan los materiales sobre un conjunto de tubos perforados o un suelo poroso, conectados a un sistema que aspira o induce aire a través de la pila, asentada de forma trapezoidal para conseguir su equilibrio (Díaz et al., 2020). Al conformar la pila no se vuelve a tocar hasta que la etapa activa (fase de latencia y fase termófila) del proceso haya finalizado y el sustrato pasa a la fase de maduración. Su aireación funciona cuando la temperatura en el material excede el óptimo y unos sensores térmicos que controlan el ventilador lo activan para que inyecte aire en la pila, abasteciéndola de oxígeno (Wehrhahn, 2006).

En este caso, no hay mecanismos para mezclar el material durante el proceso de compostaje, este proceso se utiliza para materiales muy homogéneos, con una fase de pretratamiento muy importante y laboriosa. La ventilación controlada impulsa la actividad de los microorganismos encargados del compostaje. El sistema es también más económico por la poca intervención mecánica que se requiere (sólo se requiere inversión en el sistema de ventilación). La capacidad de la planta de compostaje varía según el número de unidades de ventilación y de su modelo, así como la naturaleza de los materiales.
- **Sistemas cerrados:** son sistemas de mayor inversión y tecnologías más modernas para que el material a compostar no esté nunca en contacto con el exterior. Los sistemas cerrados ofrecen un control total y riguroso de los parámetros del compostaje (humedad, temperatura, relación C/N, ...) y controlan la emisión de los malos olores, produciendo una descomposición más rápida y completa de la materia orgánica que, además, las condiciones meteorológicas y ambientales no pueden alterar (Jarre Castro, 2016).

Los sistemas cerrados pueden ser continuos donde el sustrato a compostar entra de forma ininterrumpida en el reactor, o discontinuos donde el material entra una vez se ha vaciado el reactor. A continuación. Se describen tres tipos de sistemas cerrados:

- **Tambor:** el reactor es un tambor de rotación lenta. Estos tambores pueden trabajar de forma continua o por cargas y se fabrican de diferentes tamaños y formas. El material principal que los compone es el acero y la mayoría suelen tener un aislamiento térmico (Ossa Vásquez, 2008; Wehrhahn, 2006). El proceso de descomposición tiene lugar dentro del tambor. Gracias a la rotación de este, el material es aireado y homogeneizado. Las emisiones de olor, que alcanzan valores máximos al principio del proceso, son extraídas por el sistema de ventilación del tambor y redirigidas para su mitigación y eliminación. La **Figura 9** muestra un tambor de compostaje.



Figura 9. Tambor de compostaje (Tortosa, 2015)

- **Túnel:** este sistema implica la construcción de una serie de habitáculos de hormigón, con una vía de ventilación controlada por impulsión o aspiración, para el aporte de oxígeno. En este caso el residuo se encuentra estático y el proceso es completo. Este sistema presenta numerosas ventajas, debido a que permite controlar de manera exhaustiva las variables críticas del proceso de compostaje, así como controlar los gases que causan los malos olores y recoger el lixiviados para su reutilización en el sistema de riego. Pero por el contrario, este proceso implica una gran inversión inicial y elevado coste de mantenimiento (Ossa Vásquez, 2008).
- **Nave:** el proceso de compostaje tiene lugar en una nave cerrada. La ventilación se realiza mediante un sistema de máquinas volteadoras móviles, instaladas con unos sistemas de poleas en el interior de la nave. La **Figura 10** muestra el detalle de una volteadora en una nave de compostaje.



Figura 10. Nave de compostaje (Sutco, 2021)

6.5 Selección de la solución

Las variables que se han valorado en este trabajo para la construcción de la planta de compostaje son las siguientes (Díaz et al., 2020).

Por orden de importancia:

- 1) **Cantidad de material:** qué tipo de planta es óptimo para cada cantidad de material.
- 2) **Complejidad:** cualificación y especialización del personal encargado de la planta de compostaje.
- 3) **Coste de operación:** coste que conlleva procesar una unidad de material compostable en lo referido a la maquinaria utilizada, coste de personal, o de productos químicos si fuesen necesarios.
- 4) **Superficie necesaria:** se refiere a la cantidad de suelo necesario para procesar una unidad de material compostable.
- 5) **Coste de inversión:** coste monetario de la inversión inicial tanto de maquinaria como de la infraestructura.

En la **Tabla 6** aparece una comparativa de las tecnologías de compostaje disponibles para evaluarla según los criterios descritos anteriormente.



Tabla 6. Tabla de comparativa de procesos

	Sistemas abiertos		Sistemas cerrados		
	Pilas volteadas	Pilas aireadas	Tambor	Túnel	Nave
Cantidad de material	Pequeña	Pequeña	Intermedia	Grande	Grande
Coste de inversión	Pequeña	Intermedia	Intermedia	Grande	Grande
Complejidad	Pequeña	Intermedia	Intermedia	Grande	Grande
Coste de operación	Pequeña	Pequeña	Intermedia	Grande	Intermedia
Superficie necesaria	Grande	Grande	Pequeña	Pequeña	Intermedia

Atendiendo a los criterios seleccionados y desarrollados anteriormente, se prefieren los sistemas que no traten una alta cantidad de material, dada la generación estimada entre 3.300 y 3.900 t por año. Por tanto, se desechan las opciones del túnel y la nave de compostaje. Siguiendo con los criterios, la magnitud del proyecto no requiere de una alta complejidad de operación; fijadas unas cantidades de material intermedias y/o pequeñas. Es decir, las opciones que más se ajustan son los sistemas abiertos y el tambor de compostaje.

De entre estas tres opciones finales, la opción seleccionada como la óptima es la del compostaje mediante **pilas volteadas** ya que a diferencia de las pilas aireadas y el tambor su coste de inversión es algo menor. El principal inconveniente de este sistema es la superficie necesaria para su implantación. En este caso la superficie no es un verdadero condicionante ya que se dispone de una gran parcela en el antiguo vertedero de La Tablá. Además, teniendo en cuenta el tipo de residuo a tratar (podas y siegas) el coste de operación interesa que no sea muy elevado, por eso se desecha la opción del tambor de compostaje.

Para asegurar el buen funcionamiento de la instalación es necesario cumplir con dos aspectos clave (Vermican Servicios Ambientales, 2018):

- **Compromiso y apoyo de las administraciones local y comarcal** para que el tratamiento de los residuos vegetales municipales se haga en esta instalación y vía compostaje. Además, debe de ser un enlace imprescindible con la población.
- **Concienciación popular**, para que conozcan los beneficios que puede aportar la planta de compostaje tanto a la zona como a ellos como individuos. Esto se hará posible mediante campañas de promoción de la instalación y de la importancia de autogestionar los residuos vegetales a nivel local, que con este proceso se convertirán en un producto semejante a la tierra vegetal (compost).



7. Dimensionamiento

7.1 Descripción de los elementos

Los elementos necesarios en la instalación de la planta de compostaje son los siguientes (Ambium Consultores, 2019):

- **Báscula:** es necesario tener un control tanto de la cantidad de los materiales que entran a la planta de compostaje como del producto que sale en forma de compost, ya que esta información puede ser útil para reajustar el proceso y el almacenaje. La báscula se montará *in-situ* en la planta de compostaje y se compondrá por dos perfiles longitudinales IPE unidos entre sí por vigas transversales IPE también, por encima se colocará una chapa de rodadura soldada a las vigas y cuatro células de carga con Certificado de Ensayo.
- **Vestuarios y oficina:** es preciso reservar un espacio donde los operarios de la planta pueden realizar funciones administrativas o almacenar la pequeña maquinaria y herramientas. De igual forma, es importante asegurar un espacio privado y acondicionado con servicios y vestuarios (Ambium Consultores, 2019). Este espacio contará con electricidad, línea telefónica, calefacción/aire acondicionado, aseos y agua potable.
- **Muelle de descarga:** lugar destinado a la recepción del material que se va a usar para la obtención del compost, ya que estos materiales no pueden ir directamente a las pilas de fermentación. A parte de necesitar espacio para depositar los residuos vegetales, también es necesario un área suficiente para facilitar las maniobras de los camiones y demás maquinaria de la planta.

Esta zona contará con una plataforma de hormigón elevada (desde el punto limpio) para que los camiones puedan descargar cómodamente vertiendo el material a un nivel inferior, donde se sitúa la planta de compostaje. Los residuos descargados se acumularán en la solera, formando así dos pilas de acopio de materiales que a continuación será separado para su clasificación y almacenamiento o para su tratamiento inmediato. El material que se almacenará son los restos leñosos (poda gruesa), que además necesitan un pretratamiento antes de entrar a las pilas de compostaje.

Lo que se muestra en la **Figura 11** es una estructura similar a la que se quiere adoptar como muelle de descarga. El suelo de esta área debe ser lo suficientemente resistente para aguantar el peso de los camiones y con un tratamiento especial para resistir el raspado de los equipos de la planta de compostaje que operan en ella.



Figura 11. Ejemplo de estructura de descarga de la planta de compostaje de Bezana

- **Zona de pretratamiento:** en esta zona se triturarán los restos de poda gruesa y se dosificará el material a compostar, hasta adquirir una mezcla que cumpla las condiciones anteriormente mencionadas para introducirla en las hileras de compostaje. Si la presencia de impropios en esta fase fuese destacable (restos voluminosos) se debería realizar una primera separación. Para estas tareas es necesario contar con una maquinaria específica, bio-trituradora, que triture los restos de leñoso más grandes y una pala cargadora para manipularlos, con sus correspondientes áreas de circulación y operación.

Esta zona de pretratamiento será un área cubierta, para minimizar las condiciones meteorológicas adversas (lluvia y viento) y para proteger la maquinaria. Tiene que tener un suelo lo suficientemente firme para soportar el peso de los camiones que realizan el transporte de los residuos vegetales, y debe estar endurecido para resistir el raspado de los equipos de la planta de compostaje que van a operar en ésta (Vermican Servicios Ambientales, 2018).

- **Almacén de materiales:** para poder realizar una mezcla homogénea durante todo el año se debe disponer de materiales en stock, es decir, se necesita una zona de almacenaje, sobre todo para los restos leñosos que se generarán grandes volúmenes en cortos espacios de tiempo. También es preciso tener en consideración la producción de hojas, que coincide con los meses de otoño y su aporte a la mezcla como estructurante es de menor cantidad. Por lo tanto, sería necesario disponer de una zona en la que se pudiese albergar aproximadamente el 10% de los restos de poda y hojas generados al año (250 t). Teniendo en cuenta que el periodo de almacén de RBD no puede ser superior a los tres meses por riesgo de incendio (Vermican Servicios Ambientales, 2018). La estructura que se requiere



para esta función contará con una cubierta superior y alguna protección lateral para evitar la dispersión de estos restos por la acción del viento; esta protección bien puede ser un cerramiento metálico o trojes de hormigón, además que para separar los diferentes tipos de material vegetal.

- **Zona de fermentación:** es indispensable que esta zona cuente con un buen sistema de drenaje a través de sumideros y canalizaciones que desvíe el agua de lluvia de las pilas de compostaje y recoja los lixiviados producidos durante el proceso para su redistribución como agua de riego en esta misma fase del compostaje.

Para controlar las condiciones de trabajo de las pilas de compostaje esta zona contará con una cubierta, para reducir la humedad excesiva del ambiente, y con varios medidores de las variables de control, así como termómetros, medidores de CO₂ y otros gases, para poder actuar si alguna de estas registra valores fuera de los óptimos. Además, estas estructuras contarán con un sistema de regadío por aspersores para poder humedecer las hileras y mantener la temperatura y humedad.

La estructura que se va utilizará para cubrir las pilas de compostaje será una marquesina doble en forma de T, tal y como se muestra en la **Figura 12**. Esta marquesina estará compuesta por perfiles metálicos cada 6 m y una cubierta de chapa metálica con una altura máxima de 4,5 m. Los aspersores y los distintos medidores irán fijados en la cubierta y se tendrá un control constante desde estos desde el espacio reservado para la oficina. Se ha seleccionado este tipo de estructura ya que permite flexibilidad, para ampliar la superficie de fermentación, y versatilidad para usar este espacio con otros medios.

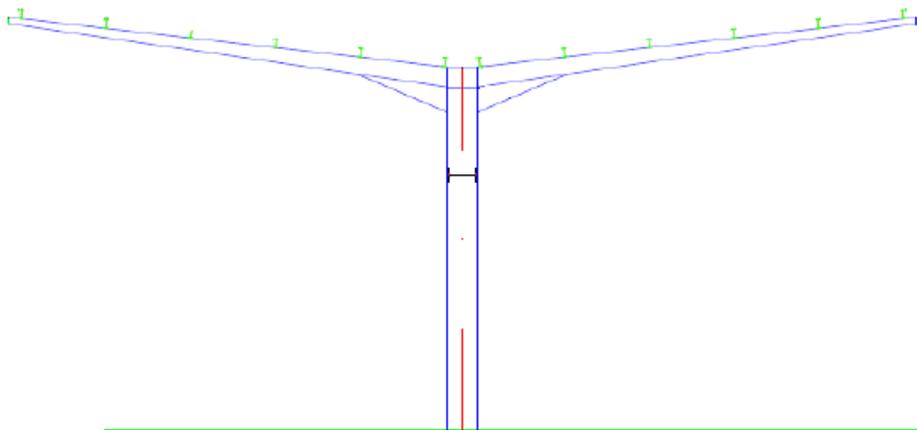


Figura 12. Estructura para cubrir las pilas de compostaje (Ambium Consultores, 2019)



Los pasillos entre las pilas y las demás áreas de trabajo dentro de la planta deberán tener una anchura que permita el paso y la maniobra de la maquina volteadora utilizada en esta fase del proceso y de la maquinaria que prepara la mezcla en la zona de pretratamiento.

Las pilas que se han conformado en la zona de pretratamiento se van depositando periódicamente en las pilas de compostaje, regándose para que adquiera humedad y quede más compacta. Las pilas formadas por primera vez se dejan reposar durante una semana y se voltean para conseguir un material más homogéneo y que los microorganismos actúen por igual en todo su volumen. Después de dos semanas del primer volteo, se repite la operación.

A partir de este punto, las pilas habrán reducido su volumen y su volteo se realizará en función de lo que marquen los indicadores de temperatura (con cada volteo la temperatura desciende entre 5 y 10°C), humedad y oxígeno (Junta de Andalucía, 2002).

- **Zona de maduración:** la instalación debe contar con un área de curado que será cerrada y un lugar fresco. En esta zona el compost recién salido de las pilas de compostaje se enfría lentamente, aquí estará durante 1-2 meses, y se estabiliza hasta llegar a los valores de los parámetros que muestra la **Tabla 7**.

Tabla 7. Parámetros en la maduración (Suárez Bordón, 2012)

Relación C/N	12 - 15
pH	7,5
Color	Pardo oscuro
Textura	Suelta y granulosa

- **Almacén de compost:** en esta zona se llevarán a cabo las pruebas de calidad del producto, realizando operaciones de cribado del compost con maquinaria específica para esta tarea. La maquinaria de cribado no permanecerá ininterrumpidamente en la planta, sino que se coordinará con otras instalaciones similares cercanas para alquilar el trommel de cribado y amortizar el equipo (Vermican Servicios Ambientales, 2018). Así que es preciso reservar un espacio para esta maquinaria móvil.

Estas actividades se llevarán a cabo en una instalación cerrada, es decir, tendrá una cubierta por la parte superior y se cerrará con muros laterales para evitar la acción del viento que puede desplazar el compost, por su pequeño tamaño de partícula y para que la lluvia o el exceso de humedad ambiente (se recomienda que la humedad del compost sea inferior al 50%) empeore su calidad.

La capacidad de almacenamiento de esta área será igual a la producción de 2 meses de compost (Ambium Consultores, 2019; Vermican Servicios Ambientales, 2018). Tanto el



almacén de compost como la zona destinada a la maduración del mismo compartirán una cubierta única y que tendrá tres muros fijos de chapa metálica, formados todos ellos por láminas con ondulaciones de un espesor de 0,60 cm de acero galvanizado. La separación de las dos zonas se realizará mediante trojes de hormigón para dar versatilidad a la estructura. La **Figura 13** muestra un esquema del almacén de compost y la zona de maduración.

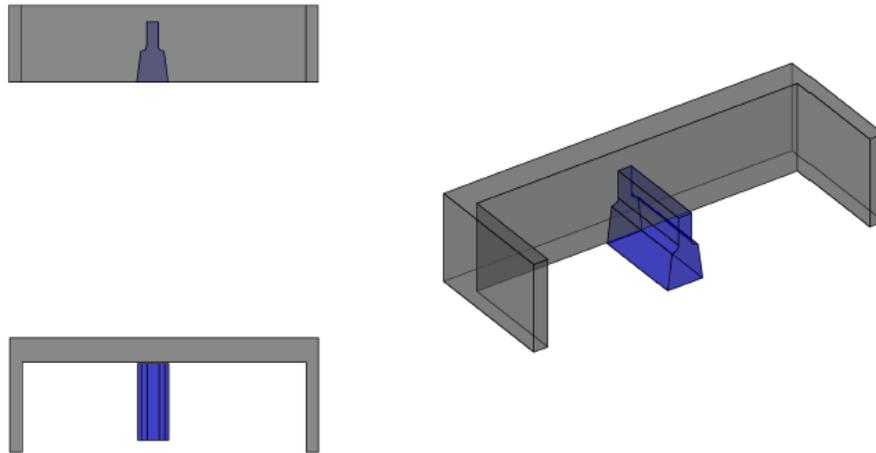


Figura 13. Dibujo técnico general del almacén de compost y la zona de maduración

- **Elementos complementarios:** todo el perímetro de la finca debe estar cerrado con una valla metálica rígida con una altura mínima de 2 metros, para evitar que se introduzca personal ajeno a la planta o algún animal que pueda interrumpir alguna de las tareas que se realizan. El acceso se realizará por el camino existente y se cerrará con una puerta corredera automática de 10 m, lo suficiente para que los camiones puedan acceder y maniobrar en la finca (ver ejemplo en la **Figura 14**). También será necesario la instalación de farolas para iluminar la finca en los momentos de poca luz.



Figura 14. Puerta de acceso ejemplo de la planta de compostaje de Bezana

Todos los procesos de compostaje llevan implícito la producción de lixiviados, que se deberán recoger y gestionar, al igual que las aguas pluviales o las utilizadas para limpiar la maquinaria. Estos lixiviados se pueden reutilizar como riego en la fase de compostaje, ya que tradicionalmente se han considerado fertilizante líquido orgánico y tras la realización de varios estudios se conocen cuáles de sus componentes son los responsables de su capacidad para combatir patógenos (Chalker, 2001).

Todos estos efluentes se recogerán mediante un sistema de alcantarillado y sumideros repartidos por toda la finca y se llevarán hasta un cubeto de hormigón impermeable para que con la ayuda de unas bombas se puedan recircular hacia su próximo uso. Este cubeto o tanque de lixiviados contará con una reja de entrada para la eliminación de impropios, medidores del nivel de agua y con un aliviadero al cauce público por si fuese necesario su desagüe.

Todos los elementos estarán instalados sobre una solera de hormigón capaz de soportar el peso de los camiones y resistente a las acciones de raspado de las maquinas que operan en la planta de compostaje. La planta de compostaje estará informatizada tanto como para visualizar las variables de control en las etapas más importantes del proceso, como para poder un sistema de control remoto que realice tareas como el riego de las pilas de compostaje o las tareas de tonelaje que quedarán guardadas en un sistema informático para ahorrarles tiempo y esfuerzo a los operarios.

En la planta de compostaje también se encontrarán otros elementos complementarios a los principales procesos que sirven de apoyo y control. A continuación se especifican estos elementos de control (Vermican Servicios Ambientales, 2018):



- **Sondas de temperatura:** imprescindibles para la toma de medidas en una planta de compostaje. En el mercado existe una amplia gama, por eso se han de valorar las siguientes características técnicas:
 - Rango de temperatura.
 - Graduación
 - Función de auto apagado: sin/no.
 - Sistema de carga: baterías, eléctrico.
 - Material sonda.
 - Dimensiones.

- **Sondas de CO₂:** se utilizan para determinar la madurez del material. Las características técnicas a valorar para una sonda de CO₂ son las siguientes:
 - Materiales sonda.
 - Tipos de batería: materiales, carga...
 - Dimensiones.
 - Función de auto apagado: si/no.

- **Higrómetros:** los higrómetros son elementos opcionales para la toma de medidas en una planta de compostaje. Existe una amplia gama tanto para mediciones *in-situ*, en suelo o de interior. Las características técnicas que más se valoran son:
 - Rango de humedad.
 - Resolución.
 - Graduación.
 - Duración.
 - Función de auto apagado: si/no.
 - Dimensiones.

No se suele usar este elemento ya que la humedad se puede determinar mediante métodos manuales como el método del puño, que consiste en determinar la humedad del suelo por medio del tacto apretando el sustrato entre el pulgar y el dedo índice o al exprimir la tierra en la palma de la mano, que contando las gotas de agua que se desprenden o la textura del sustrato se puede estimar una humedad bastante aproximada y con coste 0 (Munoz & Martin, 2021).



- **pH metros:** son medidores opcionales en una planta de compostaje. Estos pueden ser manuales de tipo tiras o analógicos. Existen multitud de modelos siendo la mayoría muy similares en características y precios. Las características técnicas a valorar para un pH metro son las siguientes:
 - Rango de medición.
 - Precisión.
 - Tipo de calibración.
 - Condiciones ambientales límites.
 - Función de auto apagado: si/no (en el caso de que sea analógico).
 - Sistema de carga (en el caso de que sea analógico).
 - Dimensiones.

7.2 Dimensión de los elementos

Los elementos de la planta descritos anteriormente se estima que tendrán las siguientes dimensiones que se muestran en la **Tabla 8**.

Para realizar estos cálculos es preciso seleccionar algunos elementos con los que se va a trabajar para tener el espacio suficiente para su buen funcionamiento y adecuación del espacio dentro de la planta de compostaje. Por ello, se han seleccionado los siguientes modelos de:

- Casetas de obra como vestuarios y oficina, modelo EP 6000.
- Pala cargadora para realizar operaciones de carga y descarga de grandes volúmenes de material, modelo Caterpillar 242D3.
- Trituradora biológica utilizada para funciones de pretratamiento, modelo UNTHA LR700.
- Puerta de acceso con barrotes de la empresa ROPER.
- Para la báscula se usarán células de carga de compresión BG-GTD en acero inoxidable OIML-R60-C3, previamente testadas.

El Anexo 2 recoge las fichas técnicas de cada uno de estos elementos.



Tabla 8. Dimensiones de los elementos en planta

Elementos	Dimensiones (m)
Báscula	3 x 9
Vestuarios y oficina	5 x 8,5
Muelle de descarga	10 x 10
Zona de pretratamiento	5 x 5
Almacén de materiales	15 x 20
Zona de fermentación	8 x 40
Zona de maduración	10 x 15
Almacén de compost	10 x 10
Elementos complementarios:	
Puerta de acceso	10 x 2
Tanque de lixiviados	5 x 5
Cerramiento perimetral	250

En la **Tabla 9** se desglosan los cálculos realizados y la justificación del dimensionamiento.

Tabla 9. Cálculos de dimensionamiento

Generación de residuos:	2,14 t/día
Humedad de residuos a generar:	50 %
Ancho de las pilas:	4 m
Altura de las pilas:	2 m
Longitud posible máxima:	40 m
Distancia entre hileras: ^[1]	5 m
Peso específico sin procesar:	0,16 t/ m ³
Peso específico procesado:	0,3 t/ m ³
Periodo de fermentación:	28 días
Rendimiento de degradación de sólidos: ^[2]	40 %
Humedad residuo generado: ^[3]	50 %
1. Volumen a procesar:	13,375 m ³ /día
2. Masa de residuos procesados:	
2.1 Residuo seco a procesar:	1,07 t/día
2.2 Residuo seco no procesado:	0,642 t/día



2.3 Residuo húmedo no procesado:	1,284 t/día
3. Volumen de residuo procesado:	4,28 m ³ /día
4. Zona de fermentación:	
4.1 Volumen fermentación:	247,17 m ³
4.2 Sección transversal:	4 m ²
4.3 Longitud necesaria:	62 m
4.4 Número de hileras: ^[4]	2 hileras
4.5 Superficie de fermentación:	320 m ² (8 x 40)
Periodo de maduración:	90 días
Altura de la pila de maduración:	2,5 m
5. Zona de maduración:	
5.1 Volumen de maduración:	385,2 m ³
5.2 Superficie de maduración:	154,08 m ² (10 x 15)
Residuo a almacenar:	250 t
Densidad del material a almacenar:	0,26 t/ m ³
Altura del residuo a almacenar:	2,5 m
6. Zona de almacén de materiales:	
6.1 Volumen de almacén:	962 m ³
6.2 Superficie almacén:	385 m ² (15 x 20)
Volumen del camión nº1:	10 m ³
Volumen del camión nº2:	12 m ³
Viajes diarios camión nº1:	8 viajes
Viajes diarios camión nº2:	5 viajes
Días acumulados de descarga: ^[5]	7 días
Altura del residuo descargado:	2 m
7. Muelle de descarga:	
Volumen a procesar:	3,48 t/día
Días acumulados de dosificación:	2 días
Dimensiones trituradora:	(1,72x1,31x1,63) m
Altura de la pila de dosificación:	2,5 m
Altura de la trituración:	2 m
8. Zona de pretratamiento:	
8.1 Volumen de pretratamiento:	26,75 m ³ /día
8.2 Superficie de trituración:	5 m ²
8.3 Superficie de dosificación:	11 m ²
8.5 Superficie total pretratamiento:	16 m ² (5 x 5)



9. Báscula:	27 m ² (3x9m)
Número de casetas:	3
Dimensiones de la caseta (EP6000):	(6x2,40x2,64) m
10. Superficie vestuarios y oficina:	43,2 m ² (5x8,5m)
Producción de compost a almacenar:	2 meses
Generación de residuos:	2,14 t/día
Rendimiento de degradación de sólidos:	40 %
Peso específico procesado:	0,3 t/m ³
Altura del compost a almacenar:	2 m
Espacio reservado para el trommel:	70 m ² (20x5m)
11. Almacén del compost:	
11.1 Volumen de compost a almacenar:	171,2 m ³
11.2 Superficie del almacén:	85,6 m ² (10 x 10)
12. Elementos complementarios:	
12.1 Cerramiento:	250 m lineales
12.2 Puerta de acceso:	(10 x 2) m
12.3 Tanque de lixiviados:	(5 x 5) m
Superficie total necesaria:	1.225,88 m²

Siendo:

[¹]: Distancia suficiente para que circulen las máquinas que operan en la planta.

[²]: El compost producto es un 60% del residuo inicial.

[³]: Según la bibliografía consultada (Lobo García de Cortazar, 2020).

[⁴]: Se intentarán agrupar en grupos pares de hileras.

[⁵]: Teniendo en cuenta que los operarios pueden estar una semana de vacaciones.

También, es importante conocer la altura máxima a la que se puede trabajar en cada zona dependiendo de la maquinaria utilizada, como se muestra en los cálculos anteriores. A efectos de construcción, a esta altura de trabajo se le debe añadir un espacio de aireación o maniobra (altura de resguardo), que es donde irán colocados los sistemas de control (sondas de temperatura, higrómetros...), esta magnitud rondará los 30-50 cm. La altura total será con la que se tendrán que construir los diferentes elementos de la planta de compostaje (estas se muestran en la **Tabla 10**).



Tabla 10. Alturas totales de los elementos

Elementos	Altura (m)
Zona de pretratamiento	3
Almacén de materiales	3,3
Zona de fermentación	4,5
Zona de maduración	3
Almacén de compost	2,5

7.3 Predimensionamiento de las futuras fases

Para el dimensionamiento de las futuras fases, **Fase II** y **Fase III**, se ha utilizado como variable crítica la superficie necesaria para el proceso de fermentación ya que es la fase más importante y de mayor duración. Esta ocupa un 30% aproximadamente de la superficie total de la planta de compostaje (ver **Figura 15**).

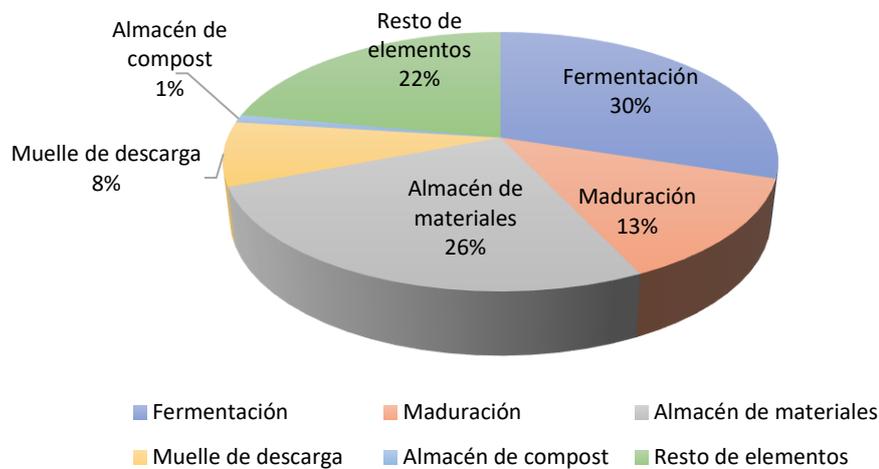


Figura 15. Porcentaje de superficie ocupada por cada fase del compostaje

Como se ha comentado en los apartados anteriores en las siguientes fases del proyecto se aumentará el radio de recogida de residuos de poda y siega, por lo tanto, aumentará la cantidad de material a tratar en la planta de compostaje. Para la primera fase el dimensionamiento se desarrolló teniendo en cuenta que se va a tratar un 20% de los residuos generados en todo el municipio, en las **Fase II** y **Fase III** se pretende tratar un 60% (2.340 t) y el 100% (3.900 t). En la



Tabla 11 y la Tabla 12 se desglosan los cálculos para las dimensiones de la planta de compostaje en las fases II y III respectivamente.

Tabla 11. Predimensionamiento de la Fase II del proyecto

FASE II	
Generación de residuos:	6,41 t/día
Humedad de residuos a generar:	50 %
Ancho de las pilas:	4 m
Altura de las pilas:	2 m
Longitud posible máxima:	40 m
Distancia entre hileras ¹ :	5 m
Peso específico sin procesar:	0,16 t/m ³
Peso específico procesado:	0,3 t/m ³
Periodo de fermentación:	28 d
Rendimiento de degradación de sólidos ² :	40 %
Humedad residuo generado ³ :	50 %
1. Volumen a procesar:	40,1 m³/día
2. Masa de residuos procesados:	
2.1 Residuo seco a procesar:	3,2 t/día
2.2 Residuo seco no procesado:	1,92 t/día
2.3 Residuo húmedo no procesado:	3,84 t/día
3. Volumen de residuo procesado:	12,8 m³/día
4. Zona de fermentación:	
4.1 Volumen fermentación:	740,6 m ³
4.2 Sección transversal:	4 m ²
4.3 Longitud necesaria:	185 m
4.4 Número de hileras ⁴ :	5 hileras
4.5 Superficie de fermentación:	800 m ²
Superficie total necesaria ⁵	3.065 m²

¹ Distancia suficiente para que circulen las máquinas que operan en la planta

² El compost producto es un 60% del residuo inicial

³ Según la bibliografía consultada (Lobo García de Cortazar, 2020)

⁴ Se intentarán agrupar en grupos pares de hileras

⁵ Estimación realizada considerando que la zona de fermentación ocupará un 30% de la superficie en planta



Tabla 12. Predimensionamiento de la Fase III del proyecto

FASE III	
Generación de residuos:	10,68 t/día
Humedad de residuos a generar:	50 %
Ancho de las pilas:	4 m
Altura de las pilas:	2 m
Longitud posible máxima:	40 m
Distancia entre hileras ⁶ :	5 m
Peso específico sin procesar:	0,16 t/m ³
Peso específico procesado:	0,3 t/m ³
Periodo de fermentación:	28 d
Rendimiento de degradación de sólidos ⁷ :	40 %
Humedad residuo generado ⁸ :	50 %
1. Volumen a procesar:	66,8 m³/día
2. Masa de residuos procesados:	
2.1 Residuo seco a procesar:	5,3 t/día
2.2 Residuo seco no procesado:	3,18 t/día
2.3 Residuo húmedo no procesado:	6,36 t/día
3. Volumen de residuo procesado:	21,2 m³/día
4. Zona de fermentación:	
4.1 Volumen fermentación:	1.232 m ³
4.2 Sección transversal:	4 m ²
4.3 Longitud necesaria:	308 m
4.4 Número de hileras ⁹ :	8 hileras
4.5 Superficie de fermentación:	1.280 m ²
Superficie total necesaria ¹⁰	4.900 m²

⁶ Distancia suficiente para que circulen las máquinas que operan en la planta

⁷ El compost producto es un 60% del residuo inicial

⁸ Según la bibliografía consultada (Lobo García de Cortazar, 2020)

⁹ Se intentarán agrupar en grupos pares de hileras

¹⁰ Estimación realizada considerando que la zona de fermentación ocupará un 30% de la superficie en planta

8. Ubicación y configuración de la planta

8.1 Ubicación de la planta

La localización de la planta de compostaje de residuos de poda y siega será en Suances, un pueblo de la costa occidental de Cantabria, a unos 10 km de distancia de Torrelavega, el gran núcleo urbano más próximo.

Teniendo en cuenta las dimensiones de los elementos de la planta de compostaje y la capacidad de ampliación en el futuro, se busca una superficie que cumpla con las condiciones idóneas. Para ello, se han considerado dos alternativas para la ubicación de la planta de compostaje:

- **Unificación con el punto limpio:** esta ubicación unificaría la gestión de los residuos creando un pequeño complejo medioambiental. Sin embargo, esta ubicación presenta un problema por su cercanía con la urbanización de La Tablía, ya que podría generar un problema de olores para los vecinos, en caso de que el proceso se desarrolle de forma incorrecta. La **Figura 16** muestra la posible ubicación junto al punto limpio.



Figura 16. Posible ubicación de la planta junto al punto limpio (Google Maps, 2021)

- **A la entrada del vertedero:** es una finca, propiedad del Ayuntamiento de Suances, que desde hace años se usa como vertedero de residuos inertes y cuenta con una superficie aproximada de 70.000 m². En este emplazamiento la planta estaría protegida por toda la flora existente, reduciendo así tanto el impacto visual como el de emisión de malos olores. Sin embargo, la instalación de la planta de compostaje en esta zona supondría una construcción complicada y laboriosa en cuanto al acondicionamiento del suelo (movimiento

de tierras, inestabilidad del terreno, ...). La **Figura 17** muestra la posible ubicación a la entrada del vertedero.

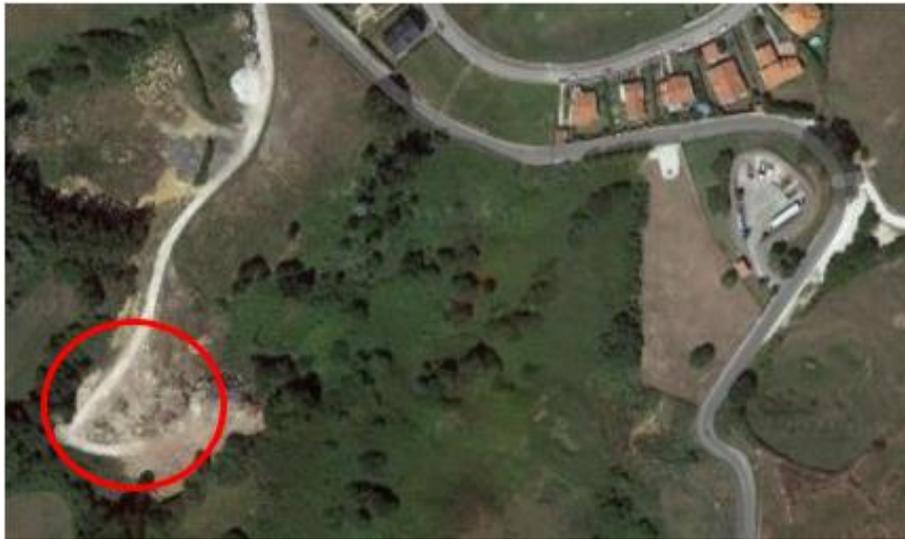


Figura 17. Posible ubicación de la planta a la entrada del vertedero (Google Maps, 2021)

En el caso de la selección de la primera alternativa hay que tener en cuenta que para el problema relacionado con los olores se cuenta con que el viento predominante en la zona proviene del Oeste (como se muestra en la **Figura 18**), con rumbo noroeste en invierno, el cual no supondría un impacto de olores para la población Sin embargo, también se observan vientos provenientes del suroeste, por la orografía de Cantabria, que podrían ocasionar algún problema de olores para la urbanización de La Tablá. Para evitar estos problemas se debe trabajar en un buen sistema de corta vientos y medidas de mitigación de olores.

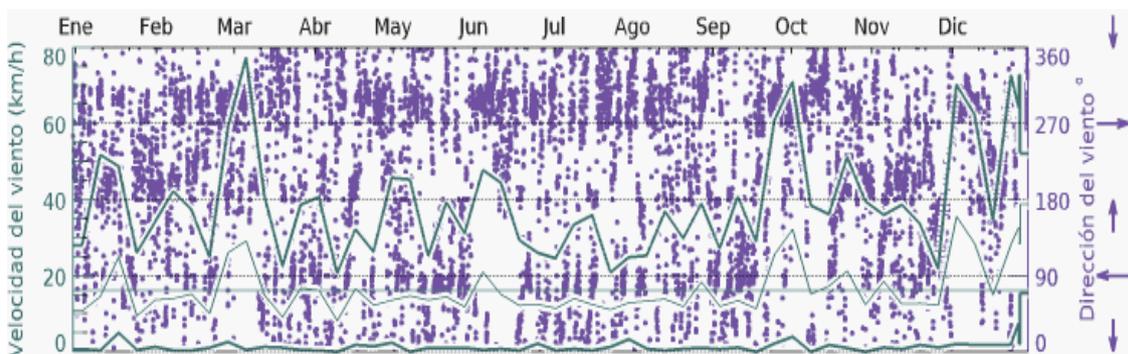


Figura 18. Simulación histórica del viento en Suances el año 2020 (Meteoblue, 2021)



Por otro lado, el criterio constructivo es clave para desechar la segunda opción, ya que el terreno considerado abarca una gran depresión que habría que estabilizar (ver **Figura 19**), también habría que considerar la modificación de la línea eléctrica de alta tensión que pasa por la finca (ver **Figura 20**) más las obras de mejora del acceso. Todo esto supondría un incremento económico demasiado importante para el proyecto.



Figura 19. Gran depresión en la finca del vertedero



Figura 20. Tendido eléctrico en la finca del vertedero



Por tanto, la mejor opción en cuanto a ubicación de la planta de compostaje será la de **unificar la planta de compostaje con el punto limpio** (ver **Figura 21**), a fin de concentrar este tipo de tareas y dejar la finca del vertedero disponible para otro tipo de uso del suelo por petición del Ayuntamiento. Las coordenadas UTM de la parcela del punto limpio próximo a la ubicación de la planta de compostaje de residuos de podas y siegas son UTM ETRS89 zona 30N X 414.683 Y 4.809.020.



Figura 21. Ubicación finalmente escogida

8.2 Configuración de la planta

Para el diseño de la configuración de la planta se ha tenido en cuenta el recorrido que los residuos realizarán una vez entren en la instalación hasta su salida por la puerta de acceso como compost, el producto final. La **Figura 22** muestra el diagrama de flujo del residuo:

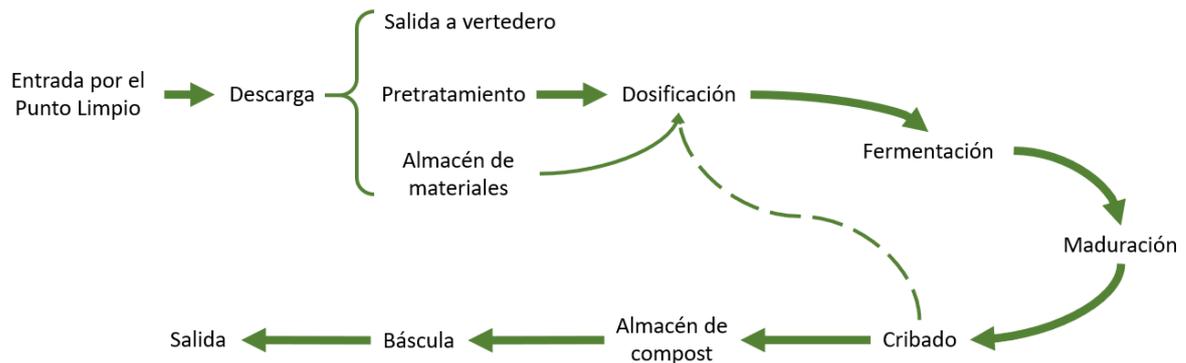


Figura 22. Diagrama de flujo

Este diagrama de flujo se utilizó para diseñar la planta facilitando el transporte del material e intentando economizar esfuerzos a la hora de mover la maquinaria pesada (pala cargadora y camiones). Con esta configuración, se asegura que la planta tenga el espacio suficiente para no entorpecer las tareas colindantes, ya que se procuró contar con pasillos suficientemente grandes como para poder circular (pasillos de mínimo 5 m de ancho).

Además, en el diseño de la planta de compostaje también se tuvo en cuenta los vientos y la lluvia predominantes para orientar cada elemento de tal forma que no se vea perjudicado el proceso o se puedan ver afectados los distintos materiales con los que se trata.

Teniendo en cuenta el dimensionamiento previo realizado la configuración final de la planta se muestra en la **Figura 23** .

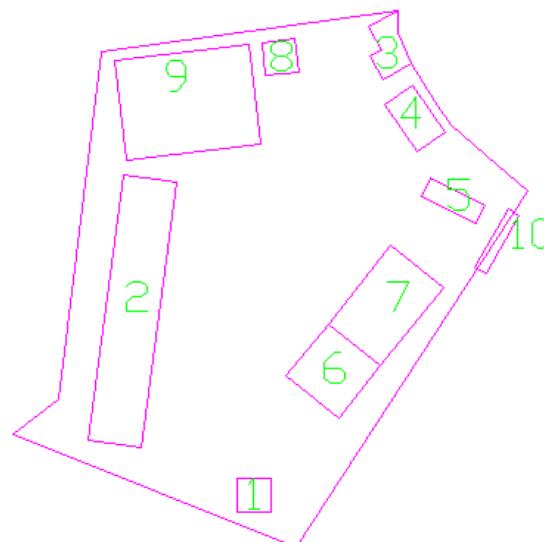


Figura 23. Distribución de la planta



Siendo:

- | | |
|--------------------------|---------------------------|
| 1. Tanque de lixiviados | 2. Zona de fermentación |
| 3. Muelle de descarga | 4. Vestuarios y oficina |
| 5. Báscula | 6. Almacén de compost |
| 7. Zona de maduración | 8. Zona de pretratamiento |
| 9. Almacén de materiales | 10. Puerta de acceso |



9. Valoración económica

9.1 Valoración económica de la construcción

La primera fase del proyecto será la que implique actividades de obra más complejas y laboriosas, ya que es necesario acondicionar el terreno y crear una infraestructura de acceso y circulación. Las siguientes fases, Fase II y Fase III, consistirán más en una ampliación de las infraestructuras existentes y un mayor aprovechamiento del espacio.

El proceso de construcción de los elementos anteriormente nombrados se estima que rondará los 6 meses, durante los cuales se realizarán las principales actividades constructivas que aparecen en la **Tabla 13**:

Tabla 13. Resumen de los conceptos incluidos en cada capítulo del presupuesto de construcción

CAPÍTULO	DESCRIPCIÓN
01	MOVIMIENTO DE TIERRAS
1.1	CAMINOS DE ACCESO Despeje y desbroce de la capa superior del suelo para poder acondicionar los caminos de acceso a la finca.
1.2	EXPLANACIÓN Explanación del terreno, formación de terraplenes y estabilización de taludes en las partes pertinentes.
02	OBRA CIVIL
2.1	AFIRMADO Afirmado del terreno en las zonas que vayan a circular vehículos de grandes pesos para soportar directamente las cargas del tránsito.
2.2	ESTRUCTURAS Construcción de los diferentes elementos de la planta de compostaje, para la gran mayoría se formarán por muros laterales de hormigón armado y una cubierta metálica o la doble marquesina en forma de T para la zona de fermentación con vigas de acero.
2.3	RIEGO Para el riego se captará agua de la acometida pública y se hará la correspondiente instalación para aportar a los diferentes elementos agua potable.
2.4	PAVIMENTACIÓN Y SOLERA Se cubrirá todo el suelo con hormigón armado impermeable y de alta resistencia a la corrosión y al rascado de la maquinaria que opera en la planta.
03	SANEAMIENTO
3.1	EXCAVACIÓN EN ZANJA



- Excavación de una zanja trapezoidal para el paso de las conducciones pertinentes.
- 3.2 CONDUCCIONES
Tuberías, codos, valvulería y arquetas de registro en las nuevas conducciones proyectadas.

04 MAQUINARIA

- 4.1 PALA CARGADORA
Pala cargadora compacta de 55,4 kW de potencia, modelo Caterpillar 242D3.
- 4.2 BIOTRITURADORA
Trituradora biológica de 20 kW de potencia nominal, modelo UNTHA LR700.
- 4.3 CRIBADORA
Se compartirá con las demás plantas de compostaje de la zona.
- 4.4 BÁSCULA
Fabricada *in-situ* con células de carga de compresión BG-GTD en acero inoxidable OIML-R60-C3.

05 REMATES

- 5.1 CERRAMIENTO
El cerramiento se compone por la malla rígida de acero galvanizado y la puerta metálica corredera.
- 5.2 ALUMBRADO

06 PUESTA EN MARCHA

En la **Figura 24** se muestra un cronograma con la duración y sincronización de las principales actividades correspondientes a los capítulos mencionados con anterioridad.



Tiempo (meses)	1	2	3	4	5	6
Movimiento de tierras	■	■	■			
Camino de acceso	■	■				
Explanación		■	■			
Obra civil			■	■	■	■
Afirmado			■	■		
Estructuras			■	■	■	
Riego				■		
Pavimentación y solera				■	■	■
Saneamiento				■	■	■
Excavación en zanja				■	■	
Conducciones					■	
Maquinaria						■
Remates						■
Cerramiento						■
Alumbrado						■
Puesta en marcha						■

Figura 24. Cronograma de las principales actividades de obra

A continuación, en la **Tabla 14** se muestra un desglose del presupuesto y mediciones de las unidades de obra más importantes en la construcción de la planta de compostaje. Las mediciones se han realizado basadas en el dimensionamiento anteriormente comentado y en los planos que se encuentran en el Anexo 1.

Tabla 14. Mediciones y presupuesto por capítulos

Ud.	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN	PRECIO (€)	IMPORTE (€)
Capítulo 01- Movimiento de Tierras				10.409,3
m3	Terraplén	836	4,73	3.954,28
m3	Acabado del terraplén	470	1,17	549,90
m3	Excavación	3.000	1,39	4.170
m2	Despeje	3.772	0,46	1.735,12
Capítulo 02- Obra Civil				205.593,90
m2	Afirmado	3.770	13	49.010
m2	Estructura Fermentación	320	51	16.320
m3	Estructuras Hormigón Armado	330	31	10.230
m3	Estructuras Hormigón en Masa	150	60	9.000
m	Riego	254	83,57	21.226,78
m2	Solera	3.772	26,46	99.807,12
Capítulo 03- Saneamiento				15.145,44



m	Tubería PVC D=160	295	36,4	10.738
ud	Depósito PVC 3000L	1	639,2	639,20
ud	Arqueta de Registro 51x38x50 cm	12	70,55	846,60
m3	Excavación en Zanja	291	10,04	2.921,64
Capítulo 04- Maquinaria				212.422
ud	Pala Cargadora	1	51.200	51.200
ud	Biotrituradora	1	65.200	65.200
ud	Cribadora	1	87.000	87.000
ud	Báscula	1	9.022	9.022
Capítulo 05- Remates				10.870
m	Cerramiento	250	19,64	4.910
ud	Puerta de Acceso	1	4.360	4.360
ud	Farola de Iluminación	8	200	1.600
TOTAL				454.440,64

Todas las actividades mencionadas en este apartado se realizarán según la normativa vigente en su ámbito, como, por ejemplo, la EHE-08 para hormigones estructurales. Estos mismos grupos de actividades serán los que conlleven un gasto económico importante a tener en cuenta. La **Tabla 15** muestra un resumen del presupuesto estimado de construcción y puesta en marcha de la planta de compostaje dimensionada.

Tabla 15. Resumen del presupuesto por capítulos

Capítulo	Descripción	Total (€)	%
01	MOVIMIENTO DE TIERRAS	15.630,10	3,4
02	OBRA CIVIL	205.592,81	44,68
03	SANEAMIENTO	15.598,64	3,4
04	MAQUINARIA	212.422	46,17
05	REMATES	10.870	2,35
06	PUESTA EN MARCHA	0	0
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL		460.113,55	
Gastos generales (13%)		59.814,76	
Beneficio industrial (6%)		27.606,81	
I.V.A. (21%)		96.623,85	
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN		644.158,97	



9.2 Coste de operaciones

El coste global de la explotación de la planta de compostaje puede dividirse en costes fijos (de personal, de energía eléctrica, mantenimiento y conservación) y costes variables de energía eléctrica.

Está previsto que el personal asignado a la planta se mantenga durante toda la primera fase del proyecto, es decir, hasta 2032, momento en el cual la plantilla aumentará al igual que lo harán las tareas a realizar en la planta de compostaje. Los capítulos que afectan al coste de las operaciones son los siguientes:

- **Personal de explotación:** se cuenta con 3 personas para que se hagan cargo de la planta de compostaje y del punto limpio existente.
- **Energía eléctrica:** tanto como coste fijo en términos de potencia como en términos variables como es el consumo eléctrico efectivo.
- **Mantenimiento y conservación:** mantenimiento general del espacio y conservación del complejo medioambiental (pequeñas reparaciones de obra civil, limpieza, etc.)
- **Agua potable:** registro del consumo de agua destinado tanto a uso humano como agua de riego.

Los costes variables se establecen con el consumo (kWh) de cada equipo durante un año y multiplicándolo por el su precio unitario. En este caso tenemos equipos que funcionan con energía eléctrica como es el caso de la biotrituradora o el trommel/cribadora y otros equipos como la pala cargadora utiliza combustibles fósiles (1,149 €/L). El resto de los costes de energía eléctrica se estimarán como el 15% del total de la electricidad consumida por el resto de las demandas, como es el sistema de informatización de la planta de compostaje y la luminaria, por ejemplo.

Los costes de explotación asociados a la energía eléctrica y combustibles fósiles se han calculado a partir de los datos reunidos en la **Tabla 16** y **Tabla 17** respectivamente.



Tabla 16. Cálculos del presupuesto por capítulos de energía eléctrica

ENERGÍA ELECTRICA		
Concepto	Unidades	Valor
Término fijo		
Biotrituradora (UNTHA LR700)	kW	20
Trommel (COMETEL CR-229-TRO)	kW	15
Total potencia maquinaria	kW	35
Consumo		
Biotrituradora (UNTHA LR700)	kWh/año	30.000
Trommel (COMETEL CR-229-TRO)	kWh/año	22.500
Total consumo maquinaria	kWh/año	52.500
Precio		
Término fijo	€/kW/mes	10
Coste unitario	€/kWh	0,10
Coste fijo	€/año	4.200
Coste variable	€/año	5.250
Resto de costes	€/año	1.417,50
COSTE TOTAL ENERGÍA ELECTRICA.....		10.867,50

Tabla 17. Cálculos del presupuesto por capítulos de los combustibles fósiles (EAUC, 2010)

COMBUSTIBLES FÓSILES		
Concepto	Unidades	Valor
Término fijo		
Pala cargadora (Caterpillar 242D3)	kW	55,40
Consumo		
Pala cargadora (Caterpillar 242D3)	kWh/año	83.100
	L/año	7.582,116
Precio		
Coste unitario	€/L	1,149
COSTE TOTAL COMBUSTIBLES FÓSILES.....		8.711,85

Suponiendo que el personal en planta trabajará una jornada de 8 h/día y que su sueldo será algo superior al salario mínimo interprofesional actual. El coste de personal durante un año será aproximadamente de 40.000 €.



Teniendo en cuenta que el coste de operaciones se reparte en tres grandes sectores (energía, personal y maquinaria, mantenimiento, limpieza) y que el más importante es el de coste del personal, se aconseja que ninguno de los otros costes supere el 33% del presupuesto anual de operaciones. Por lo tanto, el presupuesto anual destinado a mantenimiento y maquinaria no debe superar los 30.000 €.

En la **Figura 25** se muestra el reparto de los costes de operaciones por sectores.

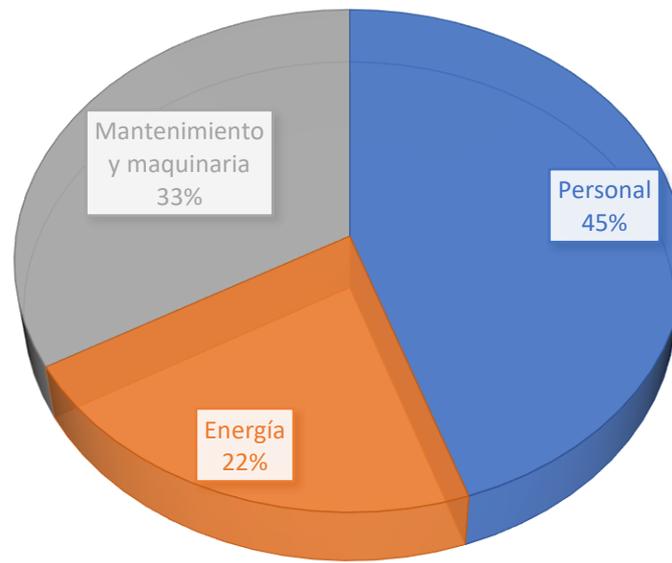


Figura 25. Reparto de costes por sectores.



10. Bibliografía

- Ambium Consultores. (2019). *Instalación de compostaje municipal planta para tratamiento de residuos de podas y siegas*.
- ARC. (2004). *Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas, ARC-Agencia de Residuos de Cataluña, Cataluña, España*. Recuperado de <http://www.arc.cat/es/altres/purins/guia/pdf/ficha4.pdf>
- ARC. (2014). *La fracción vegetal, ARC-Agencia de Residuos de Cataluña, Cataluña, España*. Recuperado de http://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/residus_municipals/Fraccion_Vegetal_es.pdf
- ARC. (2016). *G.P. para el diseño y explotación de plantas de compostaje, ARC-Agencia de Residuos de Cataluña, Cataluña, España*. Recuperado de http://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/form/GuiaPC_web_ES.pdf
- Ayuntamiento de Bezana. (2020). *Recogida selectiva de poda y restos de siega de jardines privados. Ayuntamiento de Bezana, Cantabria, España*. Recuperado de <https://aytobezana.org/portal/files/3.RECOGIDA-DE-PODA.pdf>
- Border, D. (2002). *Processes and plant for waste composting and other aerobic treatment*. Environment Agency, R&D Technical Report P1-311/TR. Recuperado de https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/290347/sp1-311-tr-e-e.pdf
- Cántabra de Turba. (2021). *Gestión de residuos [Página web]*. Recuperado el 28-01-2021 de <https://www.cantabradeturba.es/gestion-de-residuos>



- Chalker, L. (2001). *Compost. Utilization-Compost tea*.
- Chifari, R. (2021). *¿Dispone España de instalaciones suficientes para tratar el flujo creciente de biorresiduos recogidos selectivamente? RETEMA - Revista Técnica de Medio Ambiente*. Recuperado el 29-06-2021 de <https://www.retema.es/noticia/dispone-espana-de-instalaciones-suficientes-para-tratar-el-flujo-creciente-de-biorres-huQVR>
- Diaz, L. F., Savage, G. M., Eggerth, L. L., & Golueke, C. G. (2020). *Composting and recycling municipal solid waste*. CRC Press.
- Dirsur. (2019). *Revisión del Plan General de Ordenación Urbana, Informe de Sostenibilidad Ambiental*.
- EAUC. (2010). *UCCCFs Unit Converter.Version 1.3. EAUC-The Environmental Association for Universities and Colleges*. Recuperado el 01-07-2021 de http://www.eauc.org.uk/file_uploads/ucccf_s_unit_converter_v1_3_1.xlsx
- Google Maps. (2021). *Captura de Google Maps sobre la urbanización La Tablía, Suances, Cantabria*. Recuperado de <https://www.google.es/maps/@43.4294397,-4.055298,455m/data=!3m1!1e3>
- ICANE. (2019). *Proyecciones de Población por municipios [Página web]*. ICANE-Instituto Cántabro de Estadística. Recuperado el 20-11-2020 de <https://www.icanes.es/population/population-figures>
- INE. (2019). *España en cifras 2019*. INE- Instituto Nacional de Estadística. Recuperado de https://www.ine.es/ss/Satellite?L=es_ES&c=INEPublicacion_C&cid=1259924856416&p=1254735110672&pagename=ProductosYServicios%2FPYSLayou¶m1=PYSDetalle
Gratuitas
- Jarre Castro, E. J. (2016). *Planta de compostaje de RSU y residuos cítricos industriales (Trabajo de Fin de Máster de Ing. Ambiental)*. [Universidad de Sevilla, Sevilla, España].



Junta de Andalucía. (2002). *Estudio sobre maquinaria idónea para las labores de compostaje de alpeorujos*. Recuperado de

https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/documento_completo.pdf

Lobo García de Cortazar, A. (2020). *Tema 3.7. Tratamientos Biológicos de la asignatura Ingeniería Ambiental M-2096*.

Madrigal, A. (2005). *Notas sobre el compostaje con énfasis en el caso Camposol S.A. Documento Central Ganadera Medellín, Medellín, Colombia*.

Mancomunidad de Residuos Domésticos de Cinco Villas Bortziriak. (2021). *Proceso de compostaje, Bortziritako Hiri-Hondakinen Makomunitatea [Página web]*. Recuperado el 16-02-2021 de <https://bortziriakzabor.com/wp-content/uploads/2017/09/Factores-que-influyen-en-el.jpg>

MARM. (2009). *Manual de compostaje manual. MARM ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino*. Recuperado de https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/Manual%20de%20compostaje%202011%20PAGINAS%201-24_tcm30-185556.pdf

Meteoblue. (2021). *Meteoblue, Archivo meteorológico Suances [Página web]*. Recuperado el 18-03-2021 de https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/weatherarchive/suances_esp_a%c3%b1a_3108534?fcstlength=1y&year=2020&month=3

MICHELIN. (2020). *Mapa MICHELIN Suances [Página web]*. Recuperado el 11-12-2020 de https://www.viamichelin.es/web/Mapas-Planos/Mapa_Plano-Suances-39340-Cantabria-Espana



- Munoz, C., & Martin, E. C. (2021). *Métodos para medir la humedad del suelo para la programación del riego ¿Cuándo?* College of Agriculture, University of Arizona (Tucson, AZ). Recuperado el 13-06-21 de <http://hdl.handle.net/10150/625275>
- Ossa Vásquez, K. A. (2008). *Diseño de un tambor perforado de mezcla para el proceso de compostaje aerobio realizado en la planta de beneficio de la central ganadera de Medellín (Trabajo de Fin de Grado de Ing. De Procesos)*. [Universidad EAFIT, Medellín, Colombia]. Recuperado de https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/372/KarlaAndrea_OssaVasquez_2008.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Röben, E. (2002). *Manual de compostaje para municipios*. DED/Ilustre Municipalidad de Loja, Loja, Ecuador. Recuperado de <http://www.web-resol.org/Cartilha7/ManualCompostajeparaMunicipios.pdf>
- Serra do Barbanza. (2021). *Zona de compostaje del complejo medioambiental de Serra do Barbanza [Página web]*. Recuperado el 12-02-2021 de <http://cmserradobarbanza.gal/compostaje/>
- SIRSD-S, P.S. (2017). *Pauta técnica para la aplicación de compost*. Región de Atacama. Recuperado de http://www.sag.cl/sites/default/files/pauta-tecnica-aplicacion-de-compost-conc.1-2-3_region_atacama.pdf
- Suárez Bordón, S. (2012, diciembre). *El proceso de compostaje*, Granja la revista agropecuaria, ed. Cabildo de Gran Canaria, España. pp.89-92.
- Sutco. (2021). *Compostaje mediante volteadora Wedelin [Página web]*. Recuperado el 12-02-2021 de <https://www.sutco.de/es/tecnologia-de-plantas/compostaje-mediante-volteadora-de-puente-wendelin#&gid=lightbox-group-13467&pid=1>



Tortosa, G. (2015). *Compostaje en tambor rotatorio. Compostando ciencia [Página web]*.

Recuperado de <https://i2.wp.com/www.compostandociencia.com/wp-content/uploads/2015/03/in-vessel-composting.jpg?resize=1249%2C821>

Vermican Servicios Ambientales. (2018). *Estudio técnico Planta de compostaje Santa Cruz de Bezana*.

Wehrhahn, C. (2006). *Compostaje como solución de manejo de residuos sólidos*. [Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile].

Wikipedia. (2021). *Situación de Suances en un mapa mudo*. Recuperado de [https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Suances_\(Cantabria\)_Mapa.svg](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Suances_(Cantabria)_Mapa.svg)



**ESTUDIO DE DIMENSIONAMIENTO PARA UNA PLANTA DE COMPOSTAJE
DE RESIDUOS DE PODA Y SIEGA MUNICIPAL EN SUANCES**



Pablo Bengochea Mantecón



Anexos