



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

**MÁSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**PLANTA DE VERMICOMPOSTAJE PARA LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS
GANADEROS: EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL.**

Autor: D. Yohana Montecinos Bórquez
Tutor 1: D. Mónica Coca Sanz
Tutor 2: Marina Fernández Delgado

Valladolid, 11 de Julio, 2022



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

MÁSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

**MÁSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**PLANTA DE VERMICOMPOSTAJE PARA LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS
GANADEROS: EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL.**

Autor: D. Yohana Montecinos Bórquez
Tutor 1: D. Mónica Coca Sanz
Tutor 2: Marina Fernández Delgado

Valladolid, 11 de Julio, 2022



RESUMEN EJECUTIVO

La industria ganadera ha tenido un crecimiento considerable a lo largo de los años, transformándose en una industria intensiva que además de ser responsable del 14,5% de la total de generación de gases de efecto invernadero (GEI's) a nivel mundial, produce una cantidad enorme de residuos que hoy en el marco de la economía circular y la sustentabilidad de los sistemas productivos se hacen necesarios gestionar de manera adecuada.

Por ello, en este TFM se propone un diseño de una planta de vermicompostaje para la valorización de residuos ganaderos. Específicamente se centra en la industria porcina de la Comunidad Autónoma de Castilla y León.

En su desarrollo, se determina el proceso productivo adecuado para el tratamiento de este tipo de residuos. Se diseña y dimensiona una planta con una capacidad de tratamiento de 12.594,36 t/año de purín que produce 1.023,82 t/año de humus de lombriz y se seleccionan los equipos necesarios para su funcionamiento.

Además se realiza el estudio ambiental del proyecto considerando su ubicación aproximada en la provincia de Segovia mediante metodologías cualitativas que describen los impactos posibles. Su análisis ambiental final indica un impacto moderado que puede ser minimizado con medidas correctivas y preventivas simples.

Finalmente se realiza su evaluación económica para determinar su viabilidad, describiendo sus ingresos, costes e inversiones aproximadas arrojando un flujo de caja que determine los indicadores económicos necesarios para la evaluación. Sus resultados indican que el proyecto es rentable económicamente. Su periodo de recuperación de la inversión es de 5 años y entrega al final de su vida útil una riqueza de 4.383.233 €.

SUMMARY

The livestock industry has had considerable growth over the years, becoming an intensive industry that, in addition to being responsible for 14.5% of the total generation of greenhouse gases (GHGs) worldwide, produces a huge amount of waste that today in the framework of the circular economy and the sustainability of production systems it is necessary to manage properly.

For this reason, this TFM proposes a design of a vermicomposting plant for the recovery of livestock waste. Specifically, it focuses on the pig industry in the Autonomous Community of Castilla y León.

In its development, the appropriate production process for the treatment of this type of waste is determined. A plant with a treatment capacity of 12,594.36 t/year of slurry that produces 1,023.82 t/year of earthworm humus is designed and dimensioned, and the necessary equipment for its operation is selected.

In addition, the environmental study of the project is carried out considering its approximate location in the province of Segovia through qualitative methodologies that describe the possible impacts. Your final environmental analysis indicates a moderate impact that can be minimized with simple corrective and preventive measures.

Finally, its economic evaluation is carried out to determine its viability, describing its income, costs and approximate investments, yielding a cash flow that determines the economic indicators necessary for the evaluation. Their results indicate that the project is economically profitable. Its investment recovery period is 5 years and it delivers a wealth of €4,383,233 at the end of its useful life.



AGRADECIMIENTOS

Antes que todo, agradezco a mis tutores, Mónica y Marina, por haber sido mis guías en este proceso investigativo y de escritura, por su enorme disposición a ayudar y por haber dedicado su tiempo a mi investigación como si fuera propia.

A la Universidad de Valladolid por ofrecerme esta oportunidad educativa, por buscar y alentar mi máximo rendimiento, por apostar por mi formación y por brindarme las herramientas necesarias para convertirme en un excelente profesional.

Agradezco a María Cruz García por haber sido mi apoyo técnico fundamental en el tema investigado, por su excelente disposición a ayudar y su enorme vocación, que me enseñó que aprender es uno de los placeres más grandes de la vida.

Agradezco también a todos los involucrados en mi proceso de formación durante este último año, profesores, tutores y compañeros, quienes fueron un aporte fundamental para mi crecimiento educativo y profesional, y de quienes me llevo los mejores recuerdos y una gran admiración.

A los amigos que hice en España, quienes me mostraron un mundo nuevo y distinto, me entregaron amor y me dieron una nueva oportunidad, quienes me enseñaron que las fronteras no significan nada cuando las personas son reales, y a quienes siempre guardaré en mi corazón.

Agradezco a mis padres, Eugenia y Héctor, por ser mi pilar fundamental en esta experiencia, por apoyarme en cada decisión que he tomado y por poner mi felicidad como un éxito personal independiente de la distancia que nos separó este año, y además, lo más importante, por enseñarme que no hay límites y que el amor y dedicación son fundamentales en cualquier proceso. A mis hermanas, Ninoska y Daryl, quienes son lo más importante de mi vida, a quienes debo mi desarrollo personal y por quienes todos los días intento ser mejor persona.

A mis familia española, Juan, Angélica, quienes me acogieron en su hogar y me dieron el amor necesario para poder caminar por esta senda de crecimiento educativo y personal, quienes me alentaron a diario a continuar, me tendieron una mano y me dieron una oportunidad única. A mi prima Verónica, quien me enseñó que el tiempo y la distancia no significan nada cuando el amor es real, a quien miro con orgullo y por quien todos los días me levanté y decidí hacer las cosas de la mejor manera posible.

Y finalmente, porque no reconocerlo, me agradezco a mí misma, por perseguir mis sueños y buscar mi trascendencia, por vivir día a día con pasión e intensidad, amar el conocimiento y por querer cambiar el mundo sin importar cuantas probabilidades existan, por mi perseverancia y paciencia. Por sonreír ante las adversidades y valorar mi presente.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

MÁSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

DEDICATORIA

Esta investigación la dedico a todas aquellas personas que aún piensan que un pequeño granito de arena no aporta nada a este mundo, quienes piensan que con pequeñas acciones no cambiamos nada y a aquellos incrédulos que no confían en su contribución y capacidad de crear un mundo mejor, que no son conscientes de que cada acción tiene un impacto.

“Si sirves a la naturaleza, ella te servirá a ti”

Confucio



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Justificación	2
2. OBJETIVOS	4
3. ESTADO DEL ARTE	5
3.1. Generación de residuos porcinos en Castilla y León	5
3.1.1. Producción de purines en Castilla y León	6
3.2. Características y composición de los purines	7
3.3. Gestión y tratamiento de purines	8
3.4. Compostaje de residuos ganaderos	9
3.4.1. Principios básicos del compostaje	9
3.4.2. Parámetros de operación	10
3.4.3. Ventajas y Desventajas del compostaje	14
3.5. Vermicompostaje de residuos ganaderos	15
3.5.1. Ciclo de vida y características de la Lombriz Californiana	17
3.5.2. Establecimiento de una plantación de lombricultura	18
3.5.3. Parámetros de operación	19
3.5.5. Ventajas del vermicompostaje sobre el compostaje	19
3.6. Marco normativo	20
3.6.1. Subproducto SANDACH III	20
3.6.2. Real Decreto de fertilizantes	20
3.6.3. Mejores técnicas disponibles (MTD)	21
3.6.4. Código de buenas prácticas agrarias (CBPA)	22
4. DISEÑO DE UNA PLANTA DE VERMICOMPOSTAJE DE PURÍN DE CERDO	22
4.1. Descripción	22
4.1.1. Alcance del diseño	23
4.2. Descripción del proceso	23
4.2.1. Diagrama de bloques	24
4.3. Diseño de la planta	25
4.3.1. Dimensionamiento y selección de equipos	27
4.4. Productos obtenidos	35
5. EVALUACIÓN AMBIENTAL	36
5.1. Metodología	36
5.2. Normativa ambiental aplicable	36
5.3. Inventario ambiental	38



5.3.1. Geografía y Orografía	38
5.3.2. Hidrografía	39
5.3.3. Climatología	39
5.3.4. Áreas Naturales, vegetación y fauna	40
5.3.5. Datos económicos	41
5.3.6. Turismo cultural	41
5.4. Interacción entorno-proyecto	42
5.4.1. Fase de Construcción	42
5.4.2. Fase de Operación	43
5.5. Análisis de los impactos ambientales en base al inventario	44
5.5.1. Matriz de interacciones	46
5.5.2. Matriz de importancia	46
6. EVALUACIÓN ECONÓMICA	48
6.1. Análisis de las inversiones	48
6.2. Análisis de los costes e ingresos	49
6.3. Flujo de caja	51
6.4. Indicadores económicos	53
7. CONCLUSIONES	54
8. REFERENCIAS	55

1. INTRODUCCIÓN

Se ha evidenciado a lo largo del tiempo y a partir de la revolución verde a inicios de los años sesenta que a nivel global las industrias agrarias se han transformado desde sistemas familiares pequeños a sistemas intensivos a gran escala, los cuales además de haber incrementado su producción de forma disparada, también han perdido su capacidad interna para absorber sus propios desechos de forma natural y los cuales desde entonces se han convertido en una problemática [1].

Sus residuos poseen características muy especiales, entre ellas, se destaca su variabilidad en materiales y formas. Se producen desechos de todo tipo de materiales, como plásticos, orgánicos, cartones y papeles, residuos peligrosos, purines y estiércoles, entre otros. Por esto su correcta gestión se vuelve bastante compleja [1].

En base a esta variabilidad en composición es importante conducir los sistemas productivos a las nuevas formas de bioeconomía, tratando así de disminuir al máximo los impactos producidos por las industrias, creando sistemas novedosos y amigables con el medio ambiente, de forma tal de contribuir de forma eficiente y respetuosa con el medio ambiente a esta economía circular que actualmente se busca en todo el mundo [2].

De la mano de este incentivo a las economías circulares, actualmente en España la gestión de los diferentes residuos es un tema fundamental. La Estrategia Española de Economía Circular 2030 busca impulsar un nuevo modelo de producción y consumo en el que se mantenga una economía durante el mayor tiempo posible y se reduzca la generación de residuos ordenando las estrategias por prioridad, tal como indica la **Figura 1** donde las prioridades de la circularidad comienzan con prevenir, repensar, reducir, reutilizar, reparar, restaurar, remanufacturar, reutilizar, reciclar y recuperar energía.

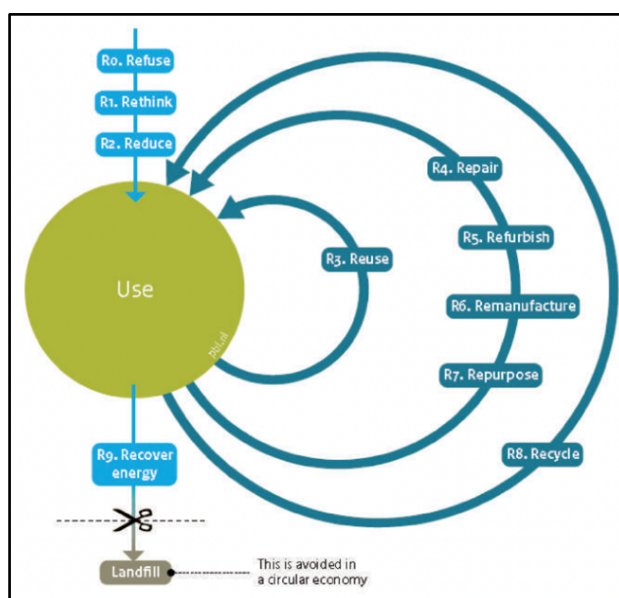


Figura 1: Orden de prioridad en las estrategias de circularidad [3].

Dentro de sus objetivos más importantes y que son atingentes a este Trabajo Fin de Máster (TFM) se encuentra la disminución de residuos en un 15% con respecto a lo generado en 2010, la reducción de la generación de residuos de alimentos en toda la cadena alimenticia y el incremento de la reutilización y preparación para la reutilización [4].

Específicamente esta estrategia incluye dos ejes fundamentales pertinentes a tener en cuenta para la posterior justificación del TFM. Primero, en el eje de actuación "Gestión de los residuos", se busca aplicar



efectivamente el principio de jerarquía de los residuos, dando prioridad a la prevención, la preparación para la reutilización y el reciclaje. Y segundo, en el eje de actuación “Materias primas secundarias”, se busca garantizar la protección del medio ambiente y la salud disminuyendo el uso de recursos naturales no renovables y reincorporando en el ciclo de producción los materiales contenidos en los residuos como materias primas secundarias [5].

Esta investigación se centra en una de las industrias más importantes que existen actualmente en España, la industria ganadera. Esta es responsable del 14,5% de la total de generación de gases de efecto invernadero (GEI's) a nivel mundial, en forma de metano (CH_4 , un 49%), óxido nitroso (N_2O , un 24%) y dióxido de carbono (CO_2 , un 27%) [6].

En base a esto, el siguiente TFM propone un sistema de vermicompostaje para la gestión de residuos ganaderos, en concreto purines provenientes de la industria ganadera de la Comunidad Autónoma de Castilla y León. Desde este sistema se obtendrá un producto llamado humus de lombriz o vermicompost considerado una enmienda orgánica de suelos de excelente calidad.

1.1. Justificación

El tratamiento de los purines se justifica ante la aplicación directa en los suelos ya que existen factores importantes que son difíciles de controlar y problemáticas que pueden ser evitadas con el mismo tratamiento previo, tales como, la alta carga de nitrógeno, que supone una importante fuente de polución; una posible contaminación con nitratos de las aguas subterráneas y superficiales y además cantidades excesivas disponibles para los cultivos a los que se aplique el abono, afectando los rendimientos de los cultivos de forma determinante [7].

Estos efectos negativos de la aplicación directa de purines a los suelos se vuelven aún más notable cuando la aplicación se realiza en zonas vulnerables a la contaminación por nitratos. Estas corresponden al 22% de las tierras agrícolas de la Unión Europea. Para la zona de Castilla y León según el Decreto 5/2020 donde se aprueba el Código de Buenas Prácticas Agrarias (CBPA), de 25 de junio, se declaran 24 zonas vulnerables que comprenden 387 municipios y más de 14.414 km^2 , resultando en la protección del 15% de la comunidad y un 20% de la superficie agraria [7]. Además este código establece las pautas generales para una correcta gestión de los trabajos agrarios, garantizando el respeto, protección y mejora del medio ambiente. Sus principios generales abarcan temas como los principios generales de la fertilización, los tipos de fertilizantes orgánicos permitidos, la forma de aplicación, los periodos apropiados, las condiciones de aplicación, etc. [8].

También es probable que se produzca la contaminación del aire por olores, emisiones y volatilización de amoníaco. Depende de diversos factores tales como las características del suelo que se enmienda, la meteorología de la zona de aplicación, la composición del purín, y otros [7].

La contaminación de los suelos por parásitos y bacterias patógenas que se encuentran en los purines no tratados que son resistentes a antibióticos y tratamientos de depuración también son un riesgo. Estos se condicionan por características de la aplicación como la temperatura y la textura del suelo [7].

La materia orgánica disuelta en los purines también puede llegar hasta las corrientes de agua superficiales o subterráneas por escorrentía provocando la pérdida de oxígeno disuelto y la consiguiente eutrofización de las aguas. Este fenómeno se origina por el aumento de los nutrientes como el nitrógeno y fósforo en las aguas provocando la disminución del oxígeno disuelto producido por la descomposición de la materia vegetal generando una presión severa en la biodiversidad de los cuerpos de agua [9].

En el ámbito de desarrollo sostenible y minimización de impactos ambientales, existe la Directiva 2001/81/CE o Directiva Techo que fija límites máximos para las emisiones anuales totales de los Estados

miembros de la Unión Europea para SO₂, NO_x, NH₃ y COVNM, PM_{2,5} y CH₄, estableciendo techos de emisión para 2020 y 2030 y niveles intermedios para 2025 [10].

La Directiva Techo establece que el sector agroganadero es responsable de la mayoría de las emisiones de metano y amoniaco, **por lo cual será necesario adoptar medidas para reducir estas emisiones de forma determinante**, preocupándose principalmente de impactos negativos como la eutrofización y la generación de partículas secundarias que afectan la salud humana, ambos derivados de la producción indiscriminada de amoniaco. Y en cuanto al metano, los impactos negativos que se consideran son la formación de ozono y la contribución al cambio climático [10].

Finalmente, en el año 2015 los líderes mundiales establecieron un conjunto de 17 objetivos globales para conseguir un desarrollo sostenible (**Figura 2**). En este conjunto se especifican metas que deben alcanzarse en 15 años para cada objetivo particular. En España la implementación de los ODS es fundamental y para su cumplimiento se han establecido dos organismos que coordinan la estrategia, la Red Española para el Desarrollo Sostenible y la Agencia de Cooperación Española [11]. El tratamiento de purines se justifica en los objetivos 12, 13 y 15.



Figura 2: Objetivos de Desarrollo Sostenible [11].



2. OBJETIVOS

El objetivo global de este Trabajo Fin de Máster es diseñar una planta de procesamiento de los residuos ganaderos de una industria porcina para ser implantada en la Comunidad Autónoma de Castilla y León, basada en los procesos de vermicompostaje y compostaje.

Para alcanzar este objetivo global del TFM, se establecen los siguientes objetivos parciales:

- Describir y comprender los principios básicos del compostaje y vermicompostaje, el marco normativo bajo el cual se desarrollan ambos procesos productivos y el contexto actual de generación de residuos porcinos en la comunidad autónoma de Castilla y León.
- Conocer las ventajas y desventajas del vermicompostaje, así como todos sus parámetros determinantes, logrando justificar apropiadamente el tratamiento de los purines antes que la aplicación directa a los cultivos.
- Diseñar y describir el sistema de tratamiento completo incluyendo su dimensionado y diagrama de bloques, determinando la capacidad de tratamiento y el material resultante.
- Analizar la viabilidad económica y ambiental del sistema establecido, evaluando los diversos parámetros que convierten a este tratamiento en una opción viable y beneficiosa en ambos aspectos.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1. Generación de residuos porcinos en Castilla y León

España es responsable del 21,8% de la producción de carne de porcino a nivel de la Unión Europea, posicionándose en el segundo lugar después de Alemania quien le supera con un 22%. Durante los últimos años el sector porcino en España se ha ido intensificando rápidamente, llegando del 17% al 21,8% en tan solo 5 años [12].

De igual forma, en la comunidad autónoma de Castilla y León se ha observado un aumento en la producción ganadera en general. Las últimas estadísticas ganaderas de la comunidad indican un aumento en la producción porcina con una curva que sigue el mismo crecimiento que a nivel de país. En la **Figura 3** se muestra cómo ha evolucionado la producción de porcino tanto en España como en Castilla y León desde el año 2007 al 2020, destacando que al año 2020 se contaron 4.400.542 animales para la comunidad autónoma [13].

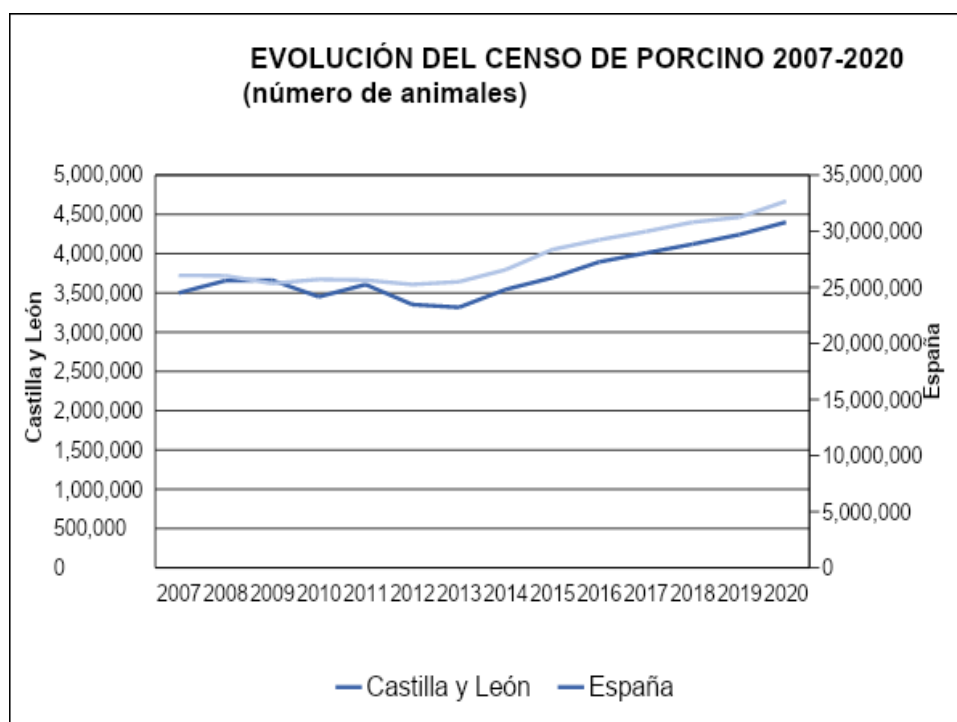


Figura 3: Evolución Censo Porcino 2007-2020 [13].

Con el fin de hacer una comparativa en cuanto al número de animales por especie que se crían en Castilla y León, la **Tabla 1** indica las cantidades de animales que se produjeron para cada especie el año 2020, reflejando que el mayor número corresponde a porcino, seguido por ovino, bovino y finalmente caprino [13].

Tabla 1: Número de animales por especie en Castilla y León [13].

CASTILLA Y LEÓN	
ESPECIE	Nº ANIMALES
Bovino	1.475.316
Ovino	2.501.976
Caprino	148.901
Porcino	4.400.542

3.1.1. Producción de purines en Castilla y León

El aumento en la producción trae consigo un inevitable aumento en la producción de residuos del sector ganadero. Una inadecuada gestión de estos residuos puede resultar en la contaminación de metales pesados y antibióticos en el suelo y agua, además de las emisiones de gases de efecto invernadero que afectan enormemente al medio ambiente [14]. Por esto es importante realizar una correcta gestión de estos residuos para poder cumplir los objetivos ambientales propuestos no solo por la misma provincia sino que también a nivel de país y de la Unión Europea.

Tal como se mencionó anteriormente, el desarrollo de este TFM se centra en la producción porcina de Castilla y León, la que alcanzó en el año 2020 la cantidad de **4.400.542** cabezas de animales. Este número se desglosa según la etapa de desarrollo en la que el animal se encuentra. La **Tabla 2** indica el desglose por edad, el cual es importante ya que se utilizan distintos factores por edad para calcular la cantidad de purines que ellos producen [13].

Tabla 2: Número de animales por edad en porcino [13].

<i>Edad</i>	<i>Nº Animales</i>
<i>Lechones y cerdos < 20 kg</i>	1.202.130
<i>CERDOS CEBO</i>	2.730.294
<i>Cerdos de 20 a 49 kg</i>	760.246
<i>De 50 a 79 kg</i>	772.062
<i>De 80 a 109 kg</i>	812.096
<i>De 110 o más kg</i>	385.890
<i>VERRACOS</i>	5.085
<i>HEMBRAS REPRODUCTORAS</i>	463.033
<i>Nunca han parido - no cubiertas</i>	108.066
<i>Nunca han parido - cubiertas 1ª vez</i>	38.043
<i>Cerdas ya paridas - cubiertas</i>	233.490
<i>Cerdas ya paridas - criando o reposo</i>	83.434
TOTAL ANIMALES	4.400.542

Para el cálculo de la biomasa potencial de residuos generados por esta industria, se utilizan los valores de deyecciones y de nitrógeno que se entregan en la **Tabla 3**. Estos valores son aplicados al número de animales por edad y así se obtiene el total de biomasa y de nitrógeno producido reflejada en la **Tabla 4**. Para calcular la cantidad de purín en toneladas se utiliza una densidad de 1,040 t/m³ [15]. Los datos indican que en para el año 2020 se generaron **8.608.257 t/año de Purines**.

Tabla 3: Cantidad de deyecciones y nitrógeno por edad [16] [17].

<i>Especie y fase reproductiva</i>	<i>kg N/animal/año</i>	<i>Purín m³/animal/año</i>
<i>Cerda en ciclo cerrado</i>	57,6	17,75
<i>Cerda con lechones hasta destete (0-6 kg)</i>	15	5,1
<i>Cerda con lechones hasta 20 kg</i>	18	6,12
<i>Cerda de reposición</i>	8,5	2,5
<i>Lechones 6-20 kg</i>	1,19	0,41
<i>Cerdo engorde (20-50 kg)</i>	6	1,8
<i>Cerdo engorde (50-100 kg)</i>	8,5	2,5
<i>Cerdo de recebo (20-100 kg)</i>	7,25	2,15
<i>Verraco</i>	18	6,12

Tabla 4: Cantidad de residuos ganaderos producidos por edad (Elaboración propia).

Especie - Edad	Nº animales	t N/año	t Purín/año
<i>Lechones y cerdos < 20 kg</i>	1.202.130	1.430,5	512.588
<i>Cerdos de 20 a 49 kg</i>	760.246	4.561,5	1.423.181
<i>De 50 a 79 kg PV</i>	772.062	6.562,6	2.007.361
<i>De 80 a 109 kg</i>	812.096	6.902,8	2.111.450
<i>De 110 o más kg</i>	385.890	3.280	1.003.314
VERRACOS	5.085	91,530	32.365
<i>Nunca han parido - no cubiertas</i>	108.066	918,561	280.972
<i>Nunca han parido - cubiertas 1ª vez</i>	38.043	323,366	98.912
<i>Cerdas ya paridas - cubiertas</i>	233.490	1.984,6	607.074
<i>Cerdas ya paridas - criando o reposo</i>	83.434	1.501,8	531.041
TOTALES	4.400.542	27.557,4	8.608.257

3.2. Características y composición de los purines

El purín se produce en las granjas de ganado porcino y corresponde a los residuos líquidos compuestos por heces y orines, aguas de lavado y restos de comida de los animales. Estos poseen una alta carga orgánica y un pH aproximado de 7, lo que puede variar con el tipo de alimento que los cerdos reciben [18].

Los purines son altos en nutrientes tales como Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Contienen un gran porcentaje de agua y pueden ser directamente aplicados como abono a los cultivos, o ser revalorizados como un producto distinto (compost, biogás u otro) [19].

Su composición química varía en función de las características propias de cada explotación, de la época del año y de las aguas pluviales. De forma general se estima que su contenido de agua puede llegar a ser del 90%, tener baja concentración de materia orgánica y relación C/N por su alto contenido de nitrógeno amoniacal, alto contenido de macro y micronutrientes y una buena capacidad tampón. En la **Tabla 5** se indican los valores medios de la composición química de los purines [20].

Tabla 5: Composición química de los purines [20].

Parámetro	Valor medio
<i>Sólidos totales (g/kg)</i>	62,16
<i>Sólidos totales volátiles (g/kg)</i>	42,33
<i>Sólidos totales/Sólidos totales volátiles (%)</i>	65
<i>Demanda química de oxígeno (g/kg)</i>	73,02
<i>Nitrógeno total (g/kg)</i>	5,98
<i>Nitrógeno amoniacal (g/kg)</i>	4,54
<i>Nitrógeno orgánico (g/kg)</i>	1,54
<i>Porcentaje N-NH⁴⁺ /NTK (%)</i>	75
<i>Fósforo (g/kg)</i>	1,38
<i>Potasio (g/kg)</i>	4,83
<i>Cobre (mg/kg)</i>	40
<i>Zinc (mg/kg)</i>	66

Para revalorizar un purín es necesario separar la fracción sólida de la líquida para poder tratar apropiadamente ambas fracciones y hacer eficiente el transporte al concentrar la materia compostable y transportar volúmenes menores de líquido, evitando el alto coste monetario asociado [19].



Los métodos de separación pueden ser mecánicos o fisicoquímicos. La fracción líquida puede ser tratada de forma biológica para la obtención de biogás que se traduce posteriormente en energía y la fracción sólida es la que se utiliza para producir fertilizantes orgánicos mediante el compostaje u otro proceso similar [19].

En cuanto a las técnicas de tratamiento que esta investigación abarca, se definen dos procesos, el compostaje que corresponde al proceso de descomposición de la materia orgánica de forma directa o indirecta realizado por organismos descomponedores y por pequeños animales, y el vermicompostaje que es el mismo proceso de descomposición pero únicamente realizado por lombrices, quienes a través de sus tubos digestivos y en conjunto a otros microorganismos transforman la materia orgánica en humus de lombriz o vermicompost. El producto final del vermicompostaje posee una mejor estructura y mayor concentración de nutrientes que garantiza condiciones muy favorables para el crecimiento y desarrollo de las plantas y los microorganismos presentes en el suelo [21].

3.3. Gestión y tratamiento de purines

Existen diferentes métodos para tratar los purines generados en las granjas según su tamaño y cantidad de purín que producen [20].

- **Balsas impermeabilizadas:** se usan en granjas pequeñas con una producción de purín menor. En ellas se produce la evaporación de agua naturalmente y luego se aplica directamente el purín más deshidratado a los suelos [20].
- **Separación mecánica:** se realiza en granjas de mayor tamaño y producción de purines. Consiste en la separación mecánica de la fase líquida y sólida. Sus objetivos son facilitar el transporte y preparar las materias para los procesos de tratamiento para cada fase generada. Los métodos más comunes son por tamiz estático o por tornillo prensa [22]. La fracción líquida puede ser tratada ex-situ o ser aplicada en el riego y la fracción sólida se composta para conseguir un abono o enmienda orgánica [20].

Algunos métodos más avanzados son el secado térmico, los tratamientos aerobios y anaerobios.

- **Secado térmico:** consiste en la quema de gas natural para deshidratar el purín y generar electricidad con el calor producido en la combustión. Pero el transporte de grandes volúmenes de purín hasta las plantas de cogeneración implica un coste económico importante de considerar [20].
- **Tratamiento anaerobio:** es un proceso bioquímico que transforma la materia orgánica en biogás y digestato por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno. El biogás está compuesto por metano y dióxido de carbono, el metano posee un poder calorífico de 5.500 kcal/Nm³ por lo cual es posible generar energía térmica y eléctrica [20, 22].
- **Tratamiento aerobio:** es al igual que el proceso anaerobio, un proceso bioquímico, pero este transforma la materia orgánica por acción de microorganismos en presencia de oxígeno. Sucede en tres fases, primero una separación sólido/líquido, luego un tratamiento fisicoquímico, generalmente de coagulación, floculación y decantación de la parte líquida, y finalmente tratamiento biológico con aireación. La parte sólida puede ser compostada o directamente aplicada a los suelos [20, 22].

Por otro lado, existen tratamientos de recuperación de nitrógeno amoniacal, concentración de nutrientes y precipitación de fósforo, los cuales buscan controlar la concentración o recuperar los nutrientes de los purines.

- **Recuperación de nitrógeno amoniacal:** el nitrógeno amoniacal se encuentra en dos formas que se encuentran en equilibrio químico, ionizada y soluble (NH₄⁺) y/o gas o amoniaco

volatilizable (NH_3^+). La concentración de ambas formas es dependiente de la temperatura y el pH. Cuando el pH o la temperatura bajan predomina su forma soluble, evitándose su pérdida a la atmósfera en forma de NH_3^+ , por lo cual la concentración de nitrógeno amoniacal incrementa durante la digestión anaeróbica [22].

Por esto se debe controlar este fenómeno mediante técnicas de recuperación de nitrógeno como, stripping y absorción o separación de amonio mediante membranas hidrofóbicas [22].

- **Concentración de nutrientes:** de forma similar al proceso descrito anteriormente sobre el amoníaco, existen otros nutrientes que pueden presentarse como excedentes en los materiales. Para esto se utilizan procesos basados en separar los nutrientes del agua a modo de obtener un producto con mayor concentración de nutrientes y menor masa y volumen para transportar más fácilmente. Algunos tratamientos son la filtración por membranas, la concentración térmica mediante evaporación al vacío, secado, etc. [22].
- **Precipitación de fósforo:** por técnicas de precipitación se puede extraer el fósforo de la fracción líquida de los purines. Estos procesos se ven favorecidos a valores de pH altos peligrando la volatilización del NH_3^+ . Algunos procesos son la precipitación de estruvita y la precipitación de fosfatos cálcicos [22].

3.4. Compostaje de residuos ganaderos

3.4.1. Principios básicos del compostaje

Se define como compostaje al proceso de descomposición en condiciones aeróbicas de la materia orgánica producida por microorganismos, que genera un producto llamado compost. El compost posee características muy favorables para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes a los cultivos y al suelo, debe completar su proceso en condiciones adecuadas de humedad y temperatura para que el material logre ser asimilable por las plantas. Debe completar ciertas fases de transformación, ya que una aplicación del material en estados incompletos puede producir fototoxicidad por amonio, bloqueo biológico del nitrógeno, reducción del oxígeno radicular y exceso de amonio y nitratos en las plantas y fuentes de agua [23].

El compostaje posee cuatro etapas determinantes que se describen a continuación. En la **Figura 4** se muestra el proceso en el tiempo indicando cada etapa:

1. **Fase mesófila:** su duración es de 2 a 8 días. En esta etapa se produce un aumento rápido de temperatura hasta los 45°C del material de partida producto de la actividad microbiana. Los microbios utilizan fuentes de carbono y nitrógeno generando calor y también se produce una disminución en el pH cercano a 4,5 producto de la descomposición de compuestos solubles como azúcares [24].
2. **Fase termófila:** su duración es de días hasta meses. Una vez que este material alcanza la temperatura de 45°C los microorganismos mesófilos (desarrollados a temperaturas medias) son reemplazados por microorganismos termófilos (desarrollados a altas temperaturas) que facilitan la degradación de fuentes de carbono más complejas, transformando el nitrógeno en amonio y produciendo una subida en el pH. Las altas temperaturas destruyen las bacterias y los contaminantes de origen fecal [24].
3. **Fase de enfriamiento o mesófila II:** nuevamente se produce una baja de la temperatura (hasta los $40-45^\circ\text{C}$) producto del agotamiento de las fuentes de carbono y nitrógeno, con lo cual los microorganismos mesófilos retoman su actividad y el pH desciende [24].

4. **Fase de maduración:** se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados, formando ácidos húmicos y fúlvicos. Demora meses y se produce a temperatura ambiente [24].

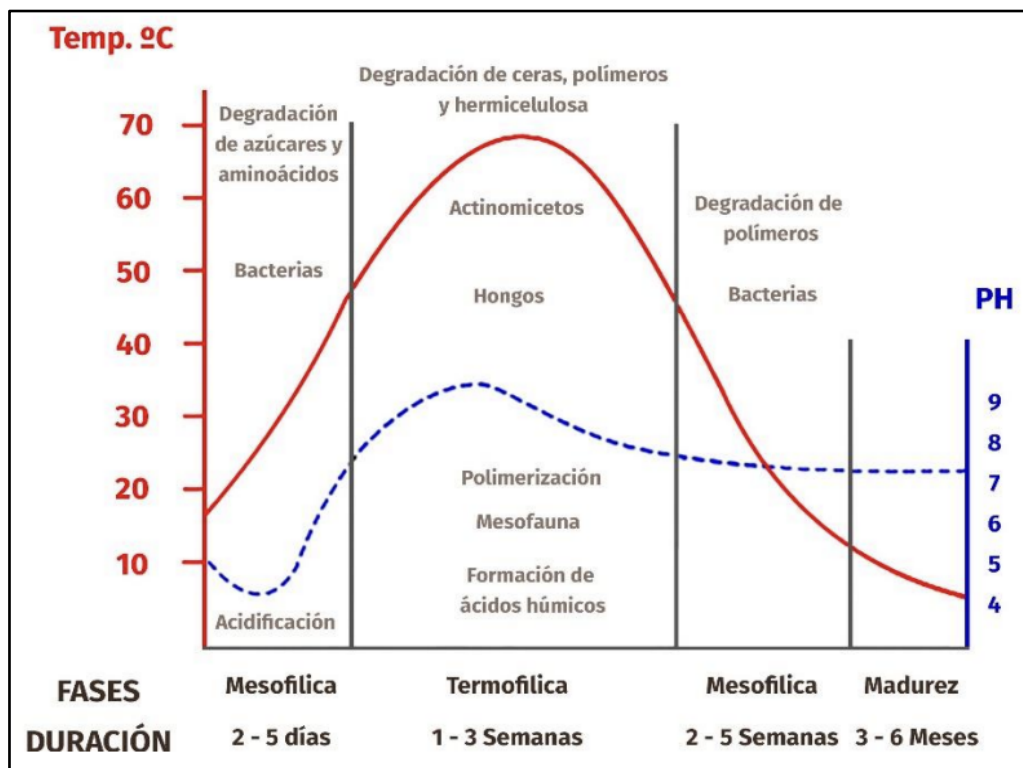


Figura 4: Fases de compostaje [25].

3.4.2. Parámetros de operación

Para que la producción de compost sea exitosa se deben considerar ciertos parámetros importantes que controlar. Se describen y se entregan sus valores apropiados, además se mencionan las formas de corregir estos valores con acciones simples.

- **Oxígeno:** ya que el compostaje es un proceso aerobio, es necesario que el proceso disponga de una cantidad de oxígeno apropiada para permitir la respiración de los microorganismos y evitar los malos olores [26]. El valor de saturación de oxígeno adecuado se encuentra entre 5-10%. Cuando hay un exceso la temperatura desciende y se pierde humedad por evaporación deteniendo la descomposición. Para corregir o evitar este exceso se recomienda realizar la molienda del material para reducir así el tamaño de poro y por ende la aireación. Es importante además regular la humedad proporcionando agua al material. Una baja aireación produce que la evaporación de agua sea insuficiente produciendo un exceso de humedad y anaerobiosis que trae malos olores y acidez. Para corregir esto se recomienda el volteo de la mezcla y la adición de material estructurante que permita una mayor aireación [24].
- **Dióxido de Carbono:** es uno de los productos, en conjunto a la biomasa, de la respiración de los microorganismos producido por la oxidación del carbono presente en las materias primas. Este gas constituye una de las fuentes de carbono más importantes para las plantas y otros microorganismos fotosintéticos y además es un GEI. La cantidad de CO₂ producida dependerá



de la actividad microbiana y el sustrato utilizado, pero en general se producen 2-3 kg de CO₂/t de sustrato [24, 27].

- **Humedad:** el agua es usada para el transporte de nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular por los microorganismos. Su valor óptimo se sitúa alrededor del 55% variando con el tamaño de partícula y su estado [24, 27]. Si hay una humedad más baja la actividad microbiana disminuye generando un producto biológicamente inestable. Esta situación puede remediarse proporcionando agua al material o añadiendo un material fresco. Si es más alta se producirá una saturación de los poros afectando la oxigenación, lo cual puede corregirse con el volteo de la mezcla o la adición de un material con baja humedad y alto contenido de carbono [26].
- **Temperatura:** la temperatura varía según la fase de compostaje que se evalúe, teniendo un rango de temperatura amplio de 35-70°C. Es importante que no decaiga o aumente a demasiada velocidad ya que se desestabiliza el proceso de descomposición. La temperatura se sitúa por debajo de 35°C cuando hay una humedad o una cantidad de material insuficiente o un déficit de nitrógeno (baja relación C:N). Para corregir este problema se puede humedecer el material o añadir material fresco, añadir más material a la pila o añadir un material con alto contenido de nitrógeno. Temperaturas superiores a 70°C ocurren cuando la ventilación y humedad son insuficientes, siendo el volteo y la verificación de humedad las medidas correctoras óptimas [24, 28].
- **pH:** el pH varía de acuerdo con la fase de compostaje y de los materiales de origen. La mayor actividad microbiana se produce a valores de pH de 6 a 7,5 y la mayor actividad fúngica a valores de 5,5 a 8, estableciéndose el rango ideal en 5,8-7,2. Un exceso de ácidos orgánicos produce un descenso del pH a valores menores de 4,5, acidificando el medio, y se puede corregir con la adición de material rico en nitrógeno. Contrariamente un exceso de nitrógeno puede elevar los valores de pH a más de 8,5 alcalinizando el medio, siendo la medida correctora la adición de material más seco y con más carbono [24, 28, 29].
- **Relación Carbono-Nitrógeno:** corresponde a la cantidad de carbono que posee un material con respecto a la cantidad de nitrógeno. Varía en función de las características del material inicial y disminuye a lo largo del proceso desde 35:1 a 15:1 implicando un aumento de nitrógeno en el material. Cuando se produce un exceso de carbono (relación C:N alta) el proceso tiende a ralentizarse y disminuir su temperatura para lo que se recomienda adicionar materiales ricos en nitrógeno para calibrar la relación. Por el contrario si hay un exceso de nitrógeno (relación C:N baja) el proceso tiende a aumentar su temperatura y generar malos olores debido al amoníaco liberado. Se recomienda entonces adicionar material con mayor contenido de carbono [24, 29].
- **Tamaño de partículas:** hay una estrecha relación entre el tamaño de partícula y la actividad microbiana, ya que cuanto mayor superficie de contacto hay, mayor será la facilidad de acceso al sustrato, acelerando el proceso de descomposición [26]. Se establece un tamaño ideal de los materiales de 5-20 cm, y una densidad aproximada de 150-250 kg/m³. Esta densidad va aumentando debido a la disminución del tamaño de los restos llegando a 600-700 kg/m³ [24]. Si se posee un tamaño de partícula mayor a 30 cm se produce un exceso de aireación por lo cual el proceso se desacelera al crearse muchos canales de aireación, por lo que es recomendable moler el material. Por otro lado si el tamaño de estas es menor a 5 cm se produce una compactación de la pila ya que estas partículas muy finas tienen la capacidad de llenarse de agua y restringir el flujo de aire generando anaerobiosis, recomendando así realizar volteos recurrentes y añadir material de mayor tamaño [24, 27, 28].

- **Dimensiones de la Pila de compostaje:** para realizar un dimensionado correcto de la pila de compostaje se debe considerar una reducción de esta a lo largo del proceso de aproximadamente un 50% de su volumen inicial. La disminución se produce por la compactación del material y la liberación de carbono a la atmósfera. También se debe tener en cuenta la cantidad de material a compostar y el área disponible, siendo lo habitual generar pilas de 1,5 - 2 m de altura y de 1,5 - 3 m de ancho [24].

La altura de la pila afecta directamente al contenido de humedad, la cantidad de oxígeno y la temperatura. Pilas bajas y anchas tienen una buena humedad y relación C:N pero pierden calor muy rápidamente [24].

- **Sistemas de compostaje:**

Existen dos sistemas principales para compostar, los cuales tienen distinta influencia en los parámetros antes mencionados. Sistemas abiertos y sistemas cerrados.

a. Sistemas abiertos:

- **Compostaje en pila estática:** la aireación solo se produce con la inserción de tubos o por aireación forzada. Se basa en amontonar los materiales sobre el suelo; es muy versátil y de pocas complicaciones. Se considera exitoso para compostar estiércol, restos de poda, fangos y residuos sólidos urbanos. En la **Figura 5 y Figura 6** se muestra un sistema de compostaje estático con tubos y con aireación forzada respectivamente [30].



Figura 5: Pila estática con tubos para aireación [31].



Figura 6: Pila estática con aireación forzada [31].

- **Compostaje en pila móvil:** la Figura 7 muestra como la pila se remueve periódicamente durante el proceso por una pala cargadora y busca controlar los parámetros de humedad, aireación, temperatura y estructura [30].



Figura 7: Pila con volteo [31].

- b. **Sistemas cerrados:** Se realiza en reactores cerrados y poseen un elevado coste de inversión. Principalmente se realiza en reactores de flujo horizontal y vertical. Estos

sistemas buscan conseguir un mejor control de los parámetros del proceso, un menor tiempo de residencia y una continuidad del proceso [31]. En la **Figura 8** se muestra un sistema de compostaje cerrado en tambor rotatorio correspondiente a un sistema de flujo horizontal.



Figura 8: Sistema de compostaje en tambor rotatorio [32].

3.4.3. Ventajas y Desventajas del compostaje

Como todo proceso, el compostaje tiene ventajas y desventajas importantes de conocer. En forma general una de las ventajas más grandes es la circularidad del sistema, es decir, que el ciclo de la materia orgánica se cierra, devolviendo al suelo lo que antes se había quitado [33].

Ventajas:

- El alto contenido de materia orgánica del compost implica que los suelos a los que es aplicado también aumenten su materia orgánica, proporcionando una mejor estructura, capacidad de retención de agua y de intercambio catiónico [34]. Esto fomenta el desarrollo saludable de las raíces de los cultivos, ayuda a controlar la erosión, modera la temperatura del suelo y reduce las malezas [35].
- El uso del compost atrae microorganismos beneficiosos y lombrices dado su buen contenido de nutrientes. Esto proporciona que aumente la actividad microbiana en los suelos [35] lo que es fundamental en la provisión y disponibilidad de nutrientes para las plantas y en la supresión de enfermedades edáficas por competencia microbiana, presencia de sustancias húmicas y parasitismo [34].
- Además de los nutrientes disponibles en el compost, la actividad microbiana aumenta la disponibilidad de nutrientes ya que los comienzan a movilizar y a dejar mejor disponibles para los cultivos [34], reduciendo la necesidad de enmiendas o fertilizantes comerciales [35].
- Estos impactos positivos brindan una resiliencia del sistema planta-suelo mayor [34], traduciéndose en condiciones más beneficiosas para el desarrollo de las plantas, equilibrios de pH correctos, protección ante sequías y heladas, mayor retención de agua por la mejora en la

estructura, ahorro del agua por la reducción de la escorrentía y mayor retención en el suelo, entre otros [35].

Desventajas:

- El hecho de que el compost tenga un volumen y peso significativo hace que su transporte implique costos adicionales, disminuyendo su disponibilidad en algunos lugares [34].
- La maquinaria para el procesado de la materia prima, el volteo, la aireación en los casos de ser forzada, implica también costos más o menos elevados de inversión, aunque en comparación con los tratamientos más avanzados son menores [34].
- La calidad del compost es determinante. Un proceso de compostaje incompleto o mal realizado implica impactos negativos al suelo. Es importante el monitoreo constante del estado o de sus fases [34]. Un inapropiado proceso de compostaje puede traer consigo la generación de malos olores y gases como el CO₂ [36].
- El requerimiento de una superficie de terreno amplia para la instalación del sistema de compostaje [36].

3.5. Vermicompostaje de residuos ganaderos

El proceso de vermicompostaje consiste en la descomposición directa e indirecta de la materia orgánica por parte de las lombrices. La forma directa ocurre cuando las lombrices utilizan la materia orgánica como alimento y generan galerías con su desplazamiento aumentando la porosidad del material y generando aireación del sustrato. La forma indirecta ocurre cuando estas excretan lo que ingieren, aproximadamente el 60% del material, provocando una estimulación en la microflora del suelo y generando un hábitat propicio para los microorganismos descomponedores en él [21].

El proceso de vermicompostaje ocurre en tres etapas, acondicionamiento, vermicompostaje y maduración. La **Figura 9** indica el porcentaje de humedad del sustrato durante las tres fases, el momento de inoculación con lombrices y de su posterior retirada [29].

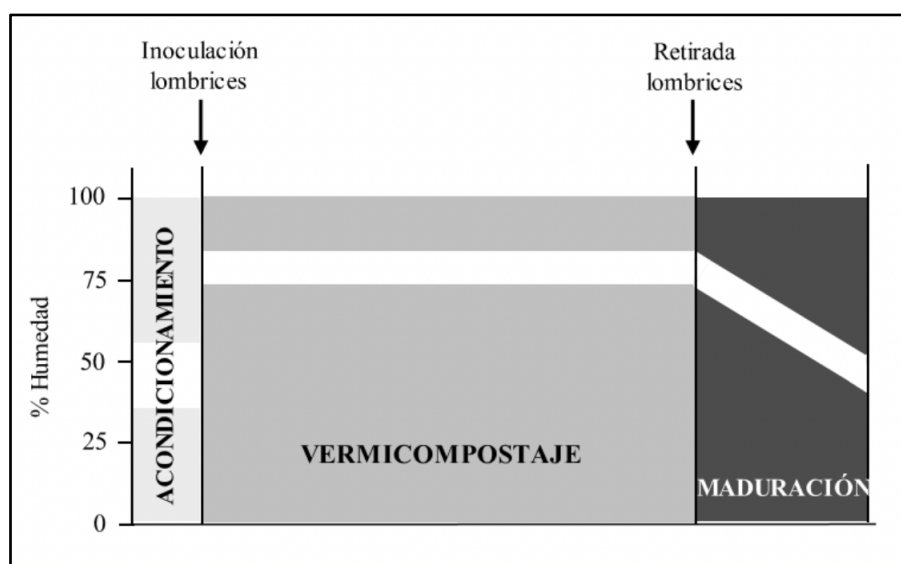


Figura 9: Etapas del vermicompostaje [29].

- 1. Acondicionamiento:** Consiste en la preparación del residuo para que pueda servir de alimento para las lombrices. Algunos tratamientos de acondicionamiento pueden ser el lavado, macerado, mezcla con otros residuos, precompostaje, entre otros [29].
- 2. Vermicompostaje:** Inicia en la inoculación de las lombrices en el residuo, la alimentación y la posterior retirada. Su duración va a depender del tipo de residuo, densidad de las lombrices, especie que se utiliza, etc. [29].
- 3. Maduración:** Se realiza posterior a la retirada de las lombrices del material. Se deja el material en reposo un tiempo para que se estabilice, aumente su calidad, disminuya su humedad y los microorganismos terminen el proceso de descomposición [29].

El vermicompost corresponde al material fertilizante orgánico compuesto del material procesado en el intestino de las lombrices de tierra y es una técnica más beneficiosa que el compostaje porque proporciona una mejor biodisponibilidad de todos los macro y micronutrientes. Aunque algunos de estos nutrientes inorgánicos ya están presentes en el suelo, son complementados con la liberación gradual durante la mineralización de la materia orgánica [37].

Las lombrices de tierra son los agentes clave del vermicompostaje; estos son organismos triblásticos segmentados y celomados de hábitos terrestres. Celomados quiere decir que poseen una cavidad revestida de epitelio que se desarrolla entre la pared del cuerpo y las vísceras, y triblásticos que en su desarrollo embrionario se diferencian tres hojas embrionarias, ectodermo, endodermo y mesodermo [38].

Estas son comunes en suelos húmedos y representan la mayor biomasa animal del ecosistema terrestre, por lo cual son grandes influenciadores de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, modificando su estructura y acelerando la descomposición y el reciclado de nutrientes [38].

Existe un elevado número de especies de lombrices de tierra, pero para el vermicompostaje el número es mucho más limitado, ya que para que sean adecuadas para el proceso estas deben tener una buena capacidad de colonización, una alta tasa de consumo, digestión y asimilación de materia orgánica, alta tolerancia y resistencia, ciclos de vida cortos y una alta tasa reproductiva. Por esto, actualmente sólo existen cinco especies que habitualmente se usan en la vermicultura, *Eisenia andrei*, *Eisenia foetida* (**Figura 10**), *Dendrobaena veneta*, *Perionyx excavatus* y *Eudrilus eugeniae*. En la **Tabla 6** se entregan las principales características biológicas y sus condiciones ambientales requeridas para las especies de lombriz de clima templado que usualmente se utilizan en vermicompostaje [38].



Figura 10: Lombriz Roja Californiana adulta (*Eisenia foetida*) [39].

Tabla 6: Características biológicas y condiciones ambientales de las principales especies de lombrices de clima templado utilizadas en procesos de vermicompostaje [38].

Característica	<i>Eisenia foetida</i>	<i>Eisenia andrei</i>	<i>Dendrobaena veneta</i>	<i>Dendrobilus rubidus</i>	<i>Lumbricus rubellus</i>
Tamaño adulto (mm)	50-100	50-100	50-80	35-60	70-100
Peso adultos (g)	0,55	0,55	0,92	0,25	0,8
Ciclo de vida (días)	45-51	45-51	100-150	75	120-170
Tiempo maduración (días)	28-30	21-26	65	54	74-91
Número de cápsulas/día	0,35-0,5	0,35-0,5	0,28	0,2	0,07-0,35
Viabilidad eclosión (%)	73-80	72	20	80	60-80
Nº descendientes/cápsula	2,5-3,8	2,5-3,8	1,1	1,67	1
Temperatura óptima (°C)	0-35	0-35	15-25	15-25	-
Humedad óptima	70-90	80-85	75	75	-

3.5.1. Ciclo de vida y características de la Lombriz Californiana

La lombriz roja californiana de nombre científico *Eisenia foetida* es una lombriz de la familia *Lumbricidae* que posee boca sin dientes que utiliza para succionar los alimentos. Su cuerpo es cilíndrico, anillado y posee 120-175 segmentos cubierta por una cutícula fina, es de una longitud de 6-8 cm y de 3-5 mm de diámetro [40]. La **Figura 11** muestra su morfología general.

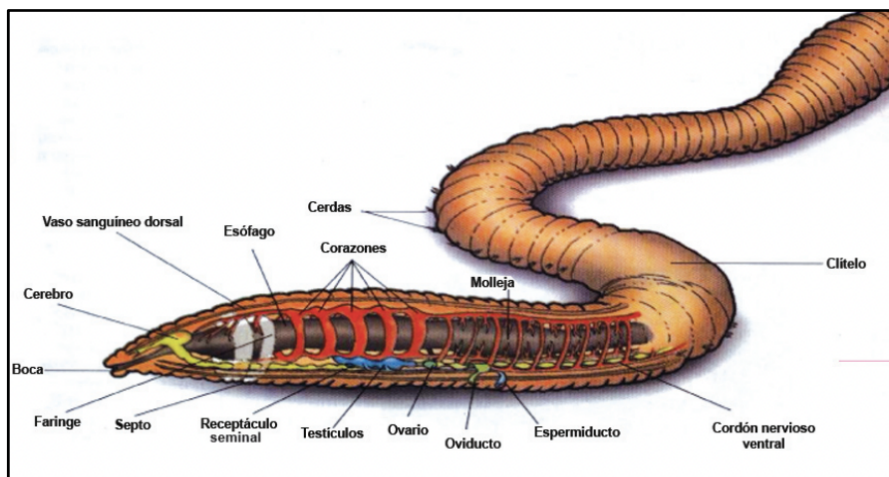


Figura 11: Morfología Lombriz roja californiana [40]

Esta lombriz es una especie hermafrodita, que realiza su reproducción de forma cruzada, realizando el acoplamiento con otra de su especie y quedando ambas fecundadas, proceso desde el cual nacen dos cocones desde un Clitellium, aparato que se encarga de secretar las sustancias que formarán los cocones y donde se alojarán los huevos fecundados. El clitellium mide de 2-3 mm y se abre a los 14-21 días en condiciones óptimas. Las lombrices al emerger miden 1 mm, y los individuos adultos tienen la capacidad de ingerir diariamente el 100% de su peso de materia orgánica en descomposición, donde el 60% es excretado como abono orgánico y el 40% es asimilado convirtiéndose en biomasa de lombriz. Estas lombrices son 80% agua, 20 % materia seca y poseen un 65% de proteína [40].

La lombriz puede vivir hasta 4 años en cautiverio, reproduciéndose una vez por semana. Su ciclo comienza cuando la lombriz adulta se acopla a otra y genera los dos cocones, después de 21-23 días nacen las dos lombrices las cuales crecen en 50-65 días a 2-3 cm. Estas lombrices juveniles poseen los

mismos hábitos alimenticios que las adultas, quienes miden hasta 7 cm [40]. La **Figura 12** muestra su ciclo de vida completo.

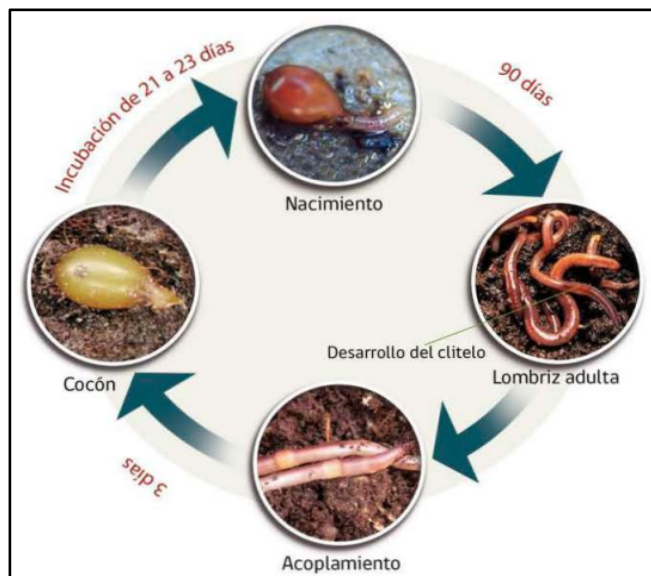


Figura 12: Ciclo de vida de la lombriz roja californiana [40].

3.5.2. Establecimiento de una plantación de lombricultura

Es importante establecer los pasos fundamentales para establecer una plantación de lombricultura. Este comienza con la adquisición del pie de cría, probablemente mediante la compra de una cantidad de lombrices que se crían y multiplican hasta tener un tamaño de cama apropiado según la cantidad de residuos a tratar. Una vez conseguida esta cantidad comienza el proceso de alimentación de las lombrices con los residuos sólidos de los purines y finaliza con la cosecha de humus [40]. A continuación se describe detalladamente cada paso.

- 1. Adquisición pie de cría:** Corresponde a la etapa de compra de lombrices. En la **Tabla 7** se indica la cantidad de lombrices a manejar según el tamaño de la explotación. En este TFM se considera una explotación de escala mediana o comercial al menos para este sector en estudio, altamente productivo en residuos de porcino en Castilla y León [40].

Tabla 7: Cantidad de lombrices por tamaño de explotación (Elaboración propia).

Tipo de explotación	Área de producción (m ²)	Cantidad de lombrices (kg)
Pequeña escala	3	30
Mediana escala	50	500
Escala comercial	100 o más	1000 o más

- 2. Preparación de canteros o lechos:** Estos corresponden a una infraestructura simple donde se vierte el sustrato (alimento) para que las lombrices encuentren en él todos sus requerimientos nutricionales para subsistir. Su ancho va desde 1 a 1,5 m y su largo variará según las necesidades dadas por la carga de alimento, tendrá una altura máxima de 60 cm, y su material puede ser madera, troncos, ladrillos, entre otros materiales simples [40, 41].
- 3. Selección y preparación de los sustratos:** Para la alimentación de las lombrices el sustrato debe tener unas características básicas que incluyen la capacidad de mantener la humedad, debe conservarse poroso y no producir terrones. En el caso del purín, este no puede ser aplicado

directamente a las lombrices por su alto contenido de amoníaco, antes debe pasar por un proceso de compostaje [40].

4. **Siembra de lombrices en los canteros:** El inicio de la siembra se hace con 10 kg/m² y con el paso de 90 días esta población suele multiplicarse, lo que permite que en algunos meses se consiga la población suficiente para sembrar nuevos canteros [40].
5. **Riego de los canteros:** Para que las lombrices realicen una buena digestión de los alimentos se debe mantener una humedad del 75-80% en el sustrato, por lo cual es importante hacer el seguimiento de este parámetro y regar los canteros con una frecuencia determinada por cada caso particular. En general se realiza un riego de casi 10 L de agua por m² cada 3 días [40].
6. **Alimentación de canteros:** La alimentación a los canteros se debe suministrar periódicamente dependiendo de la cantidad de alimento y la densidad poblacional. Se usan generalmente 90 kg de sustrato por m² dispuestas en forma de franjas de una altura de 10 cm [40].
7. **Ampliación del criadero:** El hecho de que la lombriz californiana se multiplique demasiado hace necesario la ampliación de los canteros, la creación de canteros nuevos o la regulación en la cantidad de lombrices que van quedando en cada uno [40].
8. **Cosecha de lombriz:** Consiste en la retirada de las lombrices para posteriormente poder retirar el material listo. Existen varios métodos que se basan en interrumpir el suministro de alimento y proporcionar por el rededor sustrato nuevo para que las lombrices se reubiquen y puedan ser retiradas liberando el material [41].
9. **Cosecha de humus:** El humus restante queda con un 3% de lombrices, este ya es apto para ser retirado. Se deja orear hasta llegar a una humedad del 50% bajo sombra y luego se realiza el cribado [41].

3.5.3. Parámetros de operación

Los siguientes parámetros descritos en la **Tabla 8** son fundamentales de controlar durante todo el proceso de producción de vermicompost para mantener a las lombrices saludables y para obtener un producto de buena calidad [40].

Tabla 8: Parámetros y valores a controlar de forma fundamental (Elaboración propia).

Parámetro	Valor límite
<i>Ubicación de canteros</i>	Lugares sombreados Pendiente < 20% En dirección de los vientos
<i>Iluminación</i>	Evitar rayos UV directos
<i>Humedad</i>	75-80%
<i>Temperatura</i>	15-24°C
<i>pH</i>	6,8 - 7,2
<i>Aireación</i>	Cada 7 días

3.5.5. Ventajas del vermicompostaje sobre el compostaje

La principal ventaja del vermicompostaje sobre el compostaje es que el primer proceso aprovecha la capacidad detritívora de las lombrices gracias a sus enzimas digestivas y su microflora que aceleran el proceso de descomposición de los residuos orgánicos. Asimismo, se acelera la humificación de la materia orgánica, aumenta los niveles de ácidos húmicos y fúlvicos entre 40 y 60% [42].



También la digestión por parte de las lombrices ayuda a la fragmentación adecuada de la materia dispuesta, lo que aumenta la cantidad de partículas pequeñas, modificando la densidad aparente y disminuyendo el volumen más rápido [42].

El material resultante del vermicompostaje posee una mayor concentración de nutrientes mejor asimilables ya que el tránsito por el intestino de las lombrices cambia de forma importante la composición química del residuo [42].

3.6. Marco normativo

Se presenta el marco normativo atinente a este TFM, incluyendo normativa sobre subproductos, fertilizantes, mejores técnicas disponibles y buenas prácticas agrarias.

3.6.1. Subproducto SANDACH III

En el proceso de obtención de alimentos se derivan una serie de productos que no son destinados a consumo humano denominados SANDACH, definidos bajo el Reglamento (CE) 1774/2002. Estos productos pueden ser gestionados de dos formas, como SANDACH sin posibilidad a valoración comercial los cuales son recogidos, transportados y eliminados con un impacto económico en su gestión o como SANDACH con posibilidad de valorización comercial, estableciéndose un circuito de comercialización y dándole un valor económico [43].

Según el riesgo que impliquen se clasifican en tres categorías, Categoría 1, Categoría 2 y Categoría 3. Los residuos tratados en este TFM se clasifican en la Categoría 2, los cuales corresponderá a cualquier material que provenga desde el estiércol y purines de los animales, materiales de origen animal recogidos al depurar las aguas residuales, materiales de mataderos, productos de origen animal que contengan residuos de medicamentos veterinarios y contaminantes, animales o partes de animales que mueran sin ser sacrificados para el consumo humano, mezclas de material de la Categoría 2 con material de la Categoría 3, o SANDACH distintos del material de las Categorías 1 o 3 [43].

Los subproductos de Categoría 2, en cuanto al estiércol y purines se podrá utilizar como materia prima en instalación de biogás o de compostaje, siempre y cuando una autoridad competente determine que no posee peligrosidad para la salud humana, según las normas que se establecen en el artículo 33.2 del Reglamento [43].

3.6.2. Real Decreto de fertilizantes

El Real Decreto 506/2013, de 28 de junio sobre productos fertilizantes tiene como objetivo establecer la normativa sobre los productos fertilizantes y las normas aplicables para las comunidades autónomas, regulando acciones relativas a los abonos, definir y tipificar los productos disponibles, garantizar la riqueza nutritiva, prevenir los riesgos y regular el registro e inscripción [44].

En el Artículo 5 del decreto se especifica que los productos fertilizantes que pueden usarse como abonos o enmiendas para la agricultura pueden pertenecer a los siguientes grupos:

- **Grupo 1:** Abonos inorgánicos nacionales.
- **Grupo 2:** Abonos orgánicos
- **Grupo 3:** Abonos órgano minerales
- **Grupo 4:** Otros abonos y productos especiales.
- **Grupo 5:** Enmiendas calizas.
- **Grupo 6:** Enmiendas orgánicas.

→ **Grupo 7:** Otras enmiendas.

En el Capítulo 4 sobre materias primas, el Artículo 17 habla sobre la utilización de residuos y dice que se considerarán residuos orgánicos biodegradables los residuos provenientes de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca; residuos de la preparación y elaboración de alimentos. Dentro de estos se encuentran las deyecciones de animales, estiércoles y efluentes recogidos selectivamente y tratados fuera del lugar donde se generan. En el Artículo 18, sobre las materias orgánicas biodegradables dice que para la elaboración de productos fertilizantes de los grupos 2, 3 y 6 solo se permite la utilización de materias primas de origen orgánico, animal o vegetal y deberán cumplir los siguientes requisitos [44]:

- El contenido de nitrógeno orgánico deberá ser al menos un 85%
- La humedad máxima permitida en porcentaje en masa será del 14%.
- Sobre la granulometría, el 90% del producto deberá pasar por una malla de 10 mm.
- El límite máximo de microorganismos para la materia transformada se debe asegurar de dos formas: primero debe ser sometida a un proceso de higienización para garantizar la carga establecida en el Reglamento CE Nº 1069/2009. Y segundo, en los productos fertilizantes de origen orgánico deben asegurarse los valores máximos de *Salmonella* y *Escherichia coli*.
- En cuanto a metales pesados, estos no podrán superar los valores representados en la **Tabla 9** siguiente, clasificándose en productos de clase A, B y C.

Tabla 9: Límites de concentración de metales pesados (Elaboración propia).

Metal pesado	Clase A (mg/kg)	Clase B (mg/kg)	Clase C (mg/kg)
<i>Cadmio</i>	0,7	2	3
<i>Cobre</i>	70	300	400
<i>Níquel</i>	25	90	100
<i>Plomo</i>	45	150	200
<i>Zinc</i>	200	500	1000
<i>Mercurio</i>	0,4	1,5	2,5
<i>Cromo total</i>	70	250	300
<i>Cromo VI</i>	No detectable	No detectable	No detectable

3.6.3. Mejores técnicas disponibles (MTD)

El objetivo principal de esta normativa es evitar, reducir y controlar la contaminación mediante el uso de un sistema de prevención y control integrado, considerando cada fase del sistema productivo y el medio ambiente, evitando la transferencia de la contaminación de un medio a otro y considerando las particularidades de cada caso en cuestión [45].

Para efectos del control integrado de la contaminación se constituye la autorización ambiental integrada (AAI) la cual incluye a todas las autorizaciones de carácter ambiental exigibles, y en la cual se fijan los valores límites de emisión de contaminantes para cada instalación, determinando las medidas técnicas para alcanzar estos valores límites [45].

Las MTD's se basan en las características técnicas de las instalaciones, la ubicación geográfica y las condiciones del medio ambiente [45].

Sobre el tratamiento de purines, el manual de mejores técnicas disponibles para el sector porcino indica que cualquier tratamiento se justifica principalmente cuando no exista superficie agraria suficiente para



ser aplicado directamente a los suelos. Al seleccionar la tecnología de tratamiento se debe tener en cuenta diferentes parámetros tales como su eficiencia, sus costes y sus impactos asociados [45].

Uno de los aspectos más importantes mencionados consiste en disponer de un plan de gestión agrícola que se base en el código de buenas prácticas agrarias y el resto de la normativa de tal forma que se ajusten parámetros propios como: la cantidad de estiércol y purín aportado con las necesidades del cultivo, las características del mismo purín y del terreno a aplicar a fin de evitar pérdidas de nutrientes. Estos parámetros podrán justificar el tratamiento del purín para su posterior conversión en compost, para ser aplicado en los momentos apropiados, buscando aprovechar al máximo los nutrientes disponibles [45].

3.6.4. Código de buenas prácticas agrarias (CBPA)

El CBPA consiste en las técnicas y pautas apropiadas aplicables para un mejor gestión del desarrollo de la agricultura y ganadería garantizando el respeto y la protección por el medio ambiente [46]. Este es obligatorio para las zonas vulnerables, mientras que para las no vulnerables su cumplimiento es optativo.

Se establece que las comunidades autónomas deben elaborar su respectivo CBPA para ayudar al ejercicio de la actividad en el sector agrario sirviendo como marco de referencia y pudiendo los involucrados tomar las orientaciones de forma voluntaria y no obligatoria. Para Castilla y León se hace complejo establecer normativas con carácter general debido a la multiplicidad de características climáticas, edafológicas, hidrológicas y prácticas de la zona limitándose a establecer indicaciones panorámicas y no específicas [46].

Dado lo complejo del problema de contaminación de las aguas por nitratos por su amplia procedencia de fuentes difusas y el papel fundamental que juega el suelo en los aportes nitrogenados minerales y orgánicos, se requiere de un correcto uso de los recursos disponibles, buscando la valorización adecuada de subproductos tales como los purines, los cuales bajo una incorrecta aplicación da lugar a problemas de contaminación y desequilibrio, afectando no solo suelos y los cultivos implicados, sino también aguas y redes tróficas [47].

Se establece que es necesario contar con planes de abonado para cada caso particular y los registros adecuados que posteriormente son útiles y comparables para los productores como la naturaleza del cultivo, daños climatológicos, rendimientos, mantenimiento de la fertilidad en los suelos [47].

Se designan también en él las zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes de origen agrícola y ganadero. Se declaran 24 zonas vulnerables integradas por 379 municipios aumentando la superficie de la Comunidad declarada como zona vulnerable a 14.414 km², suponiendo una protección sobre el 15 % de la superficie que representa el 20% de la superficie agraria útil de Castilla y León. Quedando clasificadas como vulnerables los siguientes territorios o al menos parte de ellos, Ávila, Burgos, Aranda de Duero, Aluvial Miranda de Ebro, Aluvial del Oca, Aluvial del Tirón, Castrojériz-Villadiego, Ibeas de Juarros y Páramo de Esgueva; León, Palencia, Campos-Astudillo, Páramo de Esgueva y Páramo de Torozos; en la provincia de Salamanca, Armuña-Peñaranda, Armuña-Salamanca y Campo Charro; en Segovia, Churrería, Arenales y Cantimpalos-Segovia; en Soria Ágrada-Ólvega, Almazán y Fuentes Cantos; en Valladolid, Churrería, Medina, Páramo de Esgueva, Páramo de Torozos y Tordesillas; y finalmente en Zamora, Villafáfila [48].

4. DISEÑO DE UNA PLANTA DE VERMICOMPOSTAJE DE PURÍN DE CERDO

4.1. Descripción

Desde la plataforma del Registro estatal de emisiones y fuentes contaminantes se obtienen los datos de producción de purines y nitrógeno de seis granjas reales existentes en la comunidad autónoma de

Castilla y León. Para la obtención de un dato promedio se seleccionan granjas de diferentes provincias, en concreto de las provincias de Ávila, Burgos, Segovia, Soria, Valladolid y Palencia.

Estas granjas tienen características en común como que la gestión de purines se realiza mediante la aplicación directa de estos a los suelos. Poseen entre una y dos balsas de almacenamiento que tienen una capacidad para almacenar purines de dos a tres meses teniendo en cuenta los tiempos en los que no es posible aplicar el purín a los cultivos.

En la **Tabla 10** se entregan los valores promedio obtenidos de estas seis granjas sobre producción de Purines y de Nitrógeno a fin de establecer una capacidad de tratamiento de la planta a partir de datos reales de la comunidad.

Tabla 10: Producción de residuos para caso de estudio definido (Elaboración propia).

Superficie (ha)	Purín (m ³ /año)	Nitrógeno (t/año)
53,58	12.109,00	16,78

4.1.1. Alcance del diseño

El alcance de este TFM para esta etapa de diseño abarca desde la etapa de acondicionamiento hasta la de almacenamiento del producto final. Es decir, la balsa de almacenamiento no está incluida en el dimensionamiento porque se asume que ya existe en la granja ya que es obligatoria.

Para este TFM se diseña primero la etapa de acondicionamiento, que incluye la separación sólido-líquido. Luego de esta operación solo se tratará el sólido y se realizará el compostaje. No se profundizará en el tratamiento del líquido.

Y además se diseñarán las etapas de vermicompostaje, que incluye el mismo vermicompostaje y su maduración, la etapa de almacenaje y el área de cría.

4.2. Descripción del proceso

En base al estado del arte y al caso a estudio definido en el apartado anterior, se propone el siguiente proceso productivo de humus de lombriz. Es importante dejar en claro que el proceso se organiza de forma tal que tenga continuidad a lo largo del año, para lo cual se establecen tandas semanales de producción.

- 1. Etapa de acondicionamiento:** esta etapa del proceso consiste en dos operaciones imprescindibles para acondicionar el purín antes de iniciar el vermicompostaje. Primero se realiza la separación del sólido del purín mediante un tornillo prensa el cual genera una fracción líquida y una sólida, la líquida será tratada por un gestor de residuos y posteriormente la sólida pasará a compostaje.
 - **Separación S/L:** se realiza mediante el uso de un tornillo prensa en el que circula el purín por un tamiz cilíndrico que contiene un tornillo sin fin al final de su eje. El tornillo presiona la fracción sólida contra la placa generando una torta de sólidos [49]. Una parte del purín almacenado (232,23 m³) es bombeado desde la balsa de almacenamiento de la granja hasta el área de acondicionamiento con una frecuencia de una vez por semana dando inicio a la primera tanda de producción de humus. Este proceso de separación dura horas (dependerá de las características de la bomba y del tornillo prensa). Una vez separado los sólidos, se forman las pilas de compostaje.
 - **Compostaje:** se realiza la disposición de la fracción sólida generada (60,38 t) en la separación S/L en pilas móviles con volteo, que suponen una alternativa económica y eficiente [49]. Para esta fase solo se realizan las fases mesófila y termófila de una mezcla de la fase sólida del purín

con material estructurante para conseguir condiciones físicas y químicas del material que sean óptimas para la alimentación de las lombrices. Su duración aproximada es de un mes.

Se establece para este caso volteos una vez a la semana, riego por aspersión de 10 L/m² cada 3 días, aumentando su frecuencia durante la última semana para mejorar las condiciones para la llegada de las lombrices [40]. La evaluación de los parámetros principales de temperatura, humedad y aireación debe realizarse de forma diaria para ir ajustando el riego y volteo.

- 2. Etapa de vermicompostaje:** una vez que se ha compostado se procede a retirar el material y disponer en el área de vermicompostaje donde se hace la introducción de las lombrices e inicia su alimentación. Su duración aproximada es de 4 meses y finaliza con la retirada de las lombrices. Es importante considerar los parámetros establecidos en la **Tabla 8**.

Se realiza la medición de sus parámetros de forma diaria, volteos tres veces por semana de forma manual y cada tres días riego por aspersión de 10 L/m² disminuyendo su frecuencia en las últimas dos semanas para disminuir la humedad del producto final [40].

Esta etapa finaliza con la retirada de las lombrices para lo cual se dispone por el rededor de los canteros una capa fina de fracción sólida fresca para que las lombrices migren a ella en busca de más alimento y así puedan ser retiradas íntegramente antes del cribado [41].

- 3. Etapa de Cribado:** se realiza el cribado para separar las lombrices restantes y algunos otros materiales sólidos que afectan la estructura y homogeneidad deseada. Las lombrices extraídas en el proceso de cribado pueden ser utilizadas como alimento para peces y aves ya que estas contienen un alto contenido de proteínas. Según la cantidad podrá considerarse como subproducto y ser vendido o simplemente utilizar todo el producto de rechazo como material estructurante en la etapa de compostaje. Es una opción interesante para evaluar en cada caso particular.
- 4. Etapa de maduración:** el humus es retirado y dispuesto en la sombra para oírse y terminar su proceso de vermicompostaje, se debe dejar madurar hasta que su humedad se reduzca hasta el 50% - 40%. Aproximadamente esta etapa dura dos semanas [41].
- 5. Etapa de almacenamiento final:** en esta etapa del proceso el humus se encuentra listo para ser almacenado o utilizado inmediatamente.

4.2.1. Diagrama de bloques

En la **Figura 13** se muestra el diagrama de bloques del proceso completo hasta la obtención del producto de humus de lombriz o vermicompost donde se especifica que se inicia el proceso en la extracción del purín desde la balsa de almacenamiento para bombearlo hasta el área de acondicionamiento donde se realiza la separación sólido-líquido y el compostaje previo. Posteriormente se traslada el material al área de vermicompostaje, donde se vermicomposta la fracción sólida del purín y luego se deja en maduración, para finalmente en el área de almacenamiento realizar el cribado y el almacenamiento final.

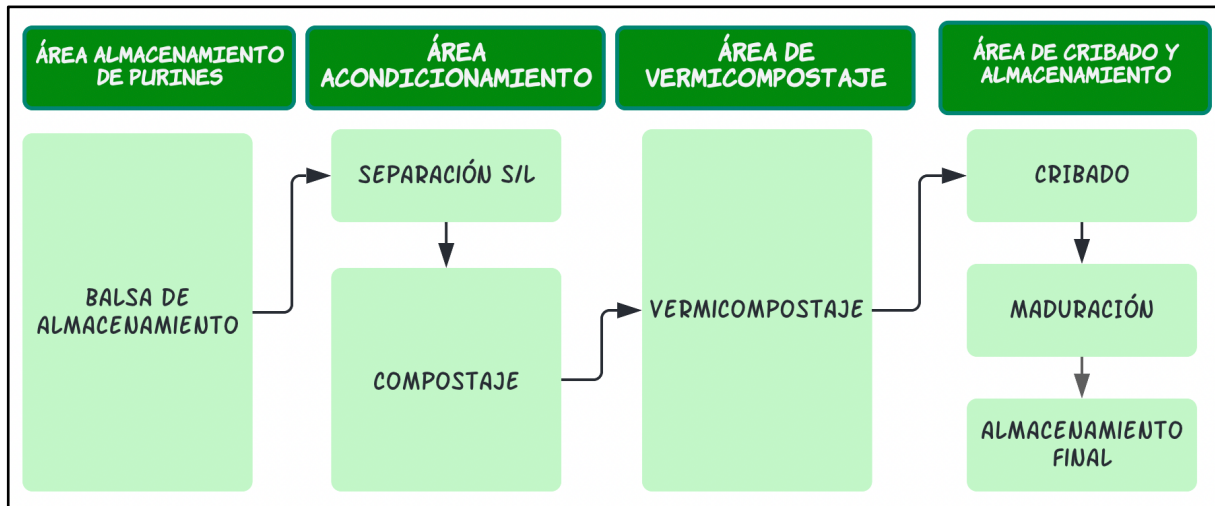


Figura 13: Diagrama de bloques del proceso (Elaboración propia).

En la **Figura 14** se muestra un diagrama de Gantt de las operaciones en el tiempo productivo para el purín de una semana, completando 6 meses en total. El proceso más largo es el de vermicompostaje que tiene una duración de cuatro meses.

Es importante recordar que la organización del proceso se realiza de forma que la producción sea continua, por lo cual cada una semana se obtendrá una cantidad determinada de humus de lombriz para almacenar.

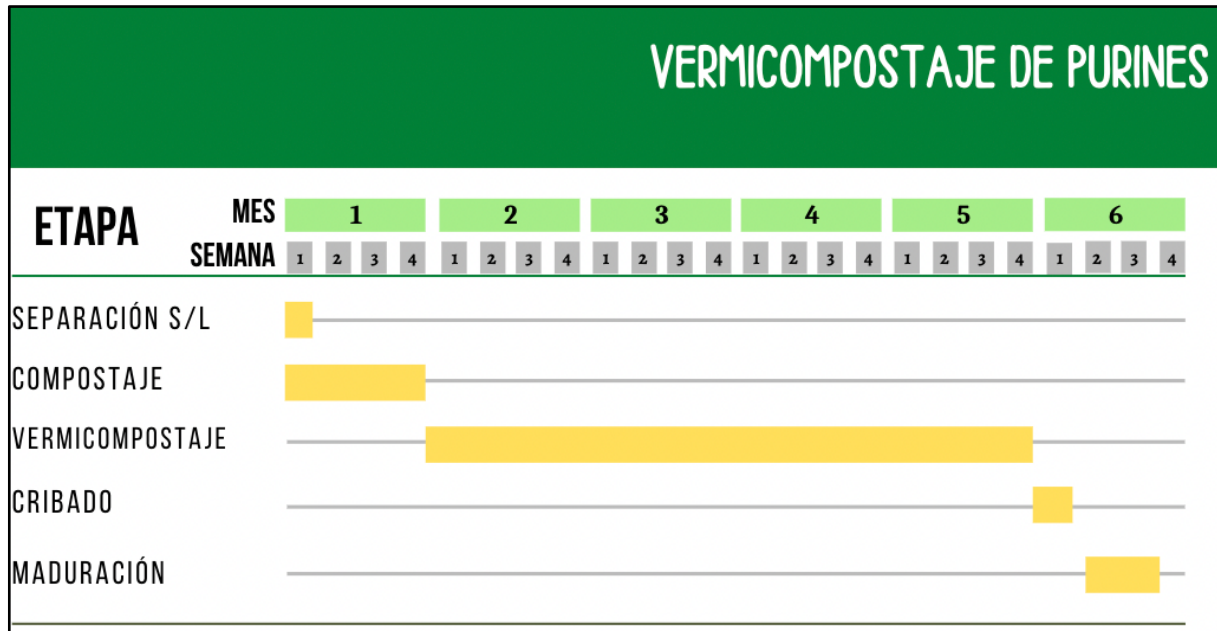


Figura 14: Diagrama de Gantt del proceso productivo (Elaboración propia).

4.3. Diseño de la planta

El diseño básico de la planta de vermicompostaje consta de 4 Naves destinadas a distintos procesos. Primero una nave de transformación 1 donde se realiza el acondicionamiento del purín, luego dos naves de transformación (2 y 3) donde se realiza el vermicompostaje. Y finalmente una nave de almacenamiento donde se realiza el cribado, la maduración y el almacenamiento del producto final. En la **Figura 15** se muestra el diseño básico de la planta que contiene las cuatro naves descritas más la disposición del tornillo prensa.

El diseño se realizó a escala en el software QGIS con el dimensionado realizado en el apartado siguiente.

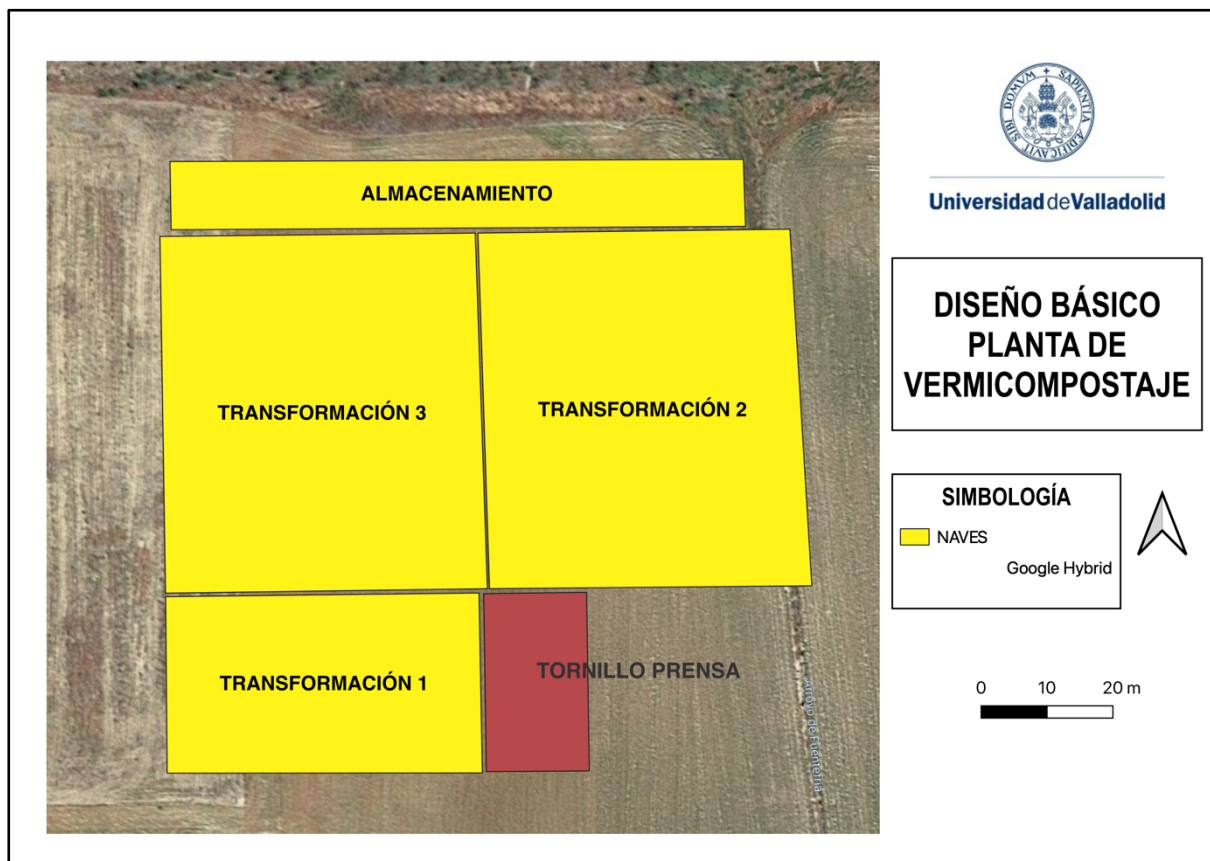


Figura 15: Diseño básico de la planta de vermicompostaje (Elaboración propia).

La Figura 16 indica la disposición de los canteros y las pilas de compostaje en la planta (Naves de transformación 1, 2 y 3) y de la zona de maduración, cribado, almacén y área de cría.

El diseño se realizó a escala en el software QGIS con el dimensionado realizado en el apartado siguiente.

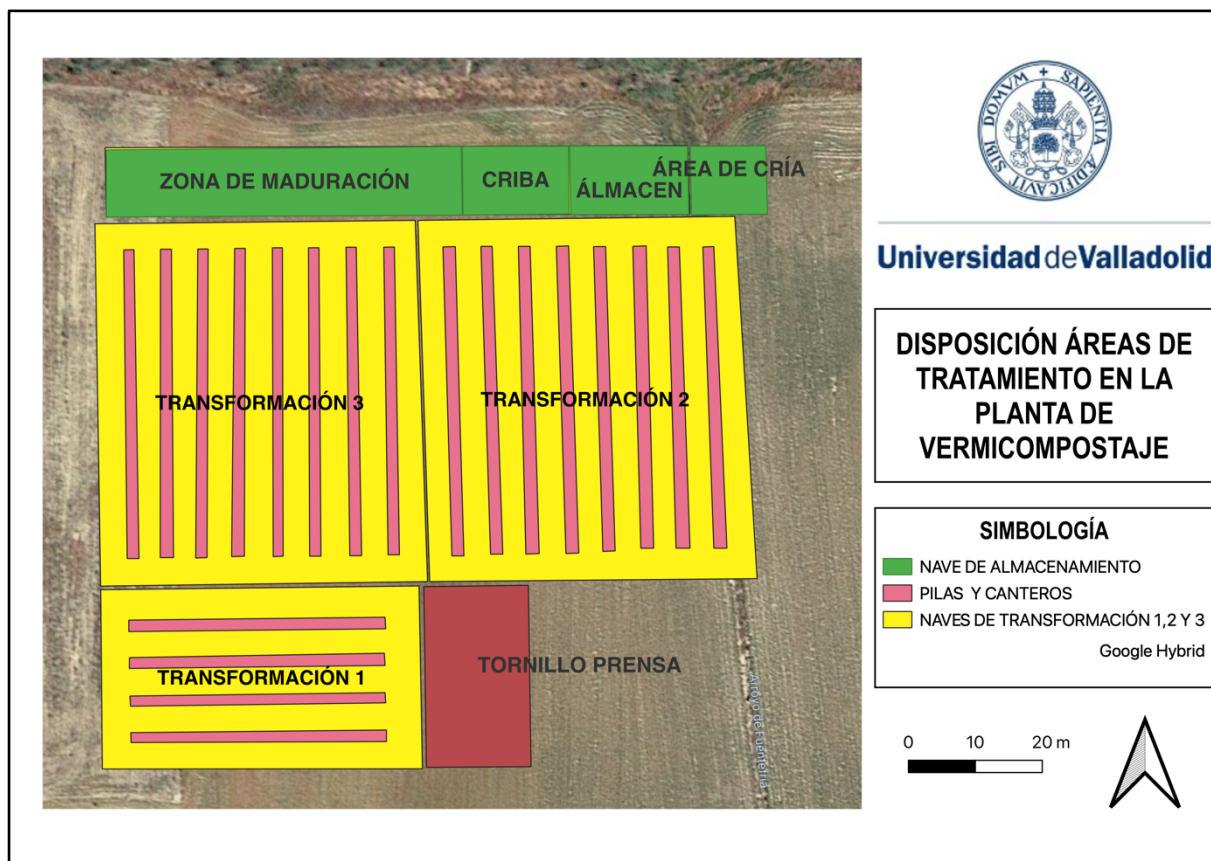


Figura 16: Disposición áreas de tratamiento planta de vermicompostaje (Elaboración propia).

4.3.1. Dimensionamiento y selección de equipos

ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE PURINES

- **Balsa de almacenamiento:** para efectos de este TFM se asume que la balsa de almacenamiento ya existe en la granja, ya que es obligatoria. La capacidad de la balsa debe ser la necesaria para almacenar 3 meses de purines, debe estar cercada y tener una superficie impermeable con un sistema de recogida de lixiviados a fin de evitar los riesgos de contaminación hacia las aguas superficiales o subterráneas [45].

En la **Tabla 11** se indica el dimensionamiento básico de la balsa y la **Figura 17** muestra una imagen de referencia de una balsa de Purines construida por la empresa IMCUR.

Tabla 11: Dimensionamiento de la balsa de purines (Elaboración propia).

DIMENSIONADO	
Volumen (m ³)	3.125



Figura 17: Imagen de referencia de una balsa de purines [50].

ÁREA DE ACONDICIONAMIENTO

- **Separación sólido-líquido:** La separación de ambas fases se realiza con un tornillo prensa. Las siguientes eficiencias de separación fueron tomadas de la Guía de Tratamientos de las deyecciones ganaderas del Departamento de Medio Ambiente de Cataluña [16].

La **Tabla 12** muestra las eficiencias de separación del tornillo prensa y el caudal másico anual separado para cada fracción. La **Tabla 13** muestra los valores en el tiempo del tratamiento, de estos valores se selecciona el caudal semanal. Con el caudal semanal (232,23 m³) se dimensiona el resto de los procesos.

Tabla 12: Eficiencias de separación del proceso (Elaboración propia).

FRACCIONES	Eficiencia	Caudal másico (t/año)
Sólido	0,25	3.148,34
Líquido	0,75	9.445,02

Tabla 13: Flujos másicos y volumétricos de purín de las fracciones sólidas y líquidas (Elaboración propia).

Tiempo	Purín (t)	Purín (m ³)	Sólido (t)	Líquido (t)
Diario	34,50	33,18	8,63	25,88
Semanal	241,52	232,23	60,38	181,14
Mensual	1.049,45	1.009,08	262,36	787,09
Anual	12.593,36	12.109,00	3.148,34	9.445,02

En la **Figura 18** se muestra una imagen de referencia de un tornillo prensa instalado en una granja y la apariencia de la fracción sólida que se obtiene.



Figura 18: Imagen de referencia del tornillo prensa y la fracción sólida [51].

Para el proceso de separación S/L se debe seleccionar un equipo que logre las eficiencias consideradas en la Tabla 14. En el Catálogo de la empresa Storth que comercializa este tipo de separadores se indican tres modelos de tornillo prensa, SP400, SP600 y SP800 [52]. Estos poseen distinta capacidad de tratamiento (m^3/h) y eficiencias de separación. Los tres modelos cumplen con la eficiencia de separación considerada en este TFM, por lo cual la decisión se deberá tomar según el tiempo que se quiera demorar en el proceso de separación. Para el posterior cálculo económico se considera el modelo que demora menos tiempo, SP800.

Para el primer modelo la capacidad de tratamiento es de 10-15 m^3/h por lo cual dado el caudal que se trabaja semanalmente (232,23 m^3) demoraría casi 16 horas en terminar el proceso. Para el segundo modelo la capacidad de tratamiento aumenta a 30-50 m^3/h resultando en casi 5 horas de trabajo y para el tercer modelo se establece una capacidad de tratamiento de 50-70 m^3/h significando un trabajo de separación de fases de 3,5 horas [52].

- Compostaje: El bombeo del purín a la zona de acondicionamiento se realiza semanalmente por lo que la cantidad que entra a compostaje es de 60,38 t, que corresponden a 65,63 m^3 de fracción sólida con una densidad de 0,92 t/m^3 estableciendo una pila para esa cantidad de purín a tratar.

La **Tabla 14** muestra el dimensionado de la pila de compostaje para el tratamiento semanal. Los valores típicos de largo y ancho se seleccionan del Manual de compostaje del agricultor y se le ha aplicado el factor de llenado de 2/3 correspondiente para calcular su volumen [24].

Tabla 14: Dimensionado de pilas de compostaje (Elaboración propia).

DIMENSIONADO PILAS

Número de pilas	1
Largo (m)	45
Ancho (m)	1,5
Alto (m)	1,5
Área pila (m^2)	67,5
Volumen pila (m^3)	67,5

Las pilas de compostaje se establecen en la denominada Nave de transformación 1. Esta corresponde a una construcción en acero a dos aguas constituida por pórticos rígidos con suelo de hormigón armado [49]. Su superficie se estima en 1378 m² y sus dimensiones se entregan en la **Tabla 15**.

Para su dimensionado se establece que la separación entre pilas es de 4 m y para que la producción de humus sea continua se diseña una nave en la que entren 4 pilas ya que la duración del proceso es de cuatro semanas, así siempre hay un espacio para formar la siguiente pila.

Tabla 15: Dimensionado Nave de transformación 1 (Elaboración propia).

**DIMENSIONADO DE NAVE
TRANSFORMACIÓN 1**

<i>Largo (m)</i>	53
<i>Ancho (m)</i>	26
<i>Alto (m)</i>	5
<i>Área (m²)</i>	1378

En la **Figura 19** se muestra una imagen de referencia de la formación de pilas de compostaje en una nave de transformación similar a la considerada para este TFM.



Figura 19: Imagen de referencia de una pila de compostaje [53].

ÁREA DE VERMICOMPOSTAJE

- **Vermicompostaje:** las lombrices tienen la capacidad de excretar la cantidad correspondiente al 60% de la masa de su alimento [49], por lo cual la cantidad de vermicompost obtenido cuando se tratan 65,63 m³ de fracción sólida es de 39,38 m³ o 19,69 t con una densidad de 0,5 t/m³.

Luego del compostaje el volumen a tratar probablemente sea menor al inicial, pero se considera el mismo volumen.

En la **Tabla 16** se muestra el dimensionado de los canteros. Se establece un cantero semanalmente, el alto y ancho se seleccionan de la Guía de lombricultura [40].

Tabla 16: Dimensionado de canteros (Elaboración propia).

DIMENSIONADO DE CANTEROS

<i>Largo (m)</i>	44
<i>Ancho (m)</i>	1,5
<i>Alto (m)</i>	0,6
<i>Área (m²)</i>	66
<i>Volumen (m³)</i>	39,6
<i>Numero de canteros</i>	1

Los canteros se establecen en la denominada Nave de transformación 2 y 3. Estas corresponden a una construcción en acero a dos aguas constituida por pórticos rígidos con suelo de hormigón armado [49]. Su superficie se estima en 2500 m² y sus dimensiones, iguales para ambas naves, se entregan en la **Tabla 17**.

Para su dimensionado se establece que la separación entre pilas es de 4 metros. Para que la producción de humus sea continua se diseña una nave en la que entren 8 canteros ya que la duración del proceso es de 16 semanas (8 canteros por cada Nave), así siempre hay un cantero disponible para llenar.

Tabla 17: Dimensionado Nave de transformación 2 y 3 (Elaboración propia).

DIMENSIONADO DE NAVE TRANSFORMACIÓN 2 y 3

<i>Largo (m)</i>	52
<i>Ancho (m)</i>	48
<i>Alto (m)</i>	5
<i>Área (m²)</i>	2496

En la **Figura 20** se muestra una imagen de referencia de los canteros de vermicompostaje. Su material constructivo puede variar desde madera hasta hormigón, dependerá del presupuesto disponible para cada caso particular y la durabilidad deseada.



Figura 20: Imagen de referencia los canteros de vermicompostaje [54].

ÁREA DE CRIBADO Y ALMACENAMIENTO

- **Cribado:** con el fin de descompactar y eliminar el resto de las lombrices y algunos residuos sólidos del humus resultante, se prosigue a cribar el producto obtenido antes de su empaqueo y almacenado. El fin del cribado es obtener una estructura más esponjosa, homogénea y una granulometría apropiada [49].

Se selecciona para este proceso una criba de trómel. Este consiste en un tambor rotatorio inclinado con perforaciones (fijas o variables) en donde se introduce el material a cribar. El tambor va desplazando los materiales más finos por los agujeros y desplazando los más gruesos hacia su final [49].

La elección de esta criba se fundamenta en que su movimiento centrífugo tiene un mayor rendimiento de cribado y una gran capacidad de introducción del material [49].

En la **Figura 21** se muestra una imagen de referencia de una criba de trómel para afinado de compost disponible en el mercado.

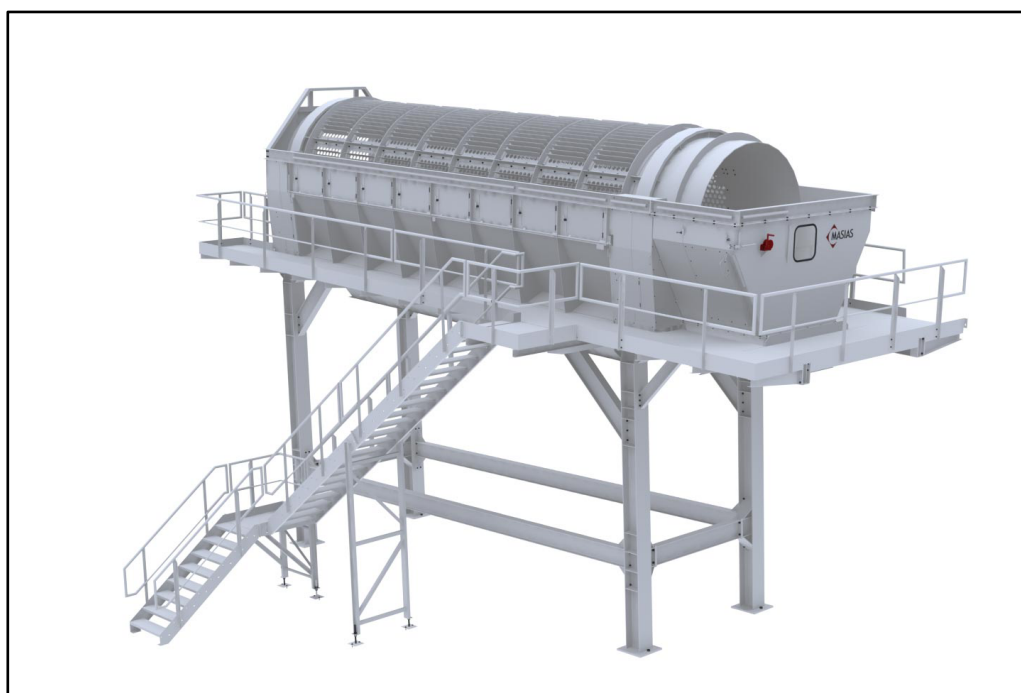


Figura 21: Imagen de referencia de la Criba de trómel [55].

Debido a que en la legislación para la comercialización de abonos orgánicos se pide que al menos el 90% del material pase por una malla de 10 mm [44] y según el catálogo disponible en la página web de la empresa Bianna recycling [55], se podría recomendar el uso de un trómel TR2,1/5/7 que posee un rendimiento de 55 m³/h para cribar los 39,38 m³ de humus de lombriz obtenido en el vermicompostaje, demorando el proceso de cribado menos de una hora a la semana.

Este trómel tiene unas dimensiones aproximadas de 7x2 m, por lo cual se considera un área dentro de la nave de almacenamiento para el trómel de 14 m² más 4 metros hacia cada lado para el tránsito de la maquinaria. En total se considera un área de 10 m por 15 m para la ubicación del trómel, es decir 150m².

- **Maduración:** se realiza en una superficie plana donde se dispone el vermicompost para su aireación durante dos semanas. Se forman pilas con dimensiones similares a las del proceso de vermicompostaje pero sin la acción de lombrices las cuales se voltean una vez a la semana.

En la **Tabla 18** se indican las dimensiones de la pila que se debe formar para comenzar la etapa de maduración.

Tabla 18: Dimensionado de pila de maduración (Elaboración propia).**DIMENSIONADO DE PILA DE
MADURACIÓN**

<i>Largo (m)</i>	65
<i>Ancho (m)</i>	1,5
<i>Alto (m)</i>	0,6
<i>Área (m²)</i>	97,5
<i>Volumen (m³)</i>	39,6
<i>Numero de pilas</i>	1

Para este proceso se diseña una zona de maduración con dimensiones apropiadas para la cantidad de vermicompost producido en dos semanas de forma que siempre exista un espacio disponible para seguir madurando producto. La **Tabla 19** indica el dimensionado de zona que considera una distancia de 4 m entre pila formada y un espacio mínimo para 2 pilas de maduración.

Esta zona de maduración se encuentra en la Nave de Almacenamiento que posee las mismas características constructivas que las Naves de transformación anteriores.

Tabla 19: Dimensionado zona de maduración (Elaboración propia).**DIMENSIONADO DE ZONA DE
MADURACIÓN**

<i>Largo (m)</i>	73
<i>Ancho (m)</i>	10
<i>Alto (m)</i>	5
<i>Área (m²)</i>	730

- **Almacén:** Dentro de la misma nave se dispone de una zona para almacenamiento del producto en caso de haber sobrantes. Se considera apropiado negociar los productos con anticipación para almacenar lo menos posible y así disponer de una zona no tan extensa para su almacén.

El dimensionado de esta zona se considera que puede ser variable, según la capacidad de comercialización de la empresa o de la utilización del producto en la misma granja. Pero de forma simple se realiza un dimensionado (**Tabla 20**) de un almacén en el que se pueda alojar el producto generado en dos meses, es decir la cantidad de 315,02 m³ o 157,51 t de humus de lombriz.

Tabla 20: Dimensionado de Almacén (Elaboración propia).**DIMENSIONADO
ALMACEN**

<i>Largo (m)</i>	20
<i>Ancho (m)</i>	10
<i>Alto (m)</i>	5
<i>Área (m²)</i>	200

En la **Tabla 21** se muestra el dimensionado total para la nave de almacenamiento donde se encuentra la zona de cribad, de maduración y el almacén.

Tabla 21: Total Nave de Almacenamiento (Elaboración propia).**DIMENSIONADO NAVE
ALMACENAMIENTO**

Largo (m)	108
Ancho (m)	10
Alto (m)	5
Área (m ²)	1080

ÁREA DE CRÍA

El área de cría consiste en una nave de dimensiones menores a las naves anteriores donde se produce la reproducción de las lombrices para aumentar su cantidad y poder cumplir con los requisitos del proceso productivo.

Se estima que en algún momento del proceso productivo se tendrá que evaluar la posibilidad de cribar una mayor parte de las lombrices y convertirlas en alimento para ganado debido a la gran capacidad reproductiva que estas tienen. Es un proceso que se debe evaluar en la práctica, luego de ver como estas se comportan en la realidad.

Para efectos de este TFM no se entrará en mucho detalle sobre el proceso de cría. Básicamente la cría se realiza en cajones más pequeños donde se disponen los núcleos de lombrices y se van alimentando semana a semana, una vez que convierten todo su alimento en compost entonces se retira una parte de ellas y se inocula un nuevo cajón, así el proceso se repite sucesivamente duplicando su cantidad en un periodo de tiempo de 90 días aproximadamente [40].

Por lo tanto se necesita de un área amplia donde entre un stand que contenga los cajones a inocular. Estos cajones deben ser fáciles de transportar por lo cual sus dimensiones no deben ser exageradas y deben estar protegidos de sus depredadores, por lo cual es apropiado que la Nave sea cerrada.

Para simplificar el dimensionado se utiliza el supuesto de que para iniciar la inoculación se requiere de 10 kg/m² de lombrices [40]. Según la cantidad de residuos que se desean vermicompostar semanalmente (65,63 m³) se requiere de una cantidad de 660 kg de lombrices para un cantero de 66 m² de superficie. Por lo tanto se requerirá esa misma superficie disponible para la reproducción ya que en esa área se obtiene la cantidad de lombrices apropiada para iniciar el proceso de vermicompostaje de un cantero.

Por lo tanto en la **Tabla 22** se muestra el dimensionado aproximado del área de cría. En él se considera que se necesita de un área de 66 m² para la disposición de los cajones de reproducción, más un espacio para la movilidad de los trabajadores, ubicación de herramientas y movimiento de cargadores, de 34 m².

Tabla 22: Dimensionado Nave de Cría.**DIMENSIONADO NAVE
DE CRÍA**

Largo (m)	10
Ancho (m)	10
Alto (m)	0,3
Área (m ²)	100

OTROS EQUIPOS

Se asume que ciertos equipos agrícolas como cargadores, retroexcavadores o parecidos ya existen en las instalaciones de la granja, por lo que solo se describen los siguientes equipos:

- **Volteadora:** revisando el catálogo de la empresa CAMPS, se selecciona una volteadora VC 2000 mecánica para tractores, de 1800m/m de anchura. Esta tiene una capacidad de volteo de hasta 500 m³/h, por lo cual se demoraría en voltear una pila de 63,63 m³ casi 8 minutos. En la **Figura 22** se muestra una imagen e referencia de la volteadora seleccionada [56].



Figura 22: Imagen de referencia de volteadora [56].

- **Bombas:** dado que este TFM se desarrolla bajo un caso teórico, en el cual no se conoce con exactitud las características ni la disponibilidad hídrica de la granja, se entrega una descripción simple del mínimo de bombas que debieran considerarse en cada operación.

Bombas mínimas para considerar:

- Bomba purín: bomba que impulse purín desde la balsa de almacenamiento a la zona de acondicionamiento.
- Bomba riego: bomba que impulse agua desde el pozo a la zona de trabajo para realizar los riegos.
- Bomba de lixiviados: bomba que impulse los lixiviados a la balsa de almacenamiento de lixiviados.

4.4. Productos obtenidos

- **Humus de lombriz:** corresponde a la enmienda orgánica obtenida después del proceso de vermicompostaje realizado por la lombriz roja californiana del purín y restos vegetales estructurantes. Posee diversas propiedades y beneficios como una gran riqueza bacteriana que contribuye con el incremento de la solubilización de los nutrientes del suelo que brindan mayor facilidad de asimilación por las plantas. También aporta todos los nutrientes esenciales para el desarrollo y crecimiento de las plantas, mejora la estructura del suelo, equilibra el pH y la relación C/N, estimula las raíces, la floración, entre otros.

La producción anual de humus de lombriz de la planta de vermicompostaje se estima en 1.023,82 t/año.

Puede ser aplicado como mejorador de suelos, como sustrato para el crecimiento de plántulas, como abono orgánico, etc. Y una de sus características más relevantes es que no posee características de toxicidad, compatibilizando su uso en cualquier época del año o dosis y mezcla.

En la **Tabla 23** se entregan sus propiedades básicas. Estas corresponden a un humus de lombriz disponible en el mercado proveniente de estiércoles seleccionados y restos vegetales.

Tabla 23: Propiedades de un humus de lombriz disponible en el mercado [57].

PROPIEDADES	
<i>Materia Orgánica</i>	40-60%
<i>Humedad</i>	25-35%
<i>Nitrógeno total</i>	>1,5%
<i>P205 total</i>	>1%
<i>K20 total</i>	>1,5%
<i>Ácidos húmicos totales</i>	11,5%
<i>pH</i>	6,5-7,5
<i>Relación C/N</i>	<20

5. EVALUACIÓN AMBIENTAL

5.1. Metodología

La metodología utilizada para la evaluación ambiental de este TFM consiste en la elaboración de un inventario ambiental en el cual se detallan las características principales de la zona en cuanto a climatología, hidrología, medio terrestre, vegetación y fauna y su medio socioeconómico, definiendo posteriormente cómo estas características interactúan con el mismo proyecto y evaluando su impacto ambiental mediante una matriz de interacciones y la valoración de importancia de los impactos.

Para realizar la evaluación ambiental se escoge la provincia con mayor producción de purines de Castilla y León, correspondiente a la provincia de Segovia.

5.2. Normativa ambiental aplicable

Normativa básica

Ley 21/2013 sobre evaluación ambiental de 9 de diciembre que establece las bases que para la evaluación ambiental de los planes, programas y proyectos garantizando la protección ambiental y el desarrollo sostenible. Según el artículo 7, se establece que este tipo de proyecto deberá someterse a una evaluación de impacto ambiental simplificada, por lo cual su procedimiento se basará en lo establecido en los artículos del 45 al 48 de la misma ley [58].

Básicamente el procedimiento dura un poco más de tres meses. Inicia con la solicitud de la EIA Simplificada al órgano sustantivo quien remite al órgano ambiental junto a la documentación necesaria y se inicia la consulta a las administraciones públicas afectadas y personas interesadas. Estos últimos remiten al órgano ambiental sus pronunciamientos en un plazo de 20 días. Posteriormente inicia la formulación del informe de impacto ambiental en un plazo de 3 meses. Si la respuesta es favorable para el proyecto, se finaliza la evaluación ambiental y se publica en el BOCyL y se comunica al órgano sustantivo. Si la respuesta es desfavorable, entonces el proyecto debe someterse a EIA ordinaria (1 año y medio más). [58]

En cuanto a la Comunidad autónoma, se considera el Decreto legislativo 1/2015, de 12 de noviembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Prevención Ambiental de Castilla y León.

También es importante considerar la normativa sectorial correspondiente a:

- Real Decreto 324/2000: normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas.
- Real Decreto 1135/2002: normas mínimas para la protección de cerdos.



- Real Decreto 1429/2003 : regula las condiciones de aplicación de la normativa comunitaria en materia de subproductos de origen animal no destinados al consumo humano.

De forma específica por área ambiental a afectar se describen las siguientes normativas a considerar [45]:

AGUA:

- Real Decreto 261/1996: protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias.
- Real Decreto 606/2003: modifica el Real Decreto 849/1986 por el que se aprueba el Reglamento del Dominio público hidráulico.
- Real Decreto 140/2003 : establece los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- Ley de Aguas, Real Decreto legislativo 1/2001.
- Orden de 12 de noviembre de 1987: normas de emisión, objetivos de calidad y métodos de medición de referencia relativos a determinadas sustancias nocivas o peligrosas contenidas en el vertido de aguas residuales.
- Real Decreto 849/1986: aprueba el Reglamento de dominio público hidráulico.

SUELO:

- Ley 10/1998: de residuos.
- Ley 11/1997: de envases y residuos de envases.
- Real Decreto 833/1988: aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986 básica de residuos tóxicos y peligrosos.

AIRE:

- Resolución de 11 de septiembre de 2003: publicación del acuerdo del Consejo de Ministros, por el que se aprueba el Programa nacional de reducción progresiva de las emisiones nacionales de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles y amoníaco.
- Instrumento de ratificación del protocolo del convenio de 1999 sobre contaminación atmosférica transfronteriza a larga distancia (Gotemburgo): reducción de la acidificación, de la eutrofización y del ozono en la troposfera.
- Instrumento de ratificación del protocolo de Kioto al convenio marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático.
- Decreto 833/1975: Protección del Medio Ambiente Atmosférico.
- Real Decreto 1613/1985: establece nuevas normas de calidad del aire en lo referente a contaminación por dióxido de azufre y partículas.
- Real Decreto 717/1987: establece nuevas normas de calidad del aire en lo referente a contaminación por dióxido de nitrógeno y plomo.
- Ley 38/1972: Protección del Medio Ambiente Atmosférico.

5.3. Inventario ambiental

El inventario ambiental se construye en base a las características presentes en la provincia de Segovia en cuanto a climatología, hidrología, geografía y orografía, vegetación y fauna, áreas naturales y medio socioeconómico.

5.3.1. Geografía y Orografía

Segovia es una provincia perteneciente a la Comunidad autónoma de Castilla y León que se encuentra a unos 100 km de Madrid, la capital española. Está ubicada a los pies de la sierra de Guadarrama y a 1000 m sobre el nivel del mar. En la **Figura 23** se muestra la ubicación de Segovia desde Google Earth indicando la ubicación dentro de España y la cercanía a la capital y en la **Figura 24** se muestra la amplitud de la provincia [59].



Figura 23: Ubicación de la provincia de Segovia desde distintas escalas [60].

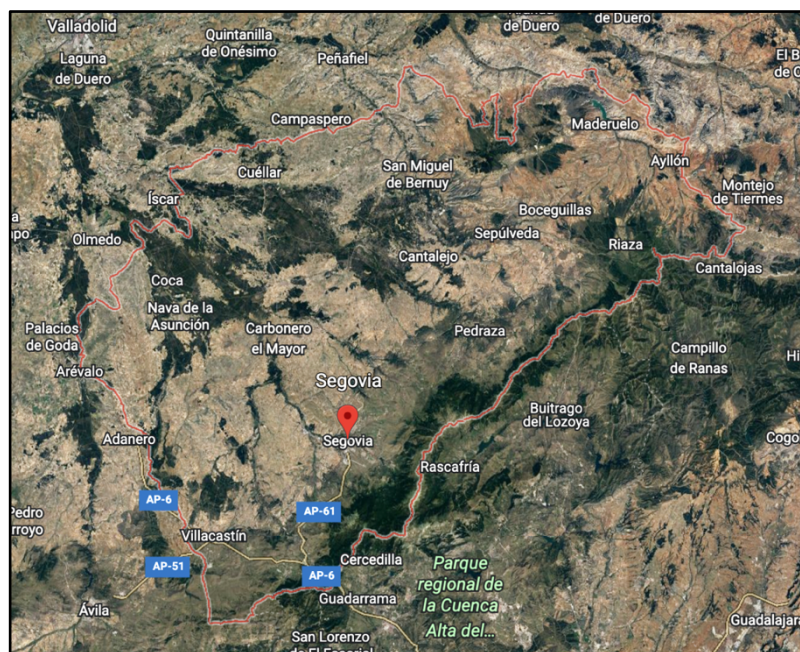


Figura 24: Amplitud de la provincia de Segovia desde Google Earth [60].

5.3.2. Hidrografía

Desde la sierra de Guadarrama nacen diversos cursos de agua todos pertenecientes a la cuenca hidrográfica de Duero. Alguno más importantes son el río Eresma que pasa por la ciudad de Segovia, el Duratón famoso por sus hoces y el Cega, Riaza y Voltova. En la **Figura 25** se muestra la provincia de Segovia con sus afluentes principales [61].



Figura 25: Provincia de Segovia y sus afluentes [61].

5.3.3. Climatología

El clima de Segovia, al igual que el resto de la comunidad de Castilla y León se aproxima al clima de tipo Oceánico continental. Posee las cuatro estaciones, teniendo periodos de primavera y otoño cortos, veranos calurosos e inviernos fríos [49].

En la **Figura 26** se indica la variación de la temperatura a lo largo del año para la provincia de Segovia, resultando los meses de Julio y Agosto los más calurosos y los de Enero y Diciembre los más fríos [50].

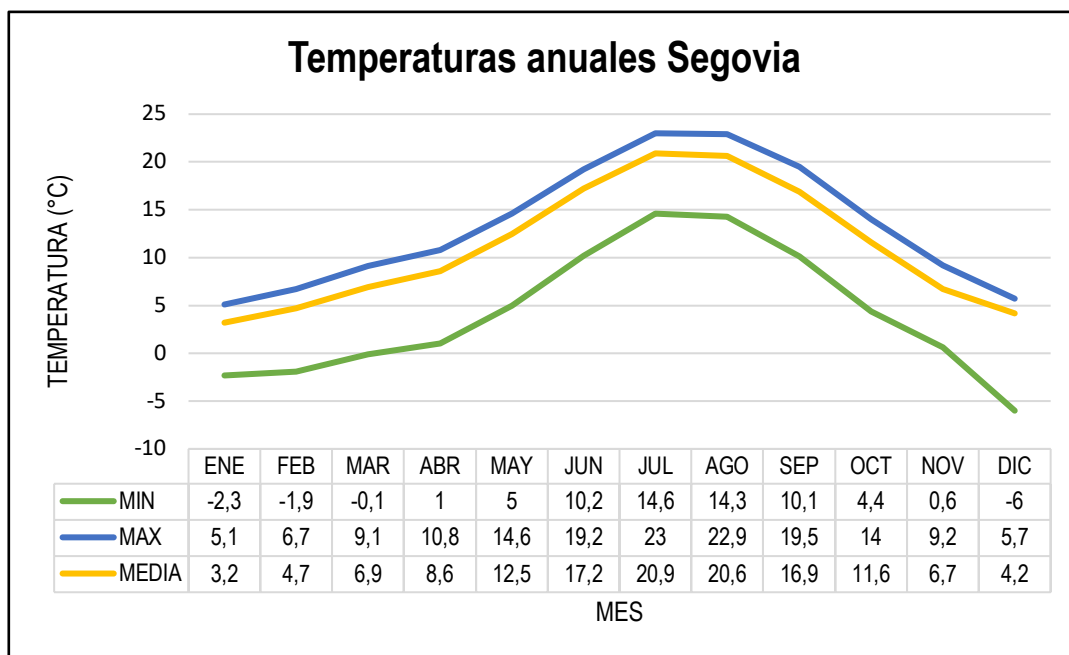


Figura 26: Variación de temperatura a lo largo del año en Castilla y León (Elaboración propia).

En cuanto a la precipitación, la **Figura 27** indica la variación a lo largo del año de las precipitaciones acumuladas mensuales para la provincia de Segovia. Se aprecia que los meses de menor precipitación corresponde a Julio y Agosto, y los con mayor precipitación a Abril, Mayo, Noviembre y Diciembre [50].

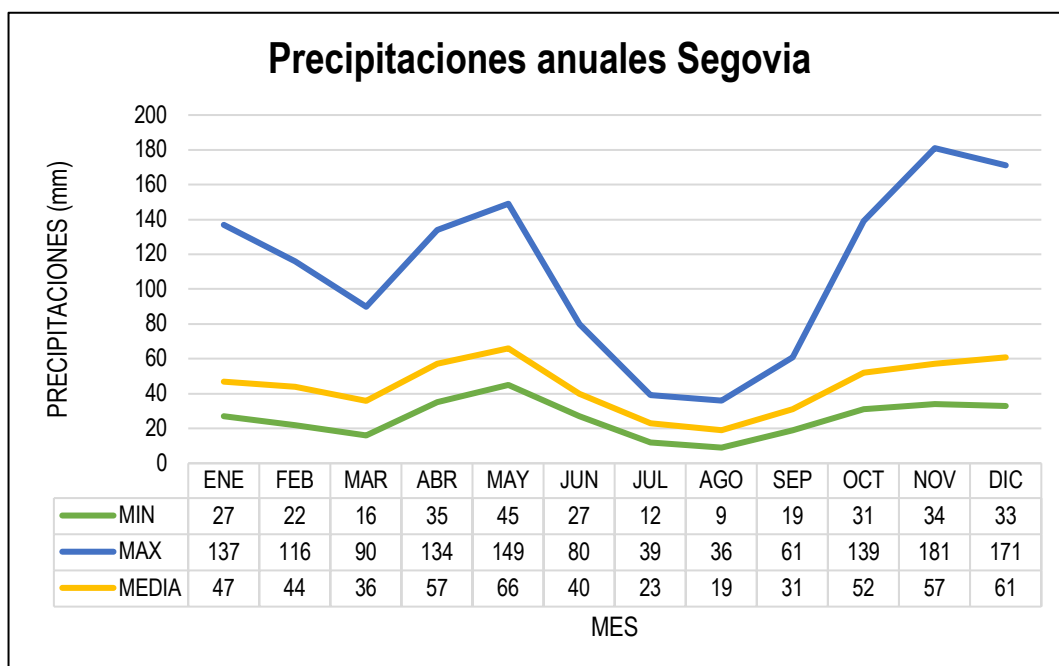


Figura 27: Variación de la precipitación a lo largo del año en Castilla y León (Elaboración propia).

5.3.4. Áreas Naturales, vegetación y fauna

La provincia de Segovia posee cuatro importantes áreas naturales. El Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama, Parque Natural de la Sierra Norte de Guadarrama, Hoces del Río Duratón y Hoces del Río Riaza [62].

El Parque nacional de la Sierra de Guadarrama y el Parque Natural de la Sierra Norte de Guadarrama se sitúa entre las sierras de Gredos y de Ayllón al este de Segovia y Ávila, tiene una superficie de 83.620 ha y un largo de unos 800 km, su pico más alto es de 2428 m (Peñalara) [62].

Se caracteriza por presentar un conjunto de hoces, cañones y acantilados por el río Riaza. En cuanto a su bosque, existe un abundante bosque de pino silvestre, robledales y encinares y en cuanto a su fauna, abundan los jabalíes, corzos, tejones, ciervos, etc [62].

El Parque Natural Hoces del río Duratón se localizan al norte de Segovia y tienen una superficie de 5.037 ha. Corresponde a una sucesión de hoces por el río Duratón de colores ocre que contrastan con el verde de la vegetación dominada por sabina albar, comunidades rupícolas y bosque de ribera por el borde del río. Su fauna es abundante en aves rapaces tales como buitres leonados y alimoches, halcones peregrinos, ratoneros y cernicalos [62].

Y el Parque Natural Hoces del río Riaza se localiza al noroeste de Segovia y posee una superficie de 5.185 ha. Corresponde a un conjunto de hoces, cañones y acantilados por el río Riaza. Su vegetación es abundante en sabina albar y su fauna cuenta con buitres leonados, alimoches, águilas reales y culebreras [62].

5.3.5. Datos económicos

Los datos provisionales de 2018 publicados por el Instituto Nacional de Estadística indican que Segovia aporta el 0,28% del PIB al total nacional y el 5,85% del conjunto de la economía de Castilla y León. Tal como indica la **Figura 28**, el sector económico de los Servicios aporta con el 73,07% del PIB provincial, seguido del sector Industria con el 10,44%, el sector Construcción con el 9,4% y finalmente el de Agricultura con el 7,09% [63].

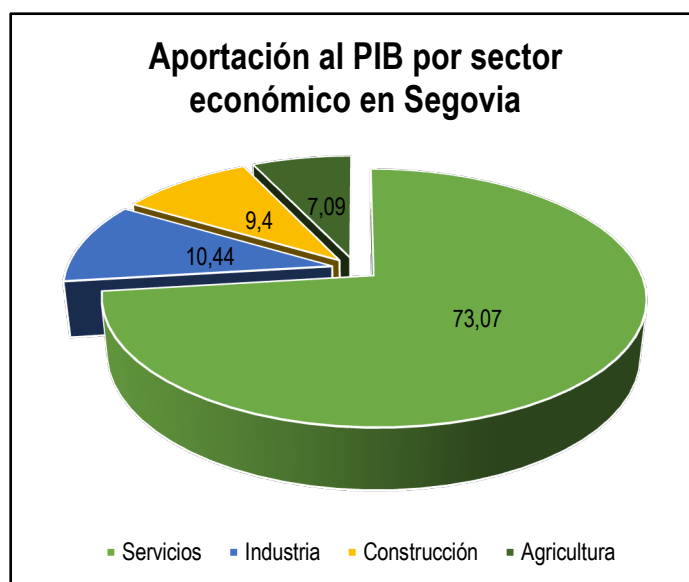


Figura 28: Aportación al PIB provincial por sector económico (Elaboración propia).

5.3.6. Turismo cultural

Dentro del sector de Servicios se encuentra el turismo, el cual es un sector muy importante para el municipio, ya que desde 1985 la ciudad vieja y su acueducto son denominados Patrimonio de la humanidad por la Unesco.



La provincia es un destino del denominado “turismo cultural” con un total de 40 Bienes de Interés Cultural, dentro de los cuales hay siete Conjuntos Históricos y un Paraje Pintoresco [63].

5.4. Interacción entorno-proyecto

Para evaluar los impactos se analiza la interacción de las acciones y fases del proyecto (construcción y operación) con los distintos medios, inerte, biótico, perceptual y sociocultural. A partir de esta interacción se obtienen los impactos causados y se elaboran las matrices de interacciones y de importancia.

Las interacciones impactantes serán las que modifiquen el suelo, el paisaje y el medio biótico e inerte, la calidad del aire, y el entorno social, económico y cultural.

Para el medio inerte se considera el agua, el suelo y el aire; en medio biótico se considera la flora y fauna; en el medio perceptual se consideran las vistas y paisajes y en el medio sociocultural se considera la calidad de vida y la economía.

5.4.1. Fase de Construcción

Medio inerte

- Interacción con el agua: sobre la alteración en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas se determina que los impactos no son significativos, siempre y cuando se eviten los vertidos accidentales y de materiales o restos constructivos que puedan colmatar y contaminar los cauces química y biológicamente.

El único factor que podría afectar este factor es la compactación de los suelos que podría y aumentar la escorrentía en las temporadas de lluvia producto de la mala infiltración que podrían presentar los suelos.

- Interacción con el aire: sobre los cambios en la calidad de aire, el impacto se considera de intensidad media al existir movimientos de tierra y cimentación que aumenta la cantidad de polvo en el aire. También es influyente el aumento de gases provenientes de los vehículos de transporte de material y la contaminación acústica.

Es recomendable humedecer los terrenos antes del desbroce de la vegetación, de los movimientos de tierra y de la circulación de vehículos.

- Interacción con el suelo: el cambio de uso de suelo, la modificación del perfil y la compactación son impactos medianamente significativos al tratarse de suelos improductivos dentro de la misma granja. De todas formas la revegetación de otra parcela y la gestión de residuos de construcción correcta son medidas que podrían disminuir este impacto negativo.

Por otra parte un impacto más significativo es la ubicación del proyecto dentro de vías pecuarias, para lo cual es importante considerar mantenerse siempre dentro de la normativa vigente y ajustarse a las restricciones.

Medio biótico

- Fauna: dado que en general estas zonas improductivas de los terrenos agrícolas tienen un bajo número de taxones por la pobreza de los suelos se estima que el impacto puede ser mediano o bajo, afectando principalmente a algunos reptiles pequeños, mamíferos pequeños y aves.

Estos pueden verse principalmente afectados por las emisiones de gases, la compactación de los suelos, el cambio en su uso y la modificación de los perfiles.

Para evitar estos impactos es importante realizar los cerramientos adecuados para evitar el paso de la fauna y la degradación de sus hábitats, y además establecer líneas eléctricas soterradas.

- Flora: estas zonas improductivas también tienen un bajo valor biológico vegetal implicando una baja variedad de especies, por lo cual el impacto también es leve.

Esta puede verse principalmente afectada por la compactación de los suelos, el cambio en su uso y la modificación de los perfiles.

Medio perceptual

- Paisaje: a la hora de desbrozar, limpiar y crear la zona de obras se verá una alteración notable pero dado que corresponde a una zona rural el cambio de vista del paisaje no es un impacto tan grave, pero de todas formas es apropiado crear contrastes visuales leves.

Medio sociocultural

- Economía: el sector de la construcción y empresas locales que se ven beneficiadas con la disponibilidad de empleo durante la etapa constructiva del proyecto. Se considera un impacto positivo.
- Calidad de vida: se considera un impacto positivo al representar una mejora en los sistemas tradicionales productivos, en la gestión de residuos, aprovechamiento de materias y disponibilidad de productos de alta calidad para la provincia de Segovia. La disponibilidad de empleo y las inversiones en empresas locales también implican un aumento en la calidad de vida.

5.4.2. Fase de Operación

Medio inerte

- Interacción con el agua: la fase de operación no emite vertidos contaminantes a la superficie. Los efluentes generados tales como los lixiviados generados en el proceso de vermicompostaje se recogen en la balsa de lixiviados. Impacto bajo.
- Interacción con el aire: pese a que la actividad no produce grandes emisiones de gases contaminantes, y se puede considerar como un impacto bajo, es importante controlar y corregir frecuentemente los parámetros de compostaje y evitar la emisión de gases a la atmósfera. La alta circulación de vehículos si producirá un impacto negativo en la emisión de gases contaminantes, al igual que el polvo en el aire por el tránsito de estos.
- Interacción con el suelo: la constante circulación de los vehículos y maquinaria producen un impacto significativo de compactación que afecta negativamente este factor. También se produce un impacto permanente en el cambio de uso de suelo y la modificación del perfil del suelo producto de la construcción existente.

Medio biótico

- Flora: no se ve afectada en esta etapa, el impacto principal ocurre en la etapa constructiva del proyecto. Los impactos que se pueden afectar este factor son la compactación por el tránsito de maquinaria y vehículos. El cambio de uso de suelo y la modificación del perfil que son afectados permanentemente también se consideran como impactos negativos para la flora.
- Fauna: es importante mantener las lombrices a salvo de sus posibles depredadores para no afectar el equilibrio del entorno ni el mismo proceso productivo. Se asume que las medidas protectoras se toman por lo cual el impacto es bajo. Para este factor se asocia a la compactación de los suelos como un impacto importante a la hora de considerar cierta fauna más pequeña, y el cambio de uso de suelo y la modificación del perfil que son afectados permanentemente también se consideran como impactos negativos para la fauna.



Medio perceptual

- Paisaje: la previa construcción de la explotación genera un impacto permanente, es importante que la construcción cumpla con las normas subsidiarias municipales de Segovia y que esté en consonancia con el entorno. El impacto es bajo, al tratarse de una zona rural.

Medio sociocultural

- Economía: el empleo de la provincia se verá beneficiado ya que aumentara la oferta de puestos de trabajos para la explotación, así como se requerirá de empresas locales que brinden servicios tales como reparación y mantenimiento de maquinaria, proveedores de materias diversas, etc.
- Calidad de vida: el aumento de la disponibilidad de empleo y oportunidades de negocio aumentan la calidad de vida, así como la disponibilidad en el mercado local de productos de buena calidad y de características sustentables.

La emisión de algunos gases contaminantes y polvo en el aire podría afectar la calidad de vida, sobre todo de los mismos trabajadores.

5.5. Análisis de los impactos ambientales en base al inventario

Se realiza una valoración cualitativa de los impactos asociados a la construcción y operación de la planta de tratamiento de purines, entregando una matriz de interacciones y de importancia.

En el primer punto se entregan las matrices de interacción para cada fase (construcción y operación), y para el segundo punto se realiza la valoración de importancia de cada impacto según el Método de la matriz de importancia, el cual se basa en asignar valor mediante la valoración cualitativa del impacto obtenido a partir del grado de incidencia o intensidad del impacto y una caracterización de el a través de los siguientes atributos [64]:

$$I_{ij} = NA_{ij} (3In_{ij} + 2Ex_{ij} + Mo_{ij} + Pe_{ij} + Rv_{ij} + Si_{ij} + Ac_{ij} + Ef_{ij} + Pri_{j} + Mc_{ij})$$

Donde,

NA: Naturaleza, que indica el carácter beneficioso o perjudicial del impacto

IN: Intensidad, grado de incidencia sobre el factor

EX: Extensión área de influencia con relación al entorno (puntual o total).

MO: Momento, tiempo del inicio de la acción e inicio del impacto (corto, mediano y largo plazo).

PE: Persistencia, tiempo en el que permanece el impacto (fugaz, temporal o permanente).

RV: Reversibilidad, posibilidad de reconstruir el efecto por medios naturales (Corto, mediano, irreversible).

SI: Sinergia, manifestación conjunta superior a la suma de manifestaciones de cada uno por separado (positiva o negativa).

AC: Acumulación, incremento progresivo de la manifestación del efecto cuando persiste la acción que lo genera.

EF: Relación causa efecto, acción misma que origina un efecto (directa) u otra acción determina un efecto (indirecta).

PR: Periodicidad, regularidad de manifestación del impacto (periódico, continuo o irregular).

MC: Recuperabilidad, posibilidad de reconstruir el factor afectado por intervención humana.

A estos valores se le atribuye un valor numérico según la clasificación que se indica en la **Tabla 24**, para atribuir un valor cuantitativo a la importancia de cada impacto, valorando su importancia en el impacto ambiental del proyecto.

Tabla 24: Clasificación de impactos (Elaboración propia)

NA: Naturaleza		IN: Intensidad	
<i>Beneficioso</i>	1	<i>Baja</i>	1
<i>Perjudicial</i>	-1	<i>Media</i>	2
		<i>Alta</i>	4
		<i>Muy Alta</i>	8
		<i>Total</i>	12
EX: Extensión		MO: Momento	
<i>Puntual</i>	1	<i>Largo plazo</i>	1
<i>Parcial</i>	2	<i>Medio plazo</i>	2
<i>Extenso</i>	4	<i>Inmediato</i>	4
<i>Total</i>	8	<i>Crítico</i>	4
<i>Crítico</i>	4		
PE: Persistencia		RV: Reversibilidad	
<i>Fugaz</i>	1	<i>Corto plazo</i>	1
<i>Temporal</i>	2	<i>Medio plazo</i>	2
<i>Permanente</i>	4	<i>Irreversible</i>	4
SI: Sinergia		AC: Acumulación	
<i>Sin Sinergia</i>	1	<i>Simple</i>	1
<i>Sinérgico</i>	2	<i>Acumulativo</i>	4
<i>Muy sinérgico</i>	4		
EF: Causa-Efecto		PE: Periodicidad	
<i>Indirecto</i>	1	<i>Discontinuo</i>	1
<i>Directo</i>	4	<i>Periódico</i>	2
		<i>Continuo</i>	4
MC: Recuperabilidad			
<i>Inmediata</i>	1		
<i>Medio plazo</i>	2		
<i>Mitigable</i>	4		
<i>Irrecuperable</i>	8		

Para valorar el impacto se le atribuye una cualidad de importancia al valor calculado para cada impacto, el cual se muestra en la **Tabla 25**.

Tabla 25: Clasificación de importancia para los impactos (Elaboración propia).

Rangos	I	Código
<i>Positivo</i>	$I \geq 0$	P
<i>Despreciable</i>	$0 > I \geq -10$	D
<i>Compatible</i>	$-10 > I \geq -25$	C
<i>Moderado</i>	$-25 > I \geq -50$	M
<i>Severo</i>	$-50 > I \geq -75$	S
<i>Crítico</i>	$I < -75$	Ct

5.5.1. Matriz de interacciones

En la **Tabla 26** se entrega la matriz de interacciones de ambas fases del proyecto, construcción y operación. La diferencia entre ambas fases se produce ya que la fase de construcción es temporal, sus impactos terminarán en su mayoría cuando la construcción acabe, a excepción de ,a modificación del paisaje y perfil del suelo. La contaminación acústica solo se presenta en la fase de construcción por el uso de maquinaria y herramientas de forma frecuente. Si bien es cierto en la fase de operación también se utiliza cierta maquinaria, estas trabajan con menor frecuencia y en menos tiempo de trabajo, siendo un impacto casi nulo.

Tabla 26: Matriz de interacciones del proyecto (Elaboración propia).

Factor/Impacto	Emisiones de gases	Contaminación acústica	Polvo en el aire	Compactación	Cambio de uso de suelo	Modificación del perfil del suelo	Cambio del paisaje	Disponibilidad de empleo	Inversiones locales	Obstrucción vías pecuarias
FASE DE CONSTRUCCIÓN										
Agua				x						
Aire	x	x	x							
Suelo				x	x	x				
Fauna	x			x	x	x				
Flora				x	x	x				
Paisaje					x	x	x			
Economía								x	x	
Calidad de vida	x	x	x				x	x	x	x
FASE DE OPERACIÓN										
Agua				x						
Aire	x		x							
Suelo				x	x	x				
Fauna	x			x	x	x				
Flora				x	x	x				
Paisaje					x	x	x			
Economía								x	x	
Calidad de vida	x	x	x				x	x	x	x

5.5.2. Matriz de importancia

En la **Tabla 27** se entrega la matriz de importancia de ambas fases, construcción y operación de la planta de vermicompostaje, con la ponderación de cada impacto. En la **Tabla 28** se entrega un resumen de ambas fases con las ponderaciones de importancia final para cada impacto.

De esta matriz de importancia se deduce que los impactos positivos son la disponibilidad de empleo y las inversiones locales en ambas fases consideradas, siendo mayores en la fase de operación por su periodicidad y persistencia. El impacto más negativo es la compactación del suelo por el aumento del

tránsito de maquinaria y vehículos de trabajo, clasificándose para ambas fases como impacto negativo moderado.

En cuanto a las emisiones de gases y la contaminación acústica, se clasifica como impacto negativo moderado en la fase de construcción y compatible en la fase de operación ya que su intensidad se considera mayor en la construcción que en la de operación.

Tabla 27: Matriz de importancia del proyecto (Elaboración propia).

	Emisiones de gases	Contaminación acústica	Polvo en el aire	Compactación	Cambio de uso de suelo	Modificación del perfil del suelo	Cambio del paisaje	Disponibilidad de empleo	Inversiones locales	Obstrucción vías pecuarias
FASE DE CONSTRUCCIÓN										
<i>Naturaleza</i>	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1
<i>Intensidad</i>	2	2	2	2	1	1	1	4	4	2
<i>Extensión</i>	2	2	2	1	1	1	1	4	4	2
<i>Momento</i>	4	4	4	2	2	2	2	4	2	2
<i>Persistencia</i>	2	2	2	4	4	4	4	2	2	2
<i>Reversibilidad</i>	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1
<i>Sinergia</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Acumulación</i>	4	1	1	4	4	4	4	1	1	1
<i>Causa – Efecto</i>	1	4	1	1	1	1	1	4	4	4
<i>Periodicidad</i>	2	2	2	4	4	4	4	2	2	2
<i>Recuperabilidad</i>	1	1	1	4	4	4	4	1	1	1
TOTAL	-26	-26	-23	-30	-27	-27	-27	37	35	-24
FASE DE OPERACIÓN										
<i>Naturaleza</i>	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1
<i>Intensidad</i>	1	1	2	2	1	1	1	4	4	2
<i>Extensión</i>	2	2	2	1	1	1	1	4	4	2
<i>Momento</i>	4	4	4	2	2	2	2	4	2	2
<i>Persistencia</i>	2	2	2	4	4	4	4	4	4	2
<i>Reversibilidad</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Sinergia</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Acumulación</i>	4	1	1	4	4	4	4	1	1	1
<i>Causa – Efecto</i>	1	4	1	1	1	1	1	4	4	4
<i>Periodicidad</i>	2	2	2	4	4	4	4	4	4	2
<i>Recuperabilidad</i>	1	1	1	4	4	4	4	1	1	1
TOTAL	-24	-24	-24	-30	-27	-27	-27	41	39	-25

Tabla 28: Resumen de importancia de los impactos asociados al proyecto (Elaboración propia).

<i>Impacto</i>	<i>Construcción</i>		<i>Operación</i>	
<i>Emisiones de gases</i>	-26	M	-24	C
<i>Contaminación acústica</i>	-26	M	-24	C
<i>Polvo en el aire</i>	-23	C	-24	C
<i>Compactación</i>	-30	M	-30	M
<i>Cambio de uso de suelo</i>	-27	M	-27	M
<i>Modificación del perfil del suelo</i>	-27	M	-27	M
<i>Cambio del paisaje</i>	-27	M	-27	M
<i>Disponibilidad de empleo</i>	37	P	41	P
<i>Inversiones locales</i>	35	P	39	P
<i>Obstrucción vías pecuarias</i>	-24	C	-25	C

Finalmente, se considera que el proyecto tiene un impacto ambiental moderado, por lo cual su realización es viable siempre y cuando se intente minimizar estos impactos y gestionar adecuadamente todos sus procesos. Es importante contar con medidas correctoras y preventivas para lograrlo, a continuación se describen algunas medidas correctoras y preventivas adecuadas para ello [49]:

- Realizar estudios previos sobre el proyecto, el medio y la influencia ambiental.
- Respetar los tiempos establecidos para su fase de construcción.
- Estabilizar y regar periódicamente los viales para minimizar las emisiones excesivas de polvo.
- Mantener los equipos y la maquinaria en buen estado.
- Evitar la circulación de vehículos fuera de las zonas destinadas para ello.
- Retirar continuamente escombros y residuos en general.
- Considerar en el diseño pantallas vegetales que atenúen el impacto paisajístico.
- Controlar y monitorear continuamente los procesos de compostaje y vermicompostaje.

6. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para realizar la evaluación económica de este proyecto y evaluar su viabilidad se deben calcular los indicadores básicos tales como Valor actualizado neto (VAN), Tasa interna de retorno (TIR), Índice costo-beneficio (B/C) y Periodo de retorno de la inversión (PRI).

Para esto, e debe realizarse el análisis de las inversiones, de los costos y de los ingresos y establecer un flujo de caja básico.

El tiempo de vida útil para la obra civil se estima en 30 años y para la maquinaria en 15 años [49]. La parcela en la que se instaura el proyecto será propiedad del inversor por lo que no se considera para el flujo de caja.

6.1. Análisis de las inversiones

Las inversiones corresponden a los activos fijos necesarios para dar inicio al proyecto, se pueden desglosar en tangibles, intangibles y capital de trabajo. Para simplificar la evaluación solo se tomarán en cuenta las inversiones tangibles, que corresponden a los activos materiales.

Inversiones Tangibles

Como única inversión tangible se considera el presupuesto del proyecto. Para esto se toma un presupuesto de inversión total proyectada para una planta de vermicompostaje de subproductos

agroindustriales de una superficie de 4.639 m² que describe cada costo constructivo y entrega un coste final de 524.949,11 € y se transforma mediante proporciones simples a la superficie estimada en la planta diseñada en este TFM de 7.550 m², obteniendo los valores especificados en la **Tabla 29 con un coste de inversión total de 854.357,79 €** [49].

Tabla 29: Presupuesto de inversión total proyectada (Elaboración propia).

<i>Inversión</i>	<i>Importe (€)</i>
<i>Movimiento de tierras</i>	23.405,90
<i>Cimentación y saneamiento</i>	74.008,78
<i>Albañilería y estructura</i>	176.448,71
<i>Cubierta</i>	38.117,04
<i>Pavimiento y solado</i>	47.148,52
<i>Revestimiento y falsos techos</i>	2.511,70
<i>Cerrajería, carpintería y vidriería</i>	8.947,56
<i>Pintura</i>	6.473,21
<i>Instalación eléctrica</i>	9.576,64
<i>Instalación de riego</i>	1.462,64
<i>Instalación de fontanería</i>	64.879,92
<i>Urbanización</i>	8.292,05
<i>Seguridad y Salud</i>	1.032,65
<i>Maquinaria</i>	128.198,97
<i>Otros elementos</i>	2.840,96
<i>Presupuesto de ejecución material (PEM)</i>	593.345,22
<i>Intereses en concepto de:</i>	
<i>13% Gastos generales</i>	77.134,88
<i>6% Beneficio Industrial</i>	35.600,71
<i>Suma</i>	706.080,82
<i>21% IVA</i>	148.276,97
Total	854.357,79

6.2. Análisis de los costes e ingresos

Ingresos operacionales

Estos corresponden a la cantidad de humus producido y la cantidad de lombrices para alimento producidos anualmente. La **Tabla 30** indica los ingresos operacionales mensuales y anuales de la planta de vermicompost [49].

Tabla 30: Ingresos operacionales de la planta de vermicompost (Elaboración propia).

	<i>Producción mensual (t)</i>	<i>Precio de venta (€/t)</i>	<i>Ingreso mensual (€)</i>	<i>Ingreso anual (€)</i>
<i>Humus de Lombriz</i>	1.023,82	375	31.994,37	383.932,47

Costes Fijos

Como costes fijos se consideran los costes salariales de los empleados, el coste eléctrico de los equipos y el coste de combustible, de forma anual.

Para la determinación del coste salarial de los empleados se considera necesaria la contratación de al menos un ingeniero agrónomo y un operario de la maquinaria. Los salarios fueron obtenidos del Decil de salarios del empleo principal del año 2020, y corresponden a los salarios brutos que las empresas asumen, donde se incluye la seguridad social [65]. La **Tabla 31** indica el coste total anual de los empleados, resultante en **50.044,8 €**.

Tabla 31: Coste fijo anual de los empleados (Elaboración propia).

	<i>Cantidad</i>	<i>Salario (€)</i>	<i>Total anual (€)</i>
<i>Ingeniero Agrónomo</i>	1	2.394	28.732,8
<i>Operario</i>	1	1.776	21.312
		TOTAL ANUAL	50.044,8

Para el coste en electricidad de los equipos se considera el tornillo prensa y la criba de trómel, sus potencias fueron tomadas de sus catálogos respectivos [51,55]. Se selecciona la tarifa 3.0TD que tiene una potencia entre 15 y 450 kW y se promedia la tarifa en 0,25 €/kWh [66].

Las horas de trabajo anual se calculan considerando que para el tornillo de prensa el tiempo de trabajo es de 3,5 horas 1 vez a la semana (3,5x52 semanas) [51]. Para la criba de trómel se considera que esta trabaja al menos 1 hora por semana, es decir 52 horas al año [55].

En la **Tabla 32** se muestran los valores obtenidos para el coste total anual en electricidad de ambos equipos, resultando en 119,548 €.

Tabla 32: Coste fijo de electricidad anual para los equipos (Elaboración propia).

<i>Equipo</i>	<i>Potencia (kW/h)</i>	<i>Horas de trabajo anual</i>	<i>Consumo anual (kW)</i>	<i>Precio electricidad (€/kW)</i>	<i>Total anual (€)</i>
<i>Tornillo prensa</i>	5,5	182	1001	0,25	250,25
<i>Criba de trómel</i>	11	52	572	0,25	143
				TOTAL ANUAL	393,25

Por último, se considera el coste fijo del combustible utilizado por el tractor que impulsa la volteadora. Las horas de trabajo de la volteadora se estiman en 19,46 horas anuales. Se calculan considerando que esta demora 8 minutos en voltear cada pila o cantero, y anualmente se realizan 146 volteos totales.

Cuando se selecciona la volteadora, se especifica en su catálogo que el tractor que tira de ella debe ser de 50 CV, significando un consumo de 6 L/h, resultando en un consumo total anual de 116,76 L de combustible [67]. En la **Tabla 33** se indica el coste tal anual de combustible para este equipo.

Tabla 33: Coste fijo anual para el combustible (Elaboración propia).

	<i>Horas de trabajo anual</i>	<i>L/h</i>	<i>Consumo (L)</i>	<i>Precio (€/L)</i>	<i>Total anual (€)</i>
<i>Combustible tractor volteadora</i>	19,46	6	116,76	2,083	243,21

Otro coste considerado es el de las lombrices. La compra de estas se realiza solo el primer año, exactamente para la primera tanda productiva, el resto de los años de funcionamiento se considera que



se podría realizar la cría y así ahorrar la compra de estas. Por lo cual solo se considera ese costo el año 1, el resto de los años no existe.

La cantidad de lombrices se calcula considerando una necesidad de 10 kg/m² [40], y si tenemos por cantero una superficie de 97,5 m², entonces la necesidad de lombrices será de 975 kg por cantero. Como se consideran para una tanda de producción 16 canteros, se considerará necesario contar en un inicio con 15.600 kg de lombrices.

La **Tabla 34** indica el coste anual del primer año en la compra de las lombrices a un precio de 35 €/kg [49]. El coste total para el año 1 resulta de 546.000 €.

Tabla 34: Coste de lombrices para el primer año productivo (Elaboración propia).

	<i>Cantidad (kg)</i>	<i>Precio (€/kg)</i>	<i>Total</i>
<i>Lombrices primer año</i>	15.600	35	546.000

6.3. Flujo de caja

En la **Tabla 35** se entrega el flujo de caja obtenido considerando la inversión inicial, los ingresos y egresos. Se considera un tiempo de vida útil del proyecto de 30 años por su durabilidad constructiva, mientras que en el año 15 se realiza una reinversión en maquinaria ya que se determina su tiempo de vida útil en 15 años [49]. El flujo acumulado total al final de la vida útil del proyecto resulta en **8.468.070,49 €**.

Tabla 35: Flujo de Caja (Elaboración propia).

FLUJO DE CAJA

AÑO	INVERSIONES	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO	FLUJO ACUMULADO
0	-854.357			-854357	- 854357
1		383.932	-596.681	- 212.748	- 1.067.106
2		383.932	-50.681	333.251	- 733.855
3		383.932	-50.681	333.251	- 400.604
4		383.932	-50.681	333.251	- 67.352
5		383.932	-50.681	333.251	265.898
6		383.932	-50.681	333.251	599.149
7		383.932	-50.681	333.251	932.400
8		383.932	-50.681	333.251	1.265.651
9		383.932	-50.681	333.251	1.598.903
10		383.932	-50.681	333.251	1.932.154
11		383.932	-50.681	333.251	2.265.405
12		383.932	-50.681	333.251	2.598.656
13		383.932	-50.681	333.251	2.931.907
14		383.932	-50.681	333.251	3.265.159
15	-128.198	383.932	-50.681	333.251	3.470.211
16		383.932	-50.681	333.251	3.803.462
17		383.932	-50.681	333.251	4.136.713
18		383.932	-50.681	333.251	4.469.964
19		383.932	-50.681	333.251	4.803.216
20		383.932	-50.681	333.251	5.136.467
21		383.932	-50.681	333.251	5.469.718
22		383.932	-50.681	333.251	5.802.969
23		383.932,47	-50.681	333.251	6.136.221
24		383.932,47	-50.681	333.251	6.469.472
25		383.932,47	-50.681	333.251	6.802.723
26		383.932,47	-50.681	333.251	7.135.974
27		383.932,47	-50.681	333.251	7.469.225
28		383.932,47	-50.681	333.251	7.802.477
29		383.932,47	-50.681	333.251	8.135.728
30		383.932,47	-50.681	333.251	8.468.979

6.4. Indicadores económicos

Valor Actualizado Neto (VAN)

Corresponde a la actualización de los flujos en función de la tasa de descuento proporcionando la rentabilidad absoluta y neta del proyecto de inversión [68].

Para el cálculo de este indicador se considera una tasa de descuento del 4%, resultando en una riqueza generada por el proyecto al final de su horizonte de evaluación (30 años) de 4.383.233 € si consideramos la devaluación del dinero en el tiempo.

Tasa Interna de Retorno (TIR)

Corresponde a la tasa de actualización donde el VAN resulta 0. Su cálculo proporciona la rentabilidad relativa bruta del proyecto sobre el valor invertido. Corresponde al (%) de una unidad de capital en una unidad de tiempo [68].

Si el valor de TIR es mayor que la tasa de descuento el proyecto será aceptado. En este caso, la TIR es de 26% mientras que la tasa de descuento de 4%, por lo cual el proyecto se considera viable.

Índice Beneficio-Costo (B/C)

Consiste en la relación entre los valores actuales de los beneficios y los costos del proyecto considerando la tasa de descuento en el tiempo [69]. Para que un proyecto sea rentable el B/C debe ser mayor a 1.

En el proyecto en cuestión en B/C es de 7,57, por lo cual se considera rentable económicamente.

Periodo de Retorno de la Inversión (PRI)

Mide el tiempo que demora en recuperarse el capital invertido [68]. De forma simple corresponde al momento en el cual el flujo de caja acumulado se vuelve positivo, significando que la inversión se ha recuperado.

Para el proyecto en cuestión se determina su PRI en 5 años, visible en la **Tabla 35**, cuando el flujo acumulado se vuelve positivo.

La **Tabla 36** entrega los valores obtenidos para cada indicador descrito anteriormente. En base a esto se puede decir que el proyecto se considera rentable económicamente, su periodo de recuperación de la inversión es de 5 años y la riqueza que entrega el proyecto al final de su vida útil se estima en 4.383.233 €. Además tanto la TIR como como el B/C indican rentabilidad económica.

Tabla 36: Indicadores económicos del proyecto (Elaboración propia).

INDICADORES ECONÓMICOS	
VAN (€)	4.383.233
TIR	26%
B/C	7,57
PRI (años)	5



7. CONCLUSIONES

En base a los objetivos planteados para este TFM y luego de un estudio bibliográfico, se diseña una planta de vermicompostaje para la valorización de residuos ganaderos de la industria porcina para una granja teórica con una producción de purines de 12.593,36 t/año y con una obtención final de 1.023,82 t de humus de lombriz. Ubicada en la comunidad autónoma de Castilla y León, en la provincia de Segovia.

La superficie total requerida se estima en 7.550 m² y su diseño consta de 4 Naves. Se inicia el tratamiento con la separación S/L del purín para poder compostar durante un mes la fracción sólida y conseguir condiciones más apropiadas para la sobrevivencia de las lombrices. Esta primera etapa se llama Acondicionamiento y ocurre en la Nave de transformación 1.

Luego se inicia la etapa de vermicompostaje donde se transforman los residuos gracias a la acción de las lombrices rojas californianas en las Naves de Transformación 2 y 3. Le sigue la etapa de cribado, maduración y finalmente almacenamiento que ocurren en la Nave de Almacenamiento. Adicionalmente se considera un área de cría donde se reproduzcan las lombrices con el fin de tener autonomía en su producción.

Para conseguir un proceso continuo de producción de humus, se diseña para la etapa de compostaje un área de 1.378 m² en la cual se disponen 4 pilas de dimensiones 1,5x1,5x45 m separadas entre si a una distancia de 4 m. Y para el área de vermicompostaje dos áreas de 2496 m² cada una, con 16 canteros en total de dimensiones 0,6x1,5x44 m separados entre si a una distancia de 4 m.

Como equipos fundamentales se seleccionan un separador de fases S/L para obtener la fase sólida a tratar, una criba de trómel para descompactar. Y eliminar residuos sólidos en el humus resultante y una volteadora para voltear el material en sus fases de compostaje y vermicompostaje.

El producto final obtenido es humus de lombriz que es un abono orgánico y enmienda de suelo rico en nutrientes. Es importante considerar a futuro para cualquier proyecto como este a la misma lombriz como alimento de ganado como un segundo producto potencialmente valioso en la industria. Su alta tasa reproductiva lleva a generar grandes cantidades de lombrices que se podrían controlar con la comercialización de una porción restante de ellas obtenidas mediante el cribado del material.

El estudio ambiental concluye que el proyecto tiene un impacto ambiental moderado y que este puede minimizarse con la correcta gestión de los procesos constructivos y operativos de la planta. Para ambas fases evaluadas existen una serie de medidas preventivas que ayudan a mantener las condiciones ambientales saludables del entorno tales como el humedecimiento de los caminos transitados para evitar el polvo, la correcta mantención de la maquinaria para evitar emisiones contaminantes, el control de los parámetros del compost y vermicompost para evitar emisiones de gases indeseados, el diseño arquitectónico de la edificación ad hoc con el paisaje, entre otras.

Y finalmente, en cuanto al estudio económico, este concluye que el proyecto se considera rentable económicamente, su periodo de recuperación de la inversión es de 5 años y entrega al final de su vida útil una riqueza de 4.383.233 € considerando una tasa de descuento de 4%. Sus indicadores TIR como y B/C también indican rentabilidad económica.

Por lo tanto, se concluye que este proyecto es una opción viable para tratar purines, siempre y cuando se justifique su tratamiento. Además de tener un impacto ambiental moderado, tiene una buena rentabilidad económica, y lo convierte en una oportunidad de negocio para los ganaderos de la Comunidad Autónoma.



8. REFERENCIAS

- [1] Agencia Extremeña de la Energía, n.d. Los residuos ganaderos. [Consultado 19 de marzo de 2022]. Disponible en: www.agenex.org
- [2] Rini, J., Deepthi, M. P., Saminathan, K., Narendhirakannan, R. T., Karmegam, N., & Kathireswari, P., 2020. Nutrient recovery and vermicompost production from livestock solid wastes with epigeic earthworms. *Bioresource Technology*, 313, 123690. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2020.123690>
- [3] Alonso, L., Valor, C., Moreno, J., Callejón, M., de la Cuesta, M., Gil, M., Gimeno, J., & Sumpsi, J., 2020. La economía circular: una opción inteligente. *Economistas sin fronteras. Dossieres EsF n.º 37, Primavera 2020*. <https://ecosfron.org/wp-content/uploads/2020/03/Dossieres-EsF-37-La-Econom%C3%ADa-Circular.pdf>
- [4] CECALE (s.f.). Potencial de las empresas de primera transformación en Castilla y León para el aprovechamiento de sus residuos orgánicos en recursos con valor añadido. Archivo descargado desde: [https://www.jcyl.es/web/jcyl/Portada/es/Home/1246890364336/ / /](https://www.jcyl.es/web/jcyl/Portada/es/Home/1246890364336/)
- [5] MITECO. (n.d.). Estrategia Española de Economía Circular y Planes de Acción. [Consultado 19 de marzo de 2022], desde <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/estrategia/>
- [6] Muñoz, A., Del Prado, A., & Manzano, P. (2020). La ganadería y su contribución al cambio climático. [Consultado 19 de marzo de 2022], desde <https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2020/09/Informe-Ganaderia-Cambio-climatico-Amigos-de-la-Tierra.pdf>
- [7] Valdecantos, A., Fuentes, D., Cortina, J., & Casanova, G. (n.d.). Aprovechamiento de los purines. requisitos para su utilización agraria y forestal. [Consultado 10 de abril de 2022], desde <https://core.ac.uk/download/pdf/16356598.pdf>
- [8] JCYL. (n.d.). Código de Buenas Prácticas Agrarias | Medio Ambiente | Junta de Castilla y León. [Consultado 10 de abril de 2022], desde <https://medioambiente.jcyl.es/web/es/calidad-ambiental/codigo-buenas-practicas-agrarias.html>
- [9] García, F. & Miranda, V. (n.d.). Eutrofización, una amenaza para el recurso hídrico. [Consultado 10 de abril de 2022], desde http://ru.iiec.unam.mx/4269/1/2-Vol2_Parte1_Eje3_Cap5-177-Garc%C3%ADa-Miranda.pdf
- [10] Orío, A. (n.d.). Ganadería y Medio Ambiente. Nueva Directiva de Techos nacionales de emisión de contaminantes a la atmósfera. [Consultado 12 de abril de 2022], desde https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/ganaderia-y-medio-ambiente/4presentacion_4_d_alberto_orio_tcm30-108181.pdf
- [11] Naciones Unidas (n.d.). Objetivos y metas de desarrollo sostenible. [Consultado el 12 de abril de 2022], desde <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/#>
- [12] Subdirección General de producciones ganaderas y sinérgicas (2020). El sector de la carne de cerdo en cifras: Principales indicadores económicos. [Consultado 12 de abril de 2022], desde https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/estadisticas/indicadoreseconomicossectorporcino2020_tcm30-379728.pdf



- [13] Junta de Castilla y León. (2020). 3.1. Efectivos ganaderos 2020. | Agricultura y Ganadería | Junta de Castilla y León. [Consultado 10 de abril de 2022], desde <https://agriculturaganaderia.jcyl.es/web/es/efectivos-ganaderos-2020.html>
- [14] Yuvaraj, A., Thangaraj, R., Ravindran, B., Chang, S. W., & Karmegam, N. (2020). Centrality of cattle solid wastes in vermicomposting technology - A cleaner resource recovery and biowaste recycling option for agricultural and environmental sustainability. *Environmental Pollution (Barking, Essex : 1987)*, 268(Pt A). [Consultado 13 de abril de 2022], desde <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.115688>
- [15] CETENMA, 2020. Valorización de purines de cerdo. [Consultado 13 de abril de 2022], desde www.cetenma.es
- [16] Campos, E., Palatsi, J., Illa, J., Sole, F., Magri, A., & Flotats, X. (2004). Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas. [Consultado 14 de abril de 2022], desde http://www.arc-cat.net/es/altres/purins/guia/pdf/guia_dejeccions.pdf
- [17] Minguez, C. (2019). Estudio para el análisis y localización de la biomasa potencial del sector agrícola y ganadero en Castilla y León. [Consultado 14 de abril de 2022], desde <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/37389/TFM-I-1198.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [18] Serrano, E. (2001). Aplicación agronómica de purín de cerdo y de un polielectrolito: efectos en el cultivo de ryegrass y en las aguas de drenaje. Consejo superior de investigaciones científicas instituto de recursos naturales y agrobiología de Sevilla.
- [19] López, J. (2020). Guía técnica para la valorización de purín. AgroXcontrol. [Consultado 15 de abril de 2022], desde <https://valorizatupurin.plumed.es/wp-content/uploads/2020/12/guia-valorizacion-purin.pdf>
- [20] Blanco, L. (2016). Análisis y caracterización de purines para la obtención de estruvita y biogás. [Consultado 15 de abril de 2022], desde https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/71857/48587893W_TFG_14733867190452810241282594_269288.pdf?sequence=3
- [21] Ayuntamiento de San Sebastián de los Reyes. (n.d.). Manual Básico para hacer vermicompost. [Consultado 10 de marzo de 2022], desde http://www.compostaenred.org/documentacion/Manuales/2Manual_Vermicompostaje_SanSebastiandelosReyes.pdf
- [22] Flotats X. (2019). Gestión y tratamiento de purines 2/3. Estrategias tecnológicas disponibles: del tratamiento al procesado. Universitat Politècnica de Catalunya. [Consultado 18 de mayo de 2022], desde https://www.researchgate.net/publication/333115114_Gestion_y_tratamiento_de_purines_23_Estrategias_tecnologicas_disponibles_del_tratamiento_al_procesado
- [23] Ho T., Tra V., Le T., Nguyen N., Tran C., Nguyen P., Vo T., Thai V., Bui X. (2022). Compost to improve sustainable soil cultivation and crop productivity. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 100211. [Consultado 18 de mayo de 2022], desde <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2666016422000330?token=2D9515A911CE20AFF5E4BCA45DC9028D9B81BF5302C02965A8E77287CB29A6D2203A294539DBA60AAFBFA0142506D6CCE&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220518084947>



[24] Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor, experiencias en América Latina. [Consultado 18 de mayo de 2022], desde www.fao.org/publications

[25] Gonzalez A. (2020). Valorización de lodos de depuradora para la obtención de productos de interés industrial. Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente, Universidad de Oviedo. [Consultado 18 de mayo de 2022], desde <https://www.catedracogersa.com/html5Upload/server/php/files/pdf/tfgbiotec-2020-07-gonzalezalvarez-angela1.pdf>

[26] Santos, S., & Urquiaga, R. (2013). COMPOSTAJE Y VERMICOMPOSTAJE DOMÉSTICOS. [Consultado 18 de mayo de 2022], desde https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/articulos-de-opinion/2013-04-santos-urquiaga_tcm30-163607.pdf

[27] Bueno P., Díaz M., Cabrera F. (n.d.). Capítulo 4. Factores que afectan al proceso de compostaje. Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Química Orgánica. Universidad de Huelva. Facultad de Ciencias Experimentales. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS), CSIC.

[28] Prieto G (2015). Control de calidad del proceso de compostaje en INCAUCA S.A. Universidad de Pamplona. Facultad de ciencias básicas. [Consultado 18 de mayo de 2022], desde https://www.researchgate.net/publication/282651419_Control_de_Calidad_del_Proceso_de_Compostaje

[29] Hernandez D (2018). El vermicompostaje como tecnología de bajo coste para la valorización de residuos orgánicos generados en el medio rural. Universidad Miguel Hernández de Elche. Escuela Politécnica Superior de Orihuela. [Consultado el 10 de mayo de 2022], desde <http://193.147.134.18/bitstream/11000/5394/1/TFM%20Hern%C3%A1ndez%20G%C3%B3mez%20Diego.pdf>

[30] Tortosa G. (2015). Sistemas de Compostaje. [Consultado el 14 de mayo de 2022], desde <http://www.compostandociencia.com/2015/02/sistemas-de-compostaje/>

[31] Junta de Andalucía (n.d.). Sistemas y técnicas para el compostaje. [Consultado el 22 de abril de 2022], desde www.juntadeandalucia.es

[32] Tortosa G. (2015). Compostaje en tambor rotatorio. [Consultado el 10 abril de 2022, desde <http://www.compostandociencia.com/2015/03/compostaje-en-tambor-rotatorio/>

[33] Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino. (2008). Manual de Compostaje. [Consultado el 20 de mayo de 2022], desde https://www.miteco.gob.es/images/es/Manual%20de%20compostaje%202011%20PAGINAS%201-24_tcm30-185556.pdf

[34] Grand, A., & Michel, V. (n.d.). Compost: ventajas y desventajas. Best4Soil. [Consultado el 20 de mayo de 2022], desde <https://best4soil.eu/videos/7/es>

[35] Geisel, P., & Seaver, D. (2009). El compostaje es bueno para su jardín y el medio ambiente. University of California Division of Agriculture and Natural Resources. ANR. [Consultado el 20 mayo de 2022], desde <http://anrcatalog.ucdavis.edu>



[36] Tortosa G. (2009). Compostaje como método para obtener abonos orgánicos. [Consultado el 20 mayo de 2022], desde <http://www.compostandociencia.com/2009/11/compostaje-como-metodo-para-obtener-html/>

[37] Turab S., Zhu Bo., Liang J., Al Z., Anjum R., Bah H., Iqbal H., Ren X., Ahmad R. (2020). Nutrients Recovery during Vermicomposting of Cow Dung, Pig Manure, and Biochar for Agricultural Sustainability with Gases Emissions. Appl. Sci. 2020, 10, 8956; doi:10.3390/app10248956

[38] Villegas, V., & Laines, R. (2017). Vermicompostaje: Avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 8, 393–406.

[39] Vermiduoero. (n.d.). CLAVES PARA EL CUIDADO DE NUESTRAS LOMBRICES (I). [Consultado 6 de julio de 2022], desde <https://www.vermiduoero.es/como-cuidar-de-nuestras-lombrices>

[40] Somarriba, R., & Guillén, F. (2004). Guía de lombricultura. [Consultado 6 de julio de 2022], desde <https://repositorio.una.edu.ni/2409/1/nf04s693.pdf>

[41] Aguirre M., Vargas V., Salcedo S., Salinas W. (2012). Manejo de residuos orgánicos con lombriz de tierra. En: Tópicos selectos de botánica 6. Universidad Autónoma de Nuevo León. [Consultado el 23 de mayo de 2022]

[42] Malo, A. (2016). Compostaje, análisis y caracterización de subproductos orgánicos de origen animal y comparación con el residuo en fresco. [Consultado 6 de julio de 2022], desde <https://core.ac.uk/download/pdf/289986864.pdf>

[43] Agencia Española de Seguridad, Alimentación y Nutrición. (n.d.). Documento de interpretación de los reglamentos de subproductos de origen animal no destinados al consumo humano (SANDACH). [Consultado 12 de abril de 2022], desde https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/gestion_riesgos/guia_sandach.pdf

[44] Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, (2013) (testimonio de BOE). [Consultado 6 de julio de 2022], desde <https://www.boe.es/buscar/pdf/2013/BOE-A-2013-7540-consolidado.pdf>

[45] García Sanz, I., Bigeriego, M., Canales, C., & Colmenares, M. (2010). Guía de las mejores técnicas disponibles del sector porcino. [Consultado 6 de julio de 2022], desde https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/publicaciones/GuiaMTDsSectorPorcino_tcm30-105316.pdf

[46] Código de buenas prácticas agrarias en Castilla y León, (25 junio, 2020) (testimony of BOCYL). http://www.deagro.es/wp-content/uploads/2020/08/nitratos-2020-DECRETO-5-2020-de-25-de-junio_CBPA.pdf

[47] Real Decreto 47/2022, de 18 de enero, sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias, (2022) (testimony of BOE). <https://www.boe.es/buscar/pdf/2013/BOE-A-2013-7540-consolidado.pdf>

[48] JCYL. (n.d.). Designación de las zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes de origen agrícola y ganadero | Medio Ambiente | Junta de Castilla y León. [Consultado 10 de abril de 2022], desde



<https://medioambiente.jcyl.es/web/jcyl/MedioAmbiente/es/Plantilla100Detalle/1246988359553/Noticia/1284966161459/Comunicacion>

[49] Gómez, M (2019). Proyector de construcción de planta de vermicompost de residuos orgánicos agroindustriales con capacidad de 800 t al año en el Polígono 7, parcela 294 del término municipal de Robledillo de Trujillo (Cáceres). Escuela de Ingenierías Agrarias. Universidad de Extremadura. [Archivo descargado]

[50] IMCUR. (n.d.). Construcción de Balsas de Purines. [Consultado 28 de junio de 2022], desde <https://www.imcur.com/construccion-balsas-de-purines/>

[51] Campo Galego. (n.d.). Separación de la parte sólida y líquida del purín: Valoración de los distintos sistemas - Campo Galego. [Consultado 28 de junio de 2022], desde <https://www.campogalego.es/separacion-de-la-parte-solida-y-liquida-del-purin-valoracion-de-los-distintos-sistemas/>

[52] Storth. (n.d.). Separator Systems - Storth Ltd. - Catálogo PDF | Documentación técnica | Brochure. [Consultado 28 de junio de 2022], desde <https://pdf.agriexpo.online/es/pdf-en/storth-ltd/separator-systems/170326-10706.html#open47264>

[53] Torosa, G. (2015, February 10). Sistemas de compostaje – Compostando Ciencia. [Consultado 28 de junio de 2022], desde <http://www.compostandociencia.com/2015/02/sistemas-de-compostaje/>

[54] Almería 360, Periódico Digital. (2014, March 10). El Ejido contará con su primera planta de vermicompost - Almería 360. [Consultado 28 de junio de 2022], desde <https://almeria360.com/principal-agricultura/agricultura/el-ejido-contara-con-su-primera-planta-de-vermicompost/>

[55] Bianna Recycling. (n.d.). Trómeles. Retrieved June 28, 2022, from [Consultado 28 de junio de 2022], desde <https://biannarecycling.com/tromel/>

[56] CAMPS Agrícola. (n.d.). Mecánica para tractores de 50 CV, VC-2000 · [Consultado 28 de junio de 2022], desde <https://campsagricola.es/wp-content/uploads/2020/12/VC-2000.pdf>

[57] Vermiduro. (n.d.). Humus de Lombriz. [Consultado 30 de junio de 2022], desde https://cdn.website-editor.net/s/8adde36ef60e476db9a4892b6526f2ae/files/uploaded/FICHA%2520T%25C3%2589CNICA%2520HUMUS%2520LOMBRIZ.pdf?Expires=1658472546&Signature=HnTDK0~KrQn-gRo3GVn4mtX9t2D~xS56tdos4po6t4qXEjSWvFa3Lp~6KBKmxCFvZ~9UJ8YWKyWOCM7-D5-LeTQJkBdrB5CAvITlu1ZDDGpFHOkWXhHviM6gOHe-O-22gQezpU7U3FC8qJ179XjkqrMyAT9NMa4R9psz~TSGV65ymtSoc3cg8GCnhDgg6QbRIRoyXMoeOFg7hC7ZspmkyH1UXl5bY51-gt7aE-eJ3Jo85Mtv1S8pblZ5OWxT1haVtoMmuHwuDx~1fTY5S-kCJYcv71nhct5Yw6XMmogKbEklRcx~wNsNSKvZn-dxRWO3f1VmFMYZITcXujKo1mUgQ_&Key-Pair-Id=K2NXXBXLf010TJW

[58] Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental., (2013) (testimony of BOE). <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-12913>

[59] Ayuntamiento de Segovia. (n.d.). La Ciudad | Segovia. [Consultado 4 de julio de 2022], desde <https://segovia.es/index.php/la-ciudad>

[60] Google Earth. (n.d.). Provincia de Segovia. [Consultado 4 de julio de 2022], desde <https://earth.google.com/web/search/provincia+de+segovia/@41.10953355,-3.9657909,1062.2923811a,224199.10805275d,35y,0h,0t,0r/data=Cn0aUxJNCiMweGQ0MTRIZWE2MjI1OTFhZjoweDMwNTg3MDC1YWYzY2JiMBkWN8nqsXhEQCF25Q72gW8QwCoUcHJvdmluY2IhIGRIIH NIZ292aWEYAIAiABliYKJAMqNzWsXz1HQBG2QMEffBY0QBnq-sJuOjIGQCELj7EIX55GwA>



- [61] García, F. (2010). Desarrollo y medio ambiente en un espacio en transformación: La provincia de Segovia. [Consultado 4 de julio de 2022], desde <https://eprints.ucm.es/id/eprint/10349/1/T31460.pdf>
- [62] Fundación Siglo. (2020). Respira Naturaleza en Castilla y León. [Consultado 4 de julio de 2022], desde <https://www.turismocastillayleon.com/douro/es/folletos/respira-naturaleza-castilla-leon.ficheros/192083-Respira%20Naturaleza%20en%20Castilla%20y%20Le%C3%B3n.pdf>
- [63] Servicio Público de Empleo Estatal (2021). Informe del mercado de trabajo de Segovia, datos 2020. [Consultado 4 de julio de 2022].
- [64] Ayuntamiento de Santa María. (n.d.). Identificación y valoración de impactos. [Consultado 4 de julio de 2022], desde https://www.elpuertodesantamaria.es/pub/urbanismo/abr11/05eia/eia_007.pdf
- [65] INE. (2021). Decil de salarios del empleo principal. Encuesta de Población Activa (EPA) Año 2020. [Consultado 4 de julio de 2022], desde https://www.ine.es/prensa/epa_2020_d.pdf
- [66] Selectra. (n.d.). Tarifas de luz para pymes y empresas: mejores precios y ofertas. [Consultado 7 de julio de 2022], desde <https://tarifasgasluz.com/pymes/tarifas-luz>
- [67] Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2008). Previsión de costes de utilización de la maquinaria agrícola. [Consultado 7 de julio de 2022], desde https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/MetodologiaCalculoCostes_tcm30-58577.pdf
- [67] Asturias Corporación Universitaria. (n.d.). Análisis de Inversiones II. [Consultado 6 de julio de 2022], desde https://www.centro-virtual.com/recursos/biblioteca/pdf/analisis_financiero/unidad2_pdf2.pdf
- [68] CEPEP. (2017). Boletín Número V: Indicadores de Rentabilidad. [Consultado 6 de julio de 2022], desde https://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/boletines/indicadores_rentabilidad.pdf